



HAL
open science

De l'investigation d'accident à l'évaluation de la sécurité industrielle : proposition d'un cadre interdisciplinaire (concepts, méthode, modèle)

Jean-Christophe Le Coze

► To cite this version:

Jean-Christophe Le Coze. De l'investigation d'accident à l'évaluation de la sécurité industrielle : proposition d'un cadre interdisciplinaire (concepts, méthode, modèle). Gestion et management. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2011. Français. NNT : 2011ENMP0030 . pastel-00636888

HAL Id: pastel-00636888

<https://pastel.hal.science/pastel-00636888>

Submitted on 27 Mar 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ED n°432 : Sciences et Métiers de l'Ingénieur

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École nationale supérieure des mines de Paris
Spécialité " Science et génie des activités à risque "

présentée et soutenue publiquement par

Jean-Christophe LE COZE

Le 5 mai 2011

**De l'investigation d'accident à l'évaluation de la
sécurité industrielle**

Proposition d'un cadre interdisciplinaire (concepts, méthode, modèle)

Directeur de thèse : **Franck Guarnieri**

Jury

Mathilde BOURRIER Professeure, Université de Genève
François DANIELLOU Professeur, Institut Polytechnique de Bordeaux
Claude GILBERT, Directeur de Recherche, CNRS
Andrew HALE, Professor Emeritus, Delft University of technology
Benoît JOURNE, Professeur, Université de Nantes

Examinatrice
Rapporteur
Examineur
Examineur
Rapporteur

**T
H
È
S
E**

Introduction	7
Expérience et épistémologies constructivistes	7
Mes expériences depuis quelques années...	9
Une recherche autodidacte	12
Une recherche de 'mode 2' en sécurité industrielle	13
Des 'facteurs humains' à 'l'organisation', à l'approche 'intégrée' ('articulée' ou 'hybride')	15
Résumé des chapitres	17
La sécurité industrielle vue sous l'angle de l'investigation d'accident	17
La sécurité industrielle vue sous l'angle de l'évaluation	21
L'accident du site Nitrochimie, à Billy Berclau	25
Eléments théoriques et méthodologiques	25
Rétrospectivement, une configuration plutôt 'propice' à l'accident, entraînée par une succession de changements	34
Contributions disciplinaires à la sécurité industrielle	41
Une lecture historique à la croisée des chemins	41
Les coûts cognitifs, sociaux et institutionnels du chercheur poly ou/et interdisciplinaire	43
Quatre thèmes : installation, cognition, organisation, régulation	45
L'image de la 'dépose par hélicoptère'	48
Des catégories en 'tion' quelque peu arbitraire ?	49
Régulation	50
Organisation	58
Cognition	67
Installation	72
Perspective sur la rétrospective	75
Une proposition de synthèse graphique des différentes contributions	78
Vers la problématique de la complexité	82
La complexité	83
La complexité au cœur du débat sur les accidents technologiques majeurs	85
Contexte d'une pensée de la complexité, d'une 'pensée complexe'	91
Une investigation dans les sciences physiques et biologiques	91
Une investigation épistémologique	93
Une 'complexité générale' par rapport à une 'complexité restreinte'	96
Idées clés	97
Réintroduire l'homme et la société dans la nature sans les y réduire	97

L'intérêt d'une 'pensée complexe' pour la sécurité industrielle _____	103
De la 'méta-catégorie épistémique' au 'style' _____	107
Un modèle hybride de sécurité industrielle _____	110
Des éléments de base pour l'élaboration du modèle hybride _____	110
Éléments sur les modèles _____	115
Modèles de la tradition de l'ergonomie (cognitive) _____	116
Vers un modèle 'hybride' _____	119
Exemple de modèle générique et d'orientation prescriptive (Hale, 2003) _____	120
Exemple de modèle générique et d'orientation descriptive (Vaughan, 1999) _____	124
Essai de modèle générique d'évaluation _____	127
Un modèle simple pour une dynamique complexe _____	134
Un exemple d'évaluation de la sécurité industrielle _____	139
Mobilisation du modèle _____	140
Contraintes et ressources de l'entreprise _____	140
Impact des changements sur la sécurité _____	142
Positionnement et influence de la fonction sécurité _____	145
Remise en cause à la suite d'incidents et sensibilité aux signaux faibles _____	147
Qualité des regards extérieurs _____	148
Etat de fonctionnement des barrières techniques et humaines de sécurité _____	149
Discussion _____	151
Apport de ces recherches _____	160
Premier apport : un usage philosophique de la complexité _____	160
Deuxième apport : la production d'un modèle hybride d'évaluation de la sécurité industrielle, polarisant des 'tensions' _____	164
Troisième apport : Deux études de cas au cœur de la dynamique des accidents et de la sécurité industrielle _____	167
Les chantiers à venir _____	170
Sur le plan empirique (et méthodologique) : constituer une bibliothèque de cas _____	170
Sur le plan théorique (et philosophique) _____	171
Liste des articles _____	191
Article 1 _____	191
Article 2 _____	191
Article 3 _____	191
Article 4 _____	191
Article 5 _____	191
Article 6 _____	191

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin aux réflexions qui sont contenues dans ce document de synthèse de mes travaux de recherche. Bien qu'évidemment personnelles, elles ne peuvent être abstraites du contexte relationnel et social dans lequel elles ont pris forme.

En premier lieu, je remercie Franck Guarnieri, qui en tant que directeur du centre de recherche sur les risques les crises (crc) de Mines ParisTech, m'a offert l'opportunité de présenter cette thèse sous la forme d'une validation des acquis de l'expérience, et à cette occasion de prendre du recul sur mon travail. Au sein de l'Ineris, je remercie Didier Gaston ainsi qu'Olivier Salvi, qui m'ont donné, à mes débuts, l'opportunité de prolonger les réflexions issues d'un premier travail sur les questions de 'facteurs humains', lors d'un stage. Je salue également leurs successeurs, dont Sylvain Chaumette et Bruno Debray, pour avoir continué à soutenir et promouvoir ces recherches. Ensuite, je tiens à saluer tous mes collègues avec lesquels j'ai eu l'occasion de travailler en collaboration, d'échanger, de débattre autour de toutes ces questions, Franck Prats, Romuald Périnet, Emmanuel Plot puis plus récemment Ludovic Moulin. Je remercie également Ivonne Merle pour tous les débats et échanges extrêmement riches que nous avons eu pendant ses années de présence à l'institut pour sa thèse. Autour du thème de l'organisation et de la sécurité, de nombreuses questions de fond ont été soulevées et formulées à ces occasions. Je remercie également Sophie Capo pour son apport ergonomique et enthousiaste aux questions des risques industriels dans le cadre de sa thèse, ainsi qu'Eve Guillaume, pour sa contribution empirique et théorique sur le thème des signaux faibles.

Je tiens à saluer Andrew Hale de l'université technologique de Delft qui a contribué à légitimer, par son orientation et sa production scientifique, l'existence d'une '*safety science*'. Il a toujours su être bienveillant et constructif à l'égard de mes réflexions dans ce domaine, depuis mon séjour au sein de son groupe de recherche, qui m'avait donné l'envie de poursuivre, jusqu'à aujourd'hui. Je tiens ensuite à remercier Michèle Dupré du centre Max Weber à Lyon, qui a contribué au sein de nos programmes de recherches collectifs, à l'élaboration à la fois empirique et théorique des réflexions dans le domaine de l'évaluation de la sécurité industrielle. Son ouverture d'esprit et ses capacités d'adaptation aux univers techniques et finalisés des recherches menées à l'Ineris ont permis d'avancer vers une meilleure approche de ces questions de sécurité industrielle.

Je tiens également à remercier vivement tous les chercheurs ou praticiens qui ont alimenté mes recherches au cours des quelques années qui se sont écoulées : William Hoyle du US Chemical Safety Board, John Kingston de la Noordwijk Risk Initiative Foundation, Inge Svedung de l'université de Karlstad, Floor Koornneef de l'université technologique de Delft, Teemu Reiman du VTT en Finlande, Kenneth Pettersen de l'université de Stavanger. Leurs ouvertures sur des horizons théoriques et non francophones m'ont permis de prendre de la distance et de mieux appréhender l'intérêt, la possibilité et la légitimité d'une recherche finalisée en sécurité industrielle. Je tiens à remercier également Eric Rigaud, des Mines ParisTech, pour nos échanges autour des questions de complexité et de constructivisme, des thèmes qui nous tiennent tous les deux particulièrement à cœur. Les débats parfois durs avec Michel Llory, consultant, ainsi qu'Yves Dien de la R&D d'EDF, porteurs d'un positionnement 'critique' dans le domaine des organisations et des accidents majeurs, ont été l'occasion d'un questionnement profond et je les en remercie.

Toutes ces recherches ne seraient pas possibles sans les accès aux terrains industriels, et je tiens à saluer tous ceux qui ont rendu possible nombreuses de mes expériences. Sans pouvoir tous les citer, je remercie plus particulièrement Florent Varin, Christiane Belaubre, Luc Guerillot, Nicolas Herchin. Une mention spéciale doit être accordée à Anthony Leloup, pour toutes nos discussions au cours desquelles le point de vue de l'industriel rencontre celui du chercheur.

Enfin, je tiens à remercier Emma et nos enfants, Jude et Scarlett, pour leur amour et le temps qu'ils ont bien voulu m'accorder à ces heures où '*daddy is writing his PhD*'.

Introduction

Ce manuscrit s'organise sous la forme d'une synthèse. Il a pour but de rendre compte, de manière condensée, de mes recherches menées dans le domaine de la sécurité industrielle depuis 2004. Une articulation de six publications est proposée. Cinq de ces articles ont été publiés dans des revues, le sixième constitue un chapitre dans un ouvrage. Le principe d'articulation repose sur une classification à deux entrées. La première entrée distingue les dimensions empiriques, méthodologiques, théoriques et épistémologiques. Opérer ces distinctions me permet de montrer différents moments de la réflexion et de mon travail de recherche. Ces moments sont selon moi tous importants et c'est une ligne directrice que d'essayer de maintenir une réflexion sur tous ces axes.

La deuxième entrée différencie l'investigation d'accident et l'évaluation de la sécurité industrielle (en 'mode normal'). Cette dernière séparation permet de mettre en regard ces deux moments d'analyse différents, ayant chacun leur spécificité. Opposés dans la littérature, leur complémentarité est ici plutôt soulignée de même que l'intérêt pour le chercheur en sécurité industrielle de connaître les biais et limites de ces deux positionnements. Le tableau 1 illustre le résultat du croisement des deux entrées et positionne les articles en fonction de leur contenu, par l'intermédiaire des recoupements obtenus.

Tableau 1. Répartition des publications.

	Empirique	Méthodologique	Théorique	Epistémologique
Investigation d'accident	Article 1	Article 2		Article 3
Evaluation sécurité ind.	Article 6	Article 5	Article 4	

Expérience et épistémologies constructivistes

Ces publications représentent des étapes de conceptualisation de mes expériences et de mes objectifs de recherche. Dans le cadre d'une démarche de 'validation des acquis de l'expérience', quelques mots sont probablement opportuns sur le thème de l'expérience.

Selon les épistémologies constructivistes mobilisées dans mes travaux¹, il n'est pas possible de connaître rationnellement au-delà de son expérience. La science (ou plutôt les sciences), elle(s)-même(s), est (sont) une (des) activité(s) qui consiste(nt) à organiser, conceptuellement et collectivement, les résultats d'expériences, et à les remettre en perspective à l'issue d'autres expériences ultérieures qui questionnent les conceptualisations précédentes. C'est donc une remise en cause permanente que les épistémologies constructivistes postulent, pour la(es) science(s) comme pour les expériences individuelles qui ne s'en réclament pas, sans possibilité d'atteindre un réel '*tel qu'il est*'.

C'est à une vision circulaire de la connaissance qu'elles invitent, à une circularité entre le sujet et l'objet, et à une vision historique et 'génétique', au sens de Piaget². L'homme ne peut connaître au-delà de ses expériences, l'homme ne peut connaître un monde qui existerait indépendamment de ses possibilités d'entendement, et l'homme ne connaît pas indépendamment d'une période historique donnée. Il n'y a pas d'objectivité au sens classique (au sens de l'empirisme ou du réalisme naïf), mais seulement stabilisation temporaire de conceptualisations rendant compte des résultats d'expériences à un moment donné. Selon ces épistémologies, la dimension historique et la finalité des modèles sont inséparables de l'acte de connaissance. Elles peuvent amener une forme de relativisme. Néanmoins, il est plus intéressant de les prendre sous l'angle d'une distanciation critique, sous l'angle de '*l'introduction de l'observateur dans son observation*'.

Il ne s'agit pas ainsi, lorsqu'on adhère aux épistémologies constructivistes, de prétendre par exemple que les propositions qui suivent, tirées d'expériences personnelles, pourraient être saisies comme si elles 'existaient' objectivement, indépendamment de tout lecteur. Chaque lecture de cette synthèse le sera à partir d'expériences particulières et de finalités spécifiques par les différents lecteurs qui se prêteront à l'exercice. Il n'y a pas pourtant, avec ces remarques, un quelconque rejet de la rationalité ou un rejet de la scientificité de ces développements. Il n'y a pas de principe de relativisation extrême où tout se vaudrait (selon les interprétations abusives du '*anything goes*' de Feyerabend³). Simplement, les conceptualisations qui sont proposées le sont à partir d'expériences ainsi que de finalités spécifiques. La prise en compte de celles-ci est indispensable à leur mise en contexte.

¹ Le Moigne, J.L. 1995. Les épistémologies constructivistes. Que sais-je. Presses Universitaires de France ; Von Glasersfeld, E. 1995. Radical constructivism. A way of knowing and learning. Taylor and Francis.

² Piaget, J. 1967. L'épistémologie génétique. Que sais-je. Presses universitaires de France.

³ Feyerabend, P., K. 1975. Contre la méthode. Seuil.

Il ne s'agit pas non plus de considérer ces réflexions, cette organisation à un moment donné de mon expérience, comme définitive ou arrêtée. Déjà, à l'issue de l'écriture de ce document de synthèse, d'autres possibilités de conceptualisations, sur la base de lectures ainsi que d'expériences accumulées entre temps depuis, pourront m'orienter différemment sur certains des axes choisis, sur la manière de les présenter, sur ma compréhension des disciplines mobilisées etc. L'édifice empirique, théorique et méthodologique ici construit n'est pas pour autant remis en cause, il repose sur une solide expérience, mais il sera amendé si des approches nouvelles permettent de l'enrichir sans remettre en cause ses fondements. Pour reprendre une expression empruntée à Simon, cette synthèse est donc en quelque sorte, un '*progress report*'⁴, dans un processus ininterrompu de recherche.

Selon ces principes très rapidement brossés autour de l'expérience par l'intermédiaire des épistémologies constructivistes, une perspective succincte de mes expériences ainsi que de mes objectifs sont donc de rigueur afin, notamment, que les lecteurs me situent et soient en mesure de comprendre un peu mieux l'orientation et le contenu des réflexions présentées⁵.

Mes expériences depuis quelques années...

Je suis entré à l'Ineris (Institut National de l'Environnement Industriels et des RISques) en juillet 2002 en tant qu'ingénieur d'étude et recherche après dix mois passés au groupe 'safety science' au sein de l'université technologique de Delft aux Pays Bas dont Andrew Hale était alors le directeur. J'ai travaillé lors de ce séjour sur des questions de modélisation organisationnelle visant à modifier les évaluations quantitatives de risques (qra). Cette question a été abordée dans deux projets, l'un concernant le domaine de la chimie (projet européen), l'autre de l'aéronautique (projet néerlandais). Auparavant, en 2000-2001, j'avais effectué mon stage de mastère en sécurité industrielle (école des mines d'Alès) dont le thème portait sur les 'facteurs humains' dans l'évaluation des risques, à l'Ineris.

A cette époque, il n'y avait à l'Ineris aucune équipe en charge de cette question, et c'était l'occasion pour l'institut de 'défricher' le sujet. A l'issue de mon immersion dans le laboratoire de recherche en sécurité de l'université de Delft, je suis donc recruté en 2002 à la

⁴ Simon, H. 1984. 'Il devient tout aussi passionnant de rechercher les processus de pensée que de découvrir le mouvement des planètes. Commentaires et réponses par H.A. Simon.' Disponibles dans la série 'les introuvables' de Simon, à l'adresse www.mcxapc.org

⁵ Ce positionnement épistémologique, succinctement décrit, intégrant 'l'observateur dans son observation', m'amène par conséquent à préférer, dans cette synthèse, le 'je' au 'nous' ou encore au 'on' (qui ont pour but de chercher à 'neutraliser' la part du sujet dans la production scientifique).

direction des risques accidentels pour essayer de réfléchir sur ce thème tout en réalisant des analyses de risques techniques selon le souhait de la direction de former des individus qui feraient le pont entre les sciences de l'ingénieur et les sciences humaines et sociales. La répartition des activités à l'Ineris est à peu près 15-20% de conseil, 55-60% d'appui à l'administration et 20-25% de recherche, et je réalise ainsi quelques études pour le ministère, notamment sur le thème du retour d'expérience et des 'facteurs organisationnels'.

En février 2003, un accident majeur survient dans une cartoucherie du nord de la France à Billy- Berclau. L'Ineris est chargé par le ministère d'analyser les dimensions 'organisationnelles' de l'accident, au-delà des seuls aspects techniques (dommages, hypothèses de scénarios, calcul des surpressions, etc), une première dans le domaine des installations classées en France, deux ans après l'accident de Toulouse (2001). Etant donné mon implication dans les questions de retour d'expérience et compte tenu de ma disponibilité, cette mission m'est confiée. A la suite de cette investigation que le management de la direction des risques accidentels considère concluante, un programme de recherche d'un an m'est attribué, qui a pour but, sur la base notamment de cette expérience, de réfléchir sur la possibilité de réaliser des évaluations 'intégrées' non plus a posteriori (comme pour les investigations d'accidents majeurs) mais a priori.

A la suite de ce programme 'd'étude de faisabilité', qui montre l'intérêt mais aussi la possibilité de développer de telles évaluations, un autre programme est soumis et accepté cette fois sur quatre ans afin d'expérimenter une telle démarche de manière empirique sur des terrains industriels. En parallèle, un programme de recherche financé par la région Picardie se met en route, avec cette fois la collaboration de plusieurs partenaires de recherche (en sociologie industrielle et du travail, en sciences de la communication, en science politique). Les deux projets s'alimenteront entre 2005 et 2008, et l'équipe accède à deux terrains d'étude de la chimie, une PME et un grand groupe. Ces expériences de terrain me familiarisent avec l'approche en fonctionnement normal. Je pressens alors la difficulté du positionnement d'anticipation, problème déjà ressenti au cours de l'investigation de 2003, mais qui a pris toute son ampleur lors de ces cas. Ce positionnement d'anticipation se distingue en effet du regard rétrospectif qui indique fortement là où le regard doit s'orienter. Alors que pour l'investigation, il faut 'dérouler' en sens inverse les événements qui mènent aux dommages en remontant dans l'histoire, le fonctionnement normal ouvre lui à un ensemble de données dont le fil conducteur n'est pas aussi explicite, et oblige le chercheur à se projeter dans le futur.

Ces cas empiriques ont consécutivement appelé un effort théorique assez important afin notamment de cadrer les données, d'élaborer un cadre normatif pour poser les bases d'une évaluation, d'un diagnostic de type 'articulé' en sécurité industrielle. En 2009 et 2010, trois autres études de cas en mode normal ont eu lieu, au sein de diverses études et recherches, me permettant l'accès à d'autres configurations représentatives de la diversité des industries à risques (transport de gaz, exploitation de silos, etc). Ces cas de terrain, menés de manière collective soit individuelle, ont permis de mettre à l'épreuve l'approche d'évaluation et de collecter des données supplémentaires pour l'affiner.

Au cours de ces années, cette activité de recherche représente à peu près la moitié de mon temps, l'autre moitié étant dédiée à des activités de support à l'administration, à ma participation à d'autres recherches de l'Ineris en tant que ressources sur les questions de 'facteurs humains' mais aussi à des prestations auprès d'industriels, en particulier sur des analyses d'accidents, mais aussi quelques audits de sécurité industrielle. Cependant, mon implication dans des activités de recherche a augmenté ces trois dernières années en comparaison des années précédentes. J'ai toujours cherché à créer un maximum de synergie entre toutes ces activités, dans la mesure du possible.

Des contacts entre l'Ineris et le chemical safety board américain (US Csb) me permettent au cours de l'année 2006 de rejoindre pour quelques semaines à Washington l'équipe qui travaille sur l'accident de BP Texas City survenu en 2005, dans le but de leur faire part de mon expérience d'investigation de type 'organisationnelle' acquise lors de l'investigation de 2003. Cet échange sera très fructueux. Il me confirmera, si besoin était, l'intérêt de réaliser des passerelles entre les deux mondes, sciences pour l'ingénieur et sciences sociales, mais aussi les difficultés de l'exercice. Mais il me montrera surtout quelles similitudes, par delà les différences, peuvent être soulignées entre le cas que j'ai investigué en 2003 et celui, survenu deux ans après, en 2005. Malgré des configurations extrêmement contrastées entre les deux pays (France, Etats Unis), entre les organisations (un petit groupe, Nitrochimie, et un 'géant' mondial, BP), entre les installations (une cartoucherie, une raffinerie), il m'a été intéressant de saisir les points communs entre ces deux accidents.

Enfin il est important de mentionner, dans le cadre de cette contextualisation de mon expérience, la présence entre 2002 et 2005/2006 de deux doctorantes au sein de l'institut, l'une en sociologie des organisations (Ivanne Merle) et l'autre en ergonomie cognitive (Sophie Capo), qui seront l'occasion de nombreuses interactions extrêmement riches, discussions, débats mais aussi apprentissages à leur côté dans leurs disciplines respectives,

disciplines que je ne connaissais et que je ne connais toujours moins bien que des spécialistes, sans que cela nuise pour autant, selon moi, à mon projet de recherche. Ces interactions m'ont en effet permis de tester mes connaissances, de me confronter avec ce que j'avais (cru) assimilé des concepts clés dans des disciplines pour lesquelles je n'avais pas de formation initiale. Cette situation s'est poursuivie et se poursuit au travers des interactions avec des chercheurs d'univers différents (depuis quelques années avec Michèle Dupré, sociologue), dans le cadre de programmes communs. Tous ces regards sont diversement pertinents pour penser alternativement, mais aussi complémentaiement, la sécurité industrielle (et les accidents). Les interactions avec les collègues de travail à l'Ineris, dans tous les domaines de la sécurité industrielle participent également de cet environnement tout à fait propice au questionnement pluri ou interdisciplinaire.

Une recherche autodidacte

Ce dernier point indique bien la dimension autodidacte de mon travail et de mon expérience. Sans vraiment d'encadrement scientifique dès le départ à l'Ineris, c'est un travail de repérage personnel qui m'a progressivement orienté dans les diverses contributions pertinentes pour penser la question de la sécurité industrielle sous un angle 'articulé'. Ce qui pouvait apparaître comme une lacune au départ, c'est-à-dire un manque de direction dans le giron balisé d'une discipline scientifique, m'a pourtant toujours aussi semblé une opportunité. Certes j'ai rencontré de nombreuses difficultés, j'ai tâtonné, j'ai abouti à des impasses, j'ai sûrement perdu beaucoup de temps à chercher par moi-même (malgré de nombreuses interactions avec des personnes éclairées et éclairantes).

Pourtant, sans trop de cadres a priori, c'est avec une assez grande liberté (et naïveté) que j'ai pu aborder différentes questions rencontrées en chemin, 'redécouvrir' quelques évidences certainement, mais aussi surtout construire une orientation dédiée à la sécurité industrielle, orientée vers l'évaluation. Le constat qui s'impose en France aujourd'hui est en effet l'absence de positionnement scientifique dans ce domaine spécifique. Certes il existe des contributions sur le thème des risques technologiques, dans de nombreuses disciplines, aucune d'entre elle ne vise à l'évaluation de type 'articulé' (telle qu'elle se pratique en particulier dans les investigations d'accidents par exemple, mais à évidemment, a posteriori).

Une recherche de ‘mode 2’ en sécurité industrielle

Traditionnellement, la recherche académique a pour ambition de produire de la ‘connaissance pour la connaissance’, or depuis quelques années, selon certains auteurs, de nouvelles orientations se dessinent ou s’amplifient⁶. Ils proposent de distinguer pour cela différents régimes de production scientifique, le ‘mode 1’ et le ‘mode 2’. Le ‘mode 1’ correspond à une approche alors plutôt considérée comme ‘classique’, c'est-à-dire une recherche scientifique ‘désintéressée’, qui produit des ‘connaissances pour la connaissance’ avec pour objectif la quête du ‘vrai’. Elle se déroule dans les universités, est disciplinaire et relativement autonome par rapport à la demande sociale et industrielle. Seuls les chercheurs connaissent les directions à poursuivre, sur la base de la science qu’ils maîtrisent dans leur domaine de spécialité.

A ce modèle se serait superposé progressivement, sans pour autant remplacer complètement le précédent, un modèle de production scientifique alternatif, appelé ‘mode 2’. Ce mode est caractérisé par une interaction beaucoup plus forte avec l’industrie ou la demande sociale, et s’oriente vers des objectifs finalisés, contextualisés, tout en ne respectant pas nécessairement les découpages disciplinaires classiques, tels qu’on les retrouve dans les départements des universités. La différence entre ‘modes 1 et 2’ ne correspond pourtant pas selon les auteurs à la distinction traditionnelle entre sciences ‘fondamentales’ et sciences ‘appliquées’⁷, et le ‘mode 2’ est tout à fait susceptible de faire émerger des questions qui pourraient être classées comme ‘fondamentales’ dans l’ancienne vision. Il ne s’agit pas non plus d’utiliser des connaissances ‘fondamentales’ pour des projets de recherche appliquée, et ainsi ne faire ‘qu’appliquer’ des connaissances déjà disponibles. Il s’agit de produire des connaissances utiles, et nouvelles, pour atteindre des fins spécifiques.

Il apparaît à la lecture de cette proposition de classification de régime de production scientifique, ‘mode 1 & 2’, malgré les simplifications introduites par ces deux ‘idéaux types’ (certains auteurs les ont commenté de manière assez critique, ainsi, pour Bensaude-Vincent *‘Ils sont à considérer comme des idéaux types jamais pleinement réalisés, mais porteurs de*

⁶ Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., Trow, M. 1994. *The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies*, Sage, Londres; Nowotny, H., Scott, P., Gibbons, M., 2003 (2001). *Repenser la science*. Belin.

⁷ Une vision qui date au moins explicitement du positivisme de Comte *‘Quels que soient les immenses services rendus à l’industrie par les théories scientifiques, quoique, suivant l’énergétique expression de Bacon, la puissance soit nécessairement proportionnée à la connaissance, nous ne devons pas oublier que les sciences ont, avant tout, une destination plus directe et plus élevée, celle de satisfaire, au besoin fondamental qu’éprouve notre intelligence de connaître les lois des phénomènes’*. Comte, A. *Cours de philosophie positive*. 1^{ère} et 2^{nde} leçons. Larousse. p 56.

*systèmes de valeurs qui orientent les choix politiques en matière de recherche (...) Ces idéaux types ont une fonction plus performative que descriptive*⁸), que les questions de recherche en sécurité industrielle répondent plus clairement aux critères du ‘mode 2’. Tournées vers l’évaluation et l’action d’une part, et non pas orientées vers la ‘connaissance pour la connaissance’, elles répondent à un besoin sociétal finalisé de gestion des risques. Fortement impliquées dans une démarche interdisciplinaire d’autre part, elles n’entrent pas dans les découpages académiques traditionnels. En France, les programmes de recherche dans le domaine des risques auraient selon Gilbert⁹, oscillé entre, au départ, une orientation finalisée, puis vers des regards moins impliqués opérationnellement, par la suite. *‘D’une manière générale, les chercheurs pionniers dans ce domaine étaient proches des milieux professionnels et administratifs, alors principaux commanditaires des recherches effectuées dans ce domaine. (...) Les problématiques de recherche en SHS sont ainsi devenues de plus en plus autonomes aux demandes habituellement exprimées par les milieux professionnels et administratifs (...) en se focalisant sur des questions telles que l’analyse des risques comme problème public, les chercheurs ont contribué à ce que s’opère un certain désinvestissement des problèmes de sécurité au plus près des activités dangereuses ou potentiellement dangereuses.’*

Une retraduction de cette fluctuation pourrait consister à la décrire comme une difficulté de création et maintien d’une recherche en ‘mode 2’ en ce qui concerne la sécurité industrielle, ce que la citation suivante permet d’étayer. *‘Malgré de réels échanges entre la recherche en SHS et certains milieux professionnels directement concernés par les problèmes de sécurité, le développement des relations est resté entravé par la difficulté persistante à trouver et à stabiliser un mode de relation convenant aux deux parties’*¹⁰. C’est ainsi assez naturellement, qu’en raison de son positionnement finalisé, et de l’historique français dans ce domaine au cours des vingt dernières années, que la recherche sur l’évaluation de la sécurité industrielle sous un angle ‘intégré’ (‘articulé’ ou ‘hybride’) a en partie pris racine, en France en tout cas, en dehors des universités, dans les instituts publics spécialisés tels que l’Ineris, à mi-chemin entre l’industrie et l’université, ou encore dans des départements de recherche privés de groupes industriels qui consacrent des ressources importantes à cette question, le cas d’EDF étant un des exemples les plus visibles sur ce thème en France, en ce

⁸ Bensaude-Vincent, B. 2009. Les vertiges de la technoscience. Façonner le monde atome par atome. La découverte. p 35.

⁹ Gilbert, C. 2008. Les risques collectifs : objet d’une rencontre problématique entre chercheurs et acteurs. Sociologie pratique. n° 16. 81-93.

qui concerne les ‘facteurs humains et organisationnels’¹¹.

Des ‘facteurs humains’ à ‘l’organisation’, à l’approche ‘intégrée’ (‘articulée’ ou ‘hybride’)

Jusqu’à présent dans le texte, les expressions de ‘facteurs humains’, ‘organisation’ ou approche ‘intégrée’, ‘articulée’ ou ‘hybride’ ont été employées pour introduire l’objet de ma recherche en sécurité industrielle. Il m’a été bien difficile au cours de ces années de stabiliser une expression qui rendrait compte du travail au carrefour de plusieurs disciplines auquel je me suis confronté. Chaque expression a ses avantages et limites. Les ‘facteurs humains’ font bien référence à cet univers de savoir non techniques, parallèles et complémentaires aux approches classiques de la sécurité industrielle, incarnée par les savoirs ingénieurs. Cependant, progressivement dans les dernières années, ce terme s’est réduit à l’apport des connaissances de type ergonomiques, alors que des contributions disciplinaires autres ont mis aussi en avant les questions d’organisation (par exemple la sociologie des organisations ou la gestion).

On voit ainsi de plus en plus mentionnés aux côtés des ‘facteurs humains’, les ‘facteurs organisationnels’. Cet ajout est bienvenu car il permet de distinguer d’autres niveaux d’analyse, qui ne se confondent pas avec le regard ergonomique centré autour du poste de travail. Ce point sera amplement commenté par la suite. Enfin, les termes ‘d’intégré’, ‘d’articulé’ ou ‘hybride’ ont l’avantage d’insister sur l’importance d’articuler conjointement différents ‘facteurs’ : technologiques, humains et organisationnels. Les deux expressions ‘facteurs humains’ et ‘facteurs organisationnels’ ont en effet une tendance à exclure la technologie pour s’en différencier (tout en lui accordant une place plus ou moins forte en pratique en fonction des sensibilités) alors qu’elle est indissociable du projet d’évaluation de la sécurité industrielle. Ces quelques précisions de vocabulaire étant apportées, un résumé des différents chapitres de ce document de synthèse est maintenant proposé.

¹⁰ Gilbert, C. Les risques collectifs : objet d’une rencontre problématique entre chercheurs et acteurs. Sociologie pratique. art cité, p 88.

¹¹ Voir par exemple les articles qui traitent de ce sujet dans Magne, L., Vasseur, D. 2006. Risques industriels : complexité, incertitudes et décisions. Dunod, en particulier les chapitres 6 et 9.

Résumé des chapitres

Chacun des chapitres qui suit vise à présenter l'article auquel il se réfère, mais aussi à les articuler afin de rendre compte de la thèse qui sous-tend ma réflexion. Quelques informations complémentaires non présentes dans les articles sélectionnés mais provenant d'autres papiers publiés ou non, ou de projets de publications, sont aussi introduites dans le corps du texte.

La sécurité industrielle vue sous l'angle de l'investigation d'accident

Le premier chapitre introduit les résultats empiriques de l'investigation de l'accident de Nitrochimie, le 27 février 2003. Il contient des informations sur l'interprétation globale qui a été proposée, à partir d'une démarche méthodologique développée spécifiquement pour le cas. Cette méthodologie consiste à ancrer la démarche dans une explicitation de l'architecture de prévention, qui repose sur des barrières à la fois technologique et humaine. Une fois que ces barrières sont identifiées, elles permettent d'interroger leur configuration le jour de l'accident. Lorsque la chronologie proche temporellement est reconstituée sur la base de ces repères, des questions d'ordre techniques ainsi que d'organisation du travail sont identifiées.

A la suite de la formulation de ces questions, l'investigation cherche à approfondir a posteriori, par l'intermédiaire d'entretiens auprès des opérateurs, encadrement et direction (et par l'analyse documentaire), le fonctionnement de l'organisation, notamment de ses évolutions, de sa dynamique, avant l'accident. Cette approche fournit les éléments de caractérisation de la situation située à un niveau plus meso ou macro, qui expliquent les circonstances locales, plus micro, du scénario. Dans le cas de cet accident, il a ainsi pu être montré comment des transformations externes et internes, meso ou macro, sur les plans de la réglementation et de l'inspection par les autorités de contrôle, du personnel de direction ou encore de la technologie se sont articulées avec des changements plus locaux (ou micro), comme une augmentation temporaire de l'activité et un décalage des horaires de production.

Cette description réalisée a posteriori, grandement facilitée par la position rétrospective, traverse toutes les frontières disciplinaires établies pour étudier les questions de sécurité industrielle. L'investigateur (ou les investigateurs) qui a (ont) pour objectif de rendre compte globalement d'un accident doi(ven)t en effet faire appel à des connaissances diverses,

éparpillées dans des disciplines connexes telles que l'ingénierie (scénarios à risque, probabilité de défaillances des équipements, instrumentation de sécurité, effet des explosions etc), l'ergonomie (poste de travail, cognition des 'erreurs'), la psychosociologie (engagement, phénomènes de groupe, création de sens), la sociologie (travail, organisation, cultures, entreprise), les sciences de gestion (systèmes de management, instruments ou dispositifs, leadership, cognition), le droit (réglementation, justice, responsabilité) ou les sciences politiques (action publique, régimes de régulations, inspections).

Cette liste par ailleurs n'est certainement pas exhaustive et d'autres regards sont toujours possibles, par exemple le regard des linguistes, qui a été mobilisé pour l'accident de la navette Columbia de la NASA en 2003¹². Cette expérience d'investigation a donc été déterminante pour poser les bases d'une réflexion sur les conditions et modèles qui permettent l'articulation de différents points de vue disciplinaires à des fins d'évaluation, mais aussi sur les multi-dimensions qui constituent la 'résilience', 'robustesse', 'fiabilité' ou 'sécurité' de systèmes à risques¹³.

Le but du **deuxième chapitre** est de présenter ces différentes contributions disciplinaires dans le domaine des risques technologiques majeurs et de la sécurité industrielle. Ce chapitre propose de réviser quelque peu la présentation traditionnelle d'une vision linéaire qui ferait passer la prévention des domaines de la technique, à l'humain puis à l'organisationnel¹⁴. Comme pour les simplifications de l'histoire des catastrophes selon laquelle une vision de l'homme comme cause endogène de ces propres malheurs se serait substituée à une vision théologique et à une vision rationnelle séculière identifiant la nature comme cause¹⁵, il faut ici insister sur la présence en parallèle de nombreux points de vue sur les accidents et la prévention, à la fois technique, humain et organisationnel, dès les années soixante et soixante-dix. Une présentation chronologique, distinguant trois grandes décennies d'approches d'interprétation des risques technologiques, mettant en parallèle quatre dimensions 'installation', 'cognition', 'organisation' et 'régulation', montre combien différents modèles, sous l'angle de différentes disciplines (énumérées au paragraphe

¹² Ocasio, W. 2005. The opacity of risk : language and the culture of safety in NASA'S space shuttle program. In Starbuck H. W., Farjoun M. 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell publishing.

¹³ Ces différents termes ont été et sont utilisés dans la littérature. J'emploie pour ma part de le terme de 'sécurité industrielle', et préciserait le cas échéant, pourquoi j'utilise un autre terme que celui-ci.

¹⁴ Hollnagel, E. 2004. Barriers and accident prevention. Ashgate.

¹⁵ Walter, F. 2008. Catastrophes, une histoire culturelle XVI^e-XXI^e. Seuil. Selon cet auteur '*Il serait parfaitement réducteur de s'en tenir à 'trois phases distinctes' qui scanderait l'histoire (...) Pour pédagogique qu'elle soit et si elle n'est pas totalement fausse, cette chronologie mérite révision et affinement*' (Walter, 2008, 25). Cette citation pourrait être reprise telle qu'elle au sujet des trois périodes de la sécurité industrielle.

précédent), sont déjà présents aux mêmes époques, et qu'une vision linéaire simpliste, en trois phases, ne peut donc pas être retenue.

Sur la base de cette introduction à différents angles d'approches portés par des spécialités scientifiques différentes, mais aussi pour traiter du caractère 'événementiel' des accidents, une réflexion épistémologique sur la complexité est introduite dans **le troisième chapitre**. A la charnière entre fin et début de siècle, plusieurs grilles de lecture sont élaborées pour penser l'évolution des sociétés et de notre regard sur le monde. Portées par des philosophes ou sociologues, je retiens les grilles 'post-moderne'¹⁶ et de la 'modernité réflexive'¹⁷. Elles sont toutes les deux bien différentes dans leurs propositions, la première rejetant les fondements de la modernité en proclamant la fin des 'grands récits', dont celui de la raison et du progrès, la seconde radicalisant les traits de la modernité, sans rejeter ses fondements, en montrant combien cette radicalisation introduit de nouvelles problématiques, dont celle des risques, de l'individualisation ainsi que de la mondialisation. Leur popularité a été assurée par la mise en scène dans la littérature, et par les auteurs eux-mêmes, de leurs contrastes.

Il me semble que de manière transversale et non assimilable à ces deux propositions, le thème de la complexité s'impose aussi comme un regard fondamental à l'appréhension du monde actuel, comme une grille de lecture de la transition entre les deux siècles¹⁸. Dans l'ensemble des contributions sur le thème de la complexité, quelques auteurs s'affirment comme des incontournables, à la faveur des échos qu'ont eu leur œuvre et par l'ampleur de leur travail. Les œuvres d'Edgar Morin¹⁹ ou de Niklas Luhmann²⁰ en sont deux illustrations. Ils sont bien différents, même opposés sur certains points (il n'existe malheureusement encore aucune étude systématique de comparaison entre les deux œuvres) dans leur théorisation de la complexité. Le premier, à partir d'une investigation inter et transdisciplinaire dans la physique, biologie et anthropo-sociologie (ré)introduit l'homme dans la nature sans l'y réduire, sur la base d'un raisonnement qui mobilise les propriétés d'émergence, une réflexion à contre courant à l'époque, un raisonnement précurseur. Le second, à partir d'apports conceptuels similaires, auto-organisationnels et radicalement

¹⁶ Lyotard, JF. 1978. La condition postmoderne. Les éditions de minuit.

¹⁷ Giddens, A. 1993. (1991). Les conséquences de la modernité. L'harmattan ; Beck. 2001 (1984). La société du risque. Editions de la découverte ; Beck, U., Giddens, A., Lash, S. 1994. Reflexive modernization : politics, tradition and aesthetics in the modern social order. Cambridge. Polity Press.

¹⁸ C'est le point de vue de la revue 'theory, culture & society', qui a publié en 2005 un numéro spécial consacré au 'complexity turn' (Urry, J. 2005. The complexity turn. Theory, culture and society, 22(5).

¹⁹ Morin, E. 1977. La nature de la nature. Seuil.

²⁰ Luhmann, N. 1995 (1984) Social systems. Stanford University Press.

constructivistes, novateurs pour la théorie sociologique, analyse le processus de différenciation des sociétés en sous-systèmes, entraînant un point de vue particulièrement déstabilisant, notamment sur la place du sujet, pour la compréhension du monde contemporain. Dans ce chapitre, c'est la conceptualisation de Morin qui sera plus particulièrement mobilisée pour poser les problèmes de risques technologiques²¹.

Il sera en effet montré combien le thème de la complexité est présent, à des degrés divers, dans de très nombreuses et différentes contributions disciplinaires à la gestion des risques technologiques, contributions dominées sans conteste par les 'anglo-saxons' (nord américains, britanniques mais aussi scandinaves). Une des raisons récurrente de l'utilisation de la complexité dans tous ces travaux est, en arrière plan, l'humilité de nombre d'auteurs devant l'ampleur de la tâche qui consiste à anticiper les enchevêtrements qui donnent lieu aux séquences accidentelles, combinaisons rares de défaillances technologiques, de prises de décisions interagissant à plusieurs endroits, à différents moments, par une multitude d'acteurs de systèmes complexes ne se limitant pas aux frontières formelles des organisations à risques. Cette difficulté d'anticipation et son interprétation se sont particulièrement cristallisées à partir des propositions du 'normal accident' du sociologue Charles Perrow²², auteur qui a utilisé la complexité, mais qui l'a pourtant mobilisé dans un sens restreint.

Je pense en effet que le manque d'élaboration ou de profondeur du thème de la complexité, sur le plan philosophique chez ces auteurs anglo-saxons les a écartés malgré tout d'une utilisation encore plus centrale de celui-ci dans le champ de la sécurité industrielle. C'est en effet en Europe, dans la tradition de la philosophie dite 'continentale', par opposition à la tradition philosophique anglo-saxonne dite 'analytique', que s'inscrit le travail d'un auteur comme Morin, pivotant autour d'une 'pensée complexe', comme une 'méta-catégorie épistémique'²³, mais aussi comme je le proposerai, d'un '*style*'. Par opposition à d'autres, comme les philosophes de Derrida, Foucault ou Lyotard, classés comme des auteurs

²¹ Elle sera à cette occasion mise en relation avec l'œuvre du philosophe Serres dont le projet intellectuel et les apports partagent de nombreux points communs avec ceux de Morin. Cette association sera alors l'occasion de montrer que si la complexité est un terme central dans la conceptualisation de Morin, elle est une manière d'investiguer et de conceptualiser des interrogations contemporaines sur les dualismes de la nature et de la culture, du sujet et de l'objet, que d'autres philosophes (mais aussi sociologues, anthropologues, éthologues ou biologistes...) ont également identifié comme problématiques.

²² Perrow, C., 1984. Normal Accidents, first ed. Princeton University Press, Princeton.

²³ Vergnioux, A. 2003. L'explication dans les sciences. De Boeck Université.

continentaux ‘postmodernes’ à l’origine d’une ‘french theory’ particulièrement influente et controversée aux Etats-Unis ²⁴, le rayonnement de sa pensée a été jusqu’à présent limitée²⁵.

La sécurité industrielle vue sous l’angle de l’évaluation

A partir des trois chapitres précédents, tous les éléments seront disponibles pour aborder l’évaluation de la sécurité industrielle. Les chapitres précédents auront en effet tour à tour présenté :

- une connaissance empirique et approfondie de la genèse d’un accident majeur sous l’angle ‘articulé’, cette connaissance est indispensable à l’évaluation de la sécurité industrielle, pour orienter le regard,
- l’identification des différentes disciplines ‘sources’ pour l’élaboration d’un regard ‘articulé’, autant pour les investigations d’accidents que pour l’évaluation,
- la complexité comme ‘méta-catégorie épistémique’ pour penser, d’une part, la nature multidimensionnelle des accidents et de la sécurité industrielle et, penser la nature événementielle, émergente, de ces phénomènes.

Dans les deux chapitres suivants, c’est le domaine de l’évaluation de la sécurité industrielle, en mode normal, qui est abordée.

Sur la base de la présentation du concept de ‘pensée complexe’ dans le chapitre précédent, **le chapitre quatre** propose un modèle qui a pour ambition d’élaborer, de manière interdisciplinaire, un cadre permettant l’articulation de plusieurs savoirs et orienté vers l’évaluation de la sécurité industrielle. Fondé sur une combinaison de deux contributions, l’une en sociologie²⁶ et l’autre en gestion²⁷, ce modèle indique les différentes dimensions de la sécurité industrielle. Ces deux modèles sources qui fournissent l’armature au modèle cadre (l’expression ‘modèle cadre’ est emprunté à la tradition de recherche en ergonomie cognitive, ce point sera précisé dans le chapitre) sont empruntés à la littérature ‘organisationnelle’ car seuls ces modèles fournissent suffisamment d’éléments pour établir

²⁴ Cusset, F. 2003. French theory. Foucault, Derrida, Deleuze, & Cie et les mutations de la vie intellectuelle aux Etats-Unis. La découverte.

²⁵ Une remarque dans ce sens est présente dans Heylinghen, F., Cilliers, P., Gershenson, C., 2007. Complexity and philosophy. In Bogg, J., Geyer, R., (eds) Complexity, Science and Society. Radcliff, Oxford.

²⁶ Vaughan, D. 1999. The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster. Annual Review of Sociology. 25. 271-305.

²⁷ Hale, A.R. 2003a. Safety management in production, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing 13 pp. 185–201.

les articulations avec les autres domaines. Les cadres issus des traditions de recherche ‘installation’, ‘cognition’ et ‘régulation’ ne le permettent pas. Ce modèle une fois constitué devient le support indispensable au traitement des données en mode normal, dans le but d’évaluation. Il autorise des contributions disciplinaires diverses à participer au diagnostic, en les situant dans leur apport respectif, tout en reconnaissant que ce modèle fait face à différentes sources de tensions à problématiser, la multi et l’interdisciplinarité, le mode normal et l’accident enfin, la description et la normativité.

Parmi les nombreuses configurations industrielles rencontrées dans les industries à risques, l’étude de cas qui est présentée au **chapitre cinq** a pour but d’illustrer de manière simple l’évaluation de la sécurité industrielle en prenant appui sur le modèle. Depuis les explosions de poussières de Metz (1982) et Blaye (1997) entraînant de nombreuses victimes parmi les employés ainsi que le décès de riverains, les installations de stockage de grains, les silos, se sont vues progressivement attribuées le statut de système à risques. L’étude de cas a pour intérêt de montrer de manière empirique et exemplifiée comment l’évaluation de la sécurité industrielle s’appuie méthodologiquement sur la mise en œuvre de deux moments, l’un consacré au fonctionnement quotidien à partir du modèle de sécurité industrielle ainsi qu’aux évolutions passées, actuelles ou à venir, l’autre consacré aux incidents ou accidents²⁸. Ces deux étapes sont réalisées sur la base d’entretiens avec les membres de l’organisation, en mode normal dans un premier temps, c’est-à-dire en l’absence de focalisation sur des incidents ou accidents spécifiques. Dans un deuxième temps, il s’agit de partir d’incidents ou d’accidents pour comprendre leur genèse sous-jacente, en s’inspirant des pratiques d’investigation développées pour des cas d’accidents majeurs. La boucle opérée entre ces deux moments, guidée par le modèle cadre, fournit les éléments de l’évaluation. Dans ce cas, il a été montré aux dirigeants de l’entreprise qu’un ensemble de transformations opérées à différents moments et différents niveaux de l’organisation, internes ou externes, ont entraîné des répercussions négatives sur le niveau de sécurité industrielle. Cette étude de cas illustre l’importance, pour penser l’évaluation de la sécurité industrielle, de chercher à restituer les dimensions à la fois synchronique et diachronique des situations analysées. La dimension diachronique introduit l’histoire, pour repérer les

²⁸ Ce principe a été initialement introduit et conceptualisé en collaboration avec Michèle Dupré en 2006. Le Coze, JC, Dupré, M. 2006. How to prevent a normal accident in a high reliable organisation ? the art of resilience, a case study in the chemical industry. Proceedings of the second resilience engineering Symposium, Presses de l’Ecole de Mines de Paris, Paris, 2006.

continuités et les ruptures favorables et/ou défavorables à la sécurité, à l'aide des incidents et accidents qui y sont associés.

La conclusion met en perspective les apports de ces recherches reprenant la distinction du philosophique (épistémologique), du théorique et de l'empirique, puis ouvre sur les chantiers à venir. Le premier apport de ces recherches est de montrer l'intérêt d'un traitement du problème de la sécurité industrielle (et des accidents majeurs) par l'intermédiaire d'une approche à caractère philosophique de la complexité. Trois principales implications découlent de ce traitement : la suggestion d'un '*style*', le retour de l'évènement (et sa valeur heuristique) et l'intrication des valeurs cognitives et morales entraînant la nécessité d'une réflexivité pour le chercheur. Le deuxième apport de ces recherches est la production d'un modèle hybride d'évaluation de la sécurité industrielle, jusqu'alors absent de la littérature. Il polarise mais tente de faire tenir ensemble de manière problématisée différents types de 'tensions', au nombre de trois, la multi et l'interdisciplinarité, le 'mode normal' et l'accident enfin, la description et la normativité. Le troisième apport de ces recherches consiste à illustrer concrètement le '*style*' dont il a été question dans cette synthèse par l'intermédiaire de deux cas empiriques, l'un à la suite d'un accident majeur, l'autre en mode normal (tout en intégrant une étude d'incident grave) sur la base du modèle élaboré. Ces deux cas montrent que la sécurité industrielle (et les accidents majeurs) sont des problèmes dynamiques, de mouvements ou de changements, et que l'évaluation s'appuie sur une hypothèse forte, à l'opposé d'une hypothèse faible.

Chapitre 1

L'accident du site Nitrochimie, à Billy Berclau²⁹

Le 27 mars 2003, une explosion dans la cartoucherie de Nitrochimie à Billy Berclau cause la mort de quatre personnes. L'Ineris est chargé de l'investigation et de mettre en évidence, au-delà des dommages ainsi que des causes techniques, les dimensions 'organisationnelles'. La réglementation Seveso II s'appliquant aux activités pyrotechniques depuis peu, il est demandé à l'entreprise de mettre en œuvre un système de gestion de la sécurité répondant aux critères de l'arrêté du 10 mai 2000. Cet arrêté, une traduction de la directive européenne, comprend les éléments clés des systèmes de gestion de la sécurité.

Eléments théoriques et méthodologiques

L'investigation des dimensions 'organisationnelles' a reposé sur une approche ancrée dans la compréhension de l'accident sur les plans technologiques et a proposé de ce point de vue d'analyser les installations par l'intermédiaire des barrières techniques et humaines de sécurité. Au total 24 barrières ont été identifiées. Après cette phase d'identification, l'investigation a cherché à établir l'état de ces barrières au moment de l'accident. L'investigation s'est ensuite orientée vers l'analyse des aspects 'organisationnels'. Pour mener cette analyse, je me suis appuyé sur la grille de lecture de Waring et Glendon³⁰, jugée alors pertinente. Cette grille cherche à montrer le caractère systémique des accidents et de la sécurité et combine alors de nombreuses dimensions. Elle intègre des aspects liés à l'environnement de l'entreprise (marché, réglementation, histoire, technologie), à l'organisation (cognition, culture, processus de décision et pouvoir) ainsi que des aspects de systèmes de management de la sécurité (analyse de risques, retour d'expérience etc). Ce dernier aspect permettait de maintenir une forte visibilité au système de gestion de la sécurité, tout en montrant d'autres dimensions toutes aussi importantes dans la genèse de l'accident, comme les problèmes d'arbitrages, de jeux de pouvoirs ainsi que d'histoire de l'entreprise.

²⁹ Ce chapitre renvoie au premier article : Le Coze, JC. 2010. Accident in a french dynamite factory : an example of an organisational investigation. Safety Science. 48. 80-90.

Des entretiens avec des acteurs situés à différentes 'strates' de l'entreprise ont été menés (opérateurs, encadrement, service sécurité, direction du site et du groupe, etc) mais également des entretiens (dont entretiens téléphoniques) avec les autorités de contrôle. Au total une trentaine sera réalisée. Aux entretiens seront ajoutées la lecture et l'analyse de tous les documents pertinents de l'entreprise (manuel et procédure sécurité, analyse de risques, suivi de formation etc). Des allers-retours seront réalisés entre le terrain, les questions et les données nécessaires pour y répondre.

La séquence accidentelle et l'architecture de sécurité

Le jour de l'accident, à 6h16, quatre employés de l'entreprise Nitrochimie sont décédés sur le coup d'une explosion de nitroglycérine dans les murs d'une usine de production de bâtons de dynamite. Sont victimes de cet accidents deux opérateurs de production, l'un expérimenté et l'autre intérimaire, qui travaillaient sur la machine à l'origine de l'explosion, et deux autres, du service de maintenance et du ramassage des déchets, qui se sont trouvés exposés par leurs déplacements respectifs dans l'enceinte de la zone pyrotechnique à ce moment là. Les conséquences et dommages au-delà de l'usine sont mineurs, limités par la conception des installations à risque, notamment la présence de merlons. Deux questions émergent alors ; quelle est la cause probable de l'explosion ? Pourquoi une telle gravité dans l'enceinte de l'usine ?

En réponse à la première question, l'hypothèse la plus probable est liée à la présence d'un corps étranger dans la machine qui sert à malaxer la pâte. La présence d'un corps étranger peut, par friction avec les éléments mécaniques et métalliques, entraîner une pression suffisamment forte pour générer l'explosion de la nitroglycérine. Cependant, il n'y a aucune preuve de la présence d'un tel corps étranger a posteriori. Les installations sont complètement détruites et il n'est pas possible de tout reconstituer dans le détail. Il est faisable de reconstituer de manière assez précise les itinéraires, ainsi que dans les grandes lignes, les actions des employés alors présents (d'autant plus qu'une vidéo est disponible sur le travail des opérateurs le matin même), mais il n'est pas réalisable de reconstituer la trajectoire d'un corps étranger depuis son point de départ jusqu'à sa présence dans la machine de malaxage.

³⁰ Waring, A., Glendon, A.I., 1998. Managing risk, critical issues for survival and success into the 21st century. Thompson learning.

De nombreux scénarios sont envisagés. Il existe en effet de très nombreuses sources de corps étrangers. Ces derniers peuvent être des outils, des pierres, des morceaux d'installations détachées (vis, écrous) ou tout autre objet, relativement petit pour passer inaperçu et suffisamment solides pour constituer une source d'énergie nécessaire à l'ignition du phénomène lors de sa friction avec les parties mécaniques. Toutefois, la source d'ignition n'est qu'une dimension de cet accident, liée à la probabilité de l'explosion. Se pose alors la question de la gravité. Un des principes de base de la sécurité en pyrotechnie est de limiter l'exposition des employés aux risques d'explosion. La réglementation pyrotechnique est ainsi largement pensée pour calculer les mesures de protection (distance, temps d'exposition) des opérateurs.

Avec ces deux dimensions, la probabilité et la gravité de l'accident, c'est toute l'architecture de sécurité du dispositif de prévention qu'il faut questionner. Cette architecture est constituée de l'ensemble des dispositifs techniques et humains qui sont censés prévenir ou protéger d'une séquence accidentelle identifiée a priori. C'est plus d'une vingtaine de barrières qui ont été répertoriées, qui constituent le système de 'défense en profondeur' de l'entreprise par rapport à ce scénario type (figure 1).

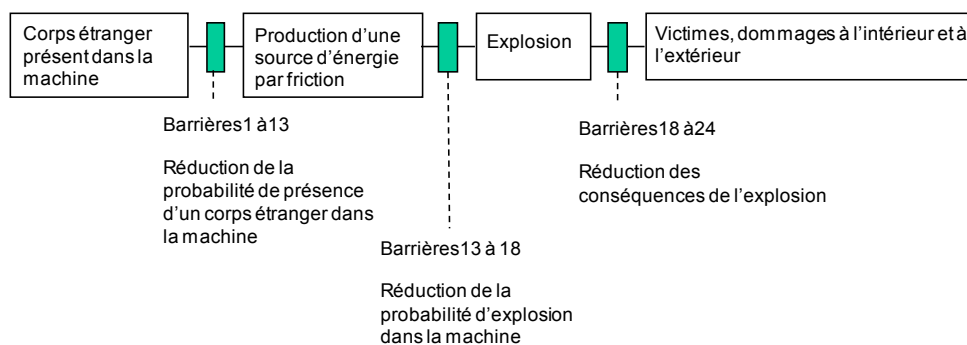


Figure 1. Identification des barrières de sécurité dans le scénario 'corps étrangers'

La présence du 'facteur humain'

De manière classique dans les investigations d'accidents, mais également dans les études du fonctionnement normal, il est apparu lors de l'investigation que le cadre prescrit de l'entreprise ne se confondait évidemment pas avec les pratiques réelles (on trouve là un des acquis, pour aller vite, de l'ergonomie et de la sociologie). Les actions à mener le jour de l'accident ne figurent pas dans les procédures au vu des problèmes rencontrés et un ensemble d'adaptations sont constatées a posteriori. Mais plutôt que de chercher seulement

dans les comportements individuels les sources de ces écarts et adaptations, ce vers quoi le directeur du site tentait de m'orienter pourtant lors de l'investigation, un jour, en insistant sur l'importance de la formation pour les employés, ce qu'il qualifiait alors comme le 'facteur humain', c'est dans les modes d'organisation du travail ainsi que des interactions entre acteurs des services, entre site et groupe ainsi qu'entre régulateur et régulé qu'il est intéressant d'approfondir. La suite de l'investigation s'oriente sur la base d'une connaissance empirique détaillée de la technique par l'intermédiaire des hypothèses de scénarios, de la description de l'architecture de sécurité ainsi que des écarts constatés rétrospectivement.

Un accident 'systémique'

Les résultats de cette étape d'investigation ont entraîné l'interprétation vers la mise en évidence d'une très grande intrication de dimensions techniques, organisationnelles, sociales, culturelles, économiques, juridiques, politiques etc, montrant la très grande complexité du cas. Il est apparu lors des entretiens, que, confrontés à l'ensemble de ces dimensions, une des difficultés pour les différents acteurs de l'organisation était d'arbitrer quotidiennement de manière favorable à un 'équilibre' entre elles. L'effet d'agrégation, ou émergent³¹, produit par l'ensemble de ces décisions par des acteurs multiples situés à différents endroits et moments, donne, une fois mis en évidence rétrospectivement, le sentiment que ces derniers auraient pu l'anticiper. Or est à l'œuvre ici un phénomène bien répertorié dans la littérature à savoir l'illusion rétrospective³² ou biais rétrospectif, le 'hindsight bias' des psychologues cognitifs³³ ou la 'retrospective fallacy' des historiens³⁴. Il s'agit de la tendance à stigmatiser les décisions sur la base de la connaissance de leurs conséquences. Même distantes dans le temps et dans l'espace, un certain nombre de

³¹ En sociologie ce thème a été particulièrement introduit et discuté par Boudon, R. 1979. La Logique du social, Hachette; Boudon, R. 1984. La place du désordre. Critique des théories du changement social. Presses universitaires de France, ou encore par Giddens, A. 1987 (1984). La constitution de la société. Presses universitaires de France.

³² C'est Aron qui en introduit les contours : '*Les affirmations indémontrables du déterminisme naissent spontanément de la perspective historique. On reconnaît d'abord des occasions, saisies ou perdues, des instants décisifs, mais, toujours et partout, qu'il s'agisse d'une victoire militaire ou de l'écroulement d'un empire, on découvre des raisons lointaines et valables qui, après coup, confèrent une apparente nécessité à l'issue effective. On oublie que l'issue contraire aurait peut-être comporté une explication aussi satisfaisante. En d'autres termes, la rétrospection crée une illusion de fatalité qui contredit l'impression contemporaine de contingence. Ni l'une ni l'autre n'est a priori vraie ou fausse, l'avenir rectifie souvent le jugement des acteurs. (...) Le passé de l'historien a été le futur des personnages historiques. Si le futur porte la marque d'une imprévisibilité essentielle, l'explication doit respecter la nature de l'événement.*' Aron, R. 1986 (1935). Introduction à la philosophie de l'histoire. Gallimard. p 223-224.

³³ Fischhoff, B. (1975). Hindsight#foresight: The effect of outcome knowledge on judgment under uncertainty. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 104, 288-299.

³⁴ Un terme utilisé par Vaughan dans analyse de Challenger, Vaughan, D., 1996. The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA. University of Chicago Press, Chicago.

décisions d'acteurs de la direction du site et du groupe, apparaissent en effet comme les conditions nécessaires à l'augmentation de la probabilité et gravité de la séquence accidentelle.

La présence de présuppositions chez l'investigateur

Cet état d'esprit a une répercussion fondamentale sur la démarche d'investigation, un état d'esprit indispensable à la compréhension des contraintes et des ressources des situations de travail des divers acteurs (opérateur, encadrement, direction, inspection) impliqués dans le système considéré, dont leurs informations disponibles et leurs cadres d'interprétation, sont en premier plan. Un des principes de l'investigation dans un but de prévention est qu'aucun des acteurs de l'entreprise ne vient au travail avec l'intention de créer les conditions d'un accident majeur. Cette question est d'une redoutable subtilité, car s'entremêlent de manière hautement problématique les questions de faits et de valeurs.

Chercher à décrire des comportements d'individus dans des situations données, en particulier dans un contexte d'accident majeur où l'on déplore des victimes, comporte une dimension de jugement extrêmement délicate à dissocier entièrement du travail d'investigation. Comme l'écrit le sociologue Quéré (dans une orientation inspirée du pragmatisme) *'l'identification et la qualification d'un événement impliquent d'emblée l'adoption d'une attitude favorable ou défavorable, incorporant une appréciation axiologique fondée sur une moralité'*³⁵. Ce problème philosophique très pointu³⁶ (que l'on rencontre par exemple en sociologie de manière récurrente depuis les origines³⁷), est toujours en arrière plan des recherches en sécurité industrielle. Il confronte l'investigateur à ses propres convictions personnelles de nature philosophique sur la nature humaine, la société et leurs rapports avec la technologie, et aussi sur la possibilité ou non de prévenir les accidents majeurs. C'est à ce moment de la réflexion que surgit, selon les épistémologies constructivistes, *'l'observateur dans son observation'*³⁸.

Ce dernier point fera l'objet de développements ultérieurs à plusieurs endroits dans les chapitres suivants. Cette question, qui a été directement entraînée par mon expérience d'investigation, restera malgré tout encore que partiellement étudiée à ce stade, selon moi,

³⁵ Dans Dosse, F. 2010. La renaissance de l'événement. Un défi pour l'historien : entre sphinx et phénix. Le nœud gordien. Presses universitaires de France. P 254.

³⁶ Putnam, H. 2002. Fait/valeur, la fin d'un dogme et autres essais. L'éclat.

³⁷ Aron, R. 1967. Les étapes de la pensée sociologiques. Gallimard.

³⁸ Le Moigne, JL. 2007. Les épistémologies constructivistes. Que sais-je. Presses Universitaires de France.

devant le besoin de maîtrise d'un haut degré de conceptualisation. Il n'est pas très aventureux de dire que sur ce point, on en est au début, du moins dans le domaine limité de la sécurité industrielle, et que ces questions rencontrent des difficultés à être légitimées dans des univers où la finalité pratique prime au dessus de considérations philosophiques, considérations qui apparaissent ô combien pourtant essentielles lorsqu'elles sont rendues explicites.

La mobilisation d'un support graphique

Il est toujours très difficile de restituer de manière succincte les résultats d'une investigation comme celle-ci. C'est certainement un problème actuel que de pouvoir expliciter des accidents majeurs sans réduire trop rapidement leur complexité sous-jacente. A des fins de communications, bien souvent, les accidents sont résumés en quelques lignes ou phrases clés, comme un problème dans 'l'équilibre entre production et sécurité', un problème de 'retour d'expérience' ou encore, pire, d'une 'erreur humaine' ou d'un 'non respect de procédure'. C'est un vrai obstacle, car en simplifiant autant ces phénomènes, on masque la complexité qui rend compréhensible les raisons pour lesquelles les accidents ne cessent de survenir depuis les trente dernières années. Ce point sera repris particulièrement dans le chapitre dédié à la question de la complexité, ainsi qu'en conclusion.

A la fin du rapport un effort de synthèse avait été réalisé sous forme graphique afin d'illustrer l'intrication des dimensions étudiées dans l'investigation. Cette représentation est reproduite ici (figure 2) pour témoigner de l'aspect systémique de cet accident. Elle est inspirée des travaux et propositions de Rasmussen³⁹, et reprend les différents 'niveaux' ou 'strates', correspondant à la position de différents acteurs, qui conditionnent le travail réel des opérateurs aux plus proches des activités à risques (ici, pour résumer, la manipulation de nitroglycérine). C'est à partir de cette représentation, qu'un certain nombre de points vont maintenant être abordés et discutés, après quelques remarques sur ce schéma.

³⁹ Rasmussen, J. 1997. Risk management in a dynamic society: a modeling problem. *Safety Science* 1997; 27:183–213.

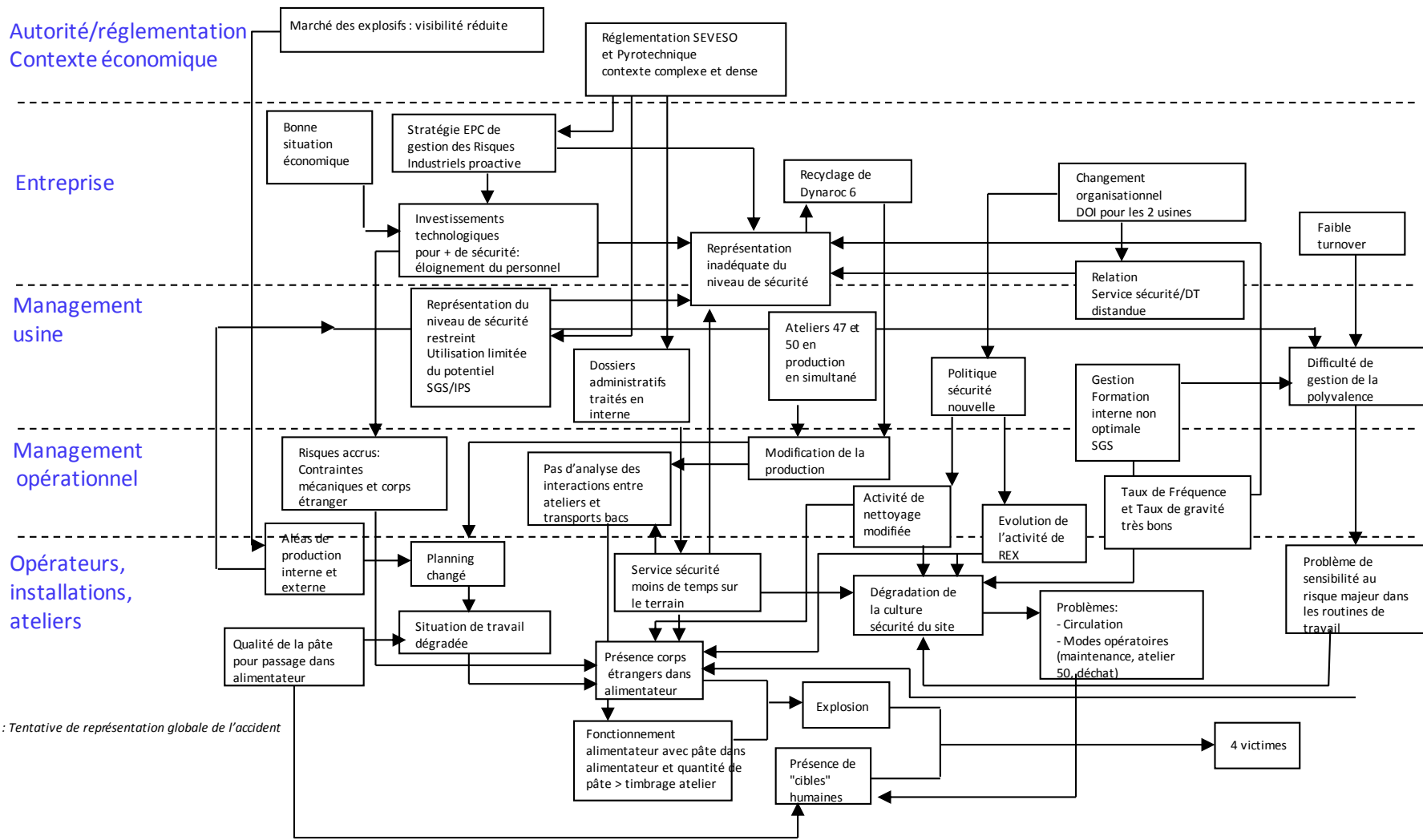


Figure 15 : Tentative de représentation globale de l'accident

Figure 2. Représentation graphique systémique de l'accident

Remarques sur la représentation graphique

Le schéma montre très bien le niveau d'interdépendance entre tous les 'strates', internes ou externes, d'une organisation à risque. La clé de lecture de cette représentation se trouve à la fois dans son orientation synchronique, c'est-à-dire dans l'imbrication et l'articulation des 'niveaux', que l'on peut aussi différencier entre micro (les installations, les ateliers, les opérateurs, le management opérationnel), meso (le management usine, le management entreprise ou siège) et macro (les concurrents, les autorités de contrôle, les 'institutions' etc), et dans son orientation diachronique. La vision diachronique indique les changements repérés dans l'histoire proche ou plus lointaine, internes ou externes ; localisés aux niveaux micro, meso ou macro. Ils influent sur les conditions de fonctionnement de l'entreprise, de l'usine, des ateliers ou des installations.

L'intérêt réside dans la présence de tous les éléments issus de l'investigation sur une même page. Ainsi, lorsque l'on parle de l'accident sous un certain angle, il faut toujours le resituer par rapport au reste afin de ne pas entraîner la sensation de réduction de l'accident à cet angle particulier. Je crois que le schéma limite immédiatement ce biais. Mais cet atout de la représentation graphique n'est pas non plus sans inconvénient. L'inconvénient le plus évident est celui de la signification extrêmement floue des flèches, et des relations entre les 'boîtes' créées. La compréhension d'un accident comme celui-ci est principalement littéral, elle s'exprime par du texte et sous la forme, plus ou moins théorisée, d'un récit. Les relations graphiques sous forme de flèches ne font qu'exprimer de manière suggestive et bien imparfaite des liens d'interactions entre certaines dimensions, qu'il faut donc nécessairement compléter par le texte associé. Ainsi, dans le rapport, chaque boîte renvoyait à des parties du texte, repérées par des pages précises (cette caractéristique a été supprimée de la figure 2 ici utilisée).

Des écarts locaux ou adaptation locales au cœur de l'accident

Le jour de l'accident, un certain nombre d'écarts ou d'adaptation ont attiré l'attention :

- La constitution des équipes et la prise de poste à des horaires décalés ont posé problème. Le matin de l'accident, seul l'opérateur principal se présente à son poste. Cette situation a contribué à rendre son travail plus difficile, ne bénéficiant pas de la contribution d'opérateurs pour des opérations de préparation de l'atelier. Les conditions

de planification des équipes sont en question dans cette situation, en rapport avec les questions d'organisation du travail.

- Un temps d'exposition dans les ateliers en moyenne toujours plus élevé dans la réalité par rapport à ce qui était prévu en théorie, l'une des raisons étant les difficultés de malaxage de la pâte qui était fournie dans les ateliers, qui ralentissait les opérations et imposaient aux opérateurs de travailler directement sur les machines alors que les ateliers étaient équipés pour tenir distance les opérateurs par un système d'automatisation. Le jour de l'accident le temps passé dans l'atelier avant l'accident s'approchait déjà des 10% prévu quotidien, alors même que la production n'avait pas démarré, ce qui laisse imaginer que le temps d'exposition ce jour là aurait de nouveau été bien au dessus de la norme prescrite.

- La présence d'une personne de la maintenance dans la zone en activité d'exploitation alors que le responsable de production n'en avait pas été informé contrevient à un principe de sécurité. Or cet élément est à relier avec un autre fait.

- Le fonctionnement en simultané d'ateliers proches, sans autorisation réglementaire. Cette situation entraîne des contraintes de circulation importante dans la partie pyrotechnique de l'usine, et explique en partie le degré de gravité plus élevé. Le déplacement de la personne de maintenance était engendré par des problèmes dans d'autres ateliers alors en fonctionnement.

- La présence d'une quantité de nitroglycérine supérieure à ce qui était prévue dans la réglementation s'appliquant à l'atelier. Cette situation entraîne, en cas d'explosion, des surpressions plus grandes, et donc des dommages plus importants.

En s'interrogeant sur ces écarts ou adaptations, il a semblé pertinent de se poser des questions sur les conditions qui ont contribué à les provoquer mais également les maintenir, car la situation le jour de l'accident ne s'est pas révélée comme exceptionnelle. En menant les entretiens successivement avec les différents acteurs de l'entreprise, en partant des opérateurs jusqu'aux cadres dirigeants, ainsi qu'en dehors des limites formelles de l'organisation, avec les autorités de contrôle, une compréhension globale s'est progressivement dégagée, sur la base de descriptions empiriques détaillées. Sans reprendre tous les éléments qui sont présentés dans le rapport, puis résumés dans l'article disponible

dans ce document, une explication simplifiée, orientée sur les changements afin d'insister sur la dimension diachronique, est proposée.

Rétrospectivement, une configuration plutôt 'propice' à l'accident, entraînée par une succession de changements

Cet accident, fondé en partie sur les écarts ou adaptations constatés au niveau local, peut se comprendre plus globalement par la dynamique interne du groupe et de l'usine, ses évolutions et transformations, en interaction avec son environnement de marché, réglementaire et de contrôle. Premièrement, il est apparu très clairement que le groupe n'était pas dans une situation économique difficile, et que les investissements, notamment dans la technologie vers une modernisation de l'outil de production étaient importants depuis les dix dernières années. Investissements à la fois dans les capacités de production ainsi que dans les aménagements pour la sécurité, dont des mises à distance, par automatisation, pour partie, de la conduite des installations. D'autres améliorations comme le passage en automatisé de circuit de distribution des bacs de pâte de nitroglycérine, avec comme objectif à la fois de sécuriser (en limitant l'exposition) et d'optimiser les flux entre les ateliers.

Ce point est important à souligner, car une idée reçue à propos des accidents consiste à penser systématiquement qu'ils se déroulent dans des installations dégradées, manquant de maintenance, vétustes ou en manque d'investissement. Ce n'est clairement pas le cas dans cet exemple, contrairement à cette idée reçue. Ce qui a semblé davantage à l'origine de cet accident, à l'issue des entretiens, est une succession de transformations non seulement technologiques mais également d'ordre opérationnel (dont les impacts des changements technologiques sur le travail des opérateurs), organisationnel, réglementaire et de contrôle, à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine ainsi que du groupe.

Changements technologiques

Parmi l'ensemble des changements technologiques contribuant à augmenter les gains de productivité, deux sont particulièrement intéressants à mentionner, pour leurs impacts clairs dans le scénario d'accident. Le premier concerne le changement des dispositifs de malaxage de la pâte de nitroglycérine. Fonctionnant alors sur la base d'équipements en bois, le passage

à des équipements métalliques, offrant de plus grandes facilités, a par ailleurs contribué à augmenter la présence de ces corps étrangers si problématiques pour la sécurité pyrotechnique. C'est en effet à la suite d'une plus grande mécanisation des installations, qu'une démarche de retour d'expérience avait été demandée à l'entreprise par l'inspection des poudres et explosifs, se rendant compte d'une présence plus importante de ces corps étrangers. L'année de l'accident, le site avait pour objectif de réduire le nombre de ces corps étrangers trouvés dans les installations.

Le second exemple est l'introduction d'un nouvel équipement automatisé, produisant 80% de la pâte pour l'usine, à destination des ateliers en charge d'assurer le passage de la pâte sous la forme de cartouches de dynamite. Cependant, en devenant aussi centrale dans la production de l'usine, cette machine et ses opérateurs ont acquis une position dominante, posant des problèmes pour quelques ateliers. Ainsi, lors de demandes spécifiques de la part d'ateliers équipés de machines dont les caractéristiques entraînaient des difficultés de malaxage de la pâte produite, ceux-ci n'étaient plus en position de contraindre la nouvelle machine, qui produisait pour 80% du site, à s'ajuster à leur spécificité. Dans ces conditions, certains ateliers, dont celui où l'accident est survenu, se retrouvaient parfois dans des situations de travail dégradées où des lots complets de pâte entraînaient des interventions manuelles sur leurs machines, maintenant les opérateurs régulièrement bien au-dessus des niveaux de temps d'exposition, et annulant du même coup les efforts de mise à distance par l'automatisation.

Changements opérationnels

D'ordre opérationnel et proche cette fois de seulement quelques jours de l'accident, l'augmentation du nombre d'ateliers en production et donc de l'interactivité entre eux, compliquant les plans de circulations dans la zone pyrotechnique, figure parmi ces évolutions contributives. Cette décision est prise au niveau de la direction du groupe, à la suite d'un rapatriement de produits non consommés dans un autre site du groupe. Elle aura pour conséquence directe une grande difficulté au niveau local, au niveau de l'usine, pour gérer les flux de produits, en particulier leur stockage qui sont soumis à des consignes strictes de timbrages (c'est-à-dire de quantité de produits maximum présente dans les ateliers dits 'tampons', lieux de stockage), souvent difficiles à respecter, si l'on tient compte des aléas de production. Ces modifications auront lieu sans que soit menée une analyse de risques correspondant à ces nouvelles conditions de productions. Force est de reconnaître

qu'au vu des difficultés de circulation entraînées, il apparaît a posteriori étonnant de cette lacune dans l'approche de la sécurité, même s'il est évidemment facile de raisonner après coup, à la lumière des événements, sur ce point.

Changements organisationnels

D'ordre organisationnel, les transformations qui ont lieu de manière successives au sein du groupe et de l'usine constituent des éléments clés de la compréhension de l'accident. Les principales concernent des changements de personnel, non des moindres au niveau du site lui-même, puis au niveau du groupe, dont des répercussions, assez informelles, mais non moins négligeables dans la dynamique de la sécurité industrielle sur site. Le premier changement aux nombreuses conséquences dans la gestion de la sécurité, est celui qui consiste à remplacer l'ancien directeur du site, expérimenté et qualifié de très 'terrain', par un nouveau directeur, beaucoup plus jeune, sans expérience de management industriel, qui sera rapidement, de plus, affecté à la direction de deux sites, organisant sa semaine de travail entre ces deux positions (géographiquement distantes). Ce changement aura des impacts évidents sur la manière dont les arbitrages sont réalisés dans l'usine, en particulier dans l'équilibre des pouvoirs entre les services, à la défaveur de l'ingénieur en charge des questions de sécurité, et à la faveur de l'ingénieur de production, expérimenté, sur lequel se repose alors le nouveau directeur. L'expérience de cet ingénieur compense l'inexpérience de directeur, mais le contraint à une forme de dépendance, dans les arbitrages (dont la décision de retrait de l'ingénieur des réunions de retour d'expérience).

Le second changement qui est sélectionné ici, plus subtil, a lieu dans l'organigramme du groupe, et dans le remplacement de son responsable technique, affecté à un autre poste. La conséquence de cette évolution est pour le service sécurité une perte de relai au niveau de la direction. Décrit dans ses propres termes comme la perte de son 'téléphone rouge', l'ingénieur en charge des questions de sécurité industrielle sur le site, perd en effet à ce moment là un pouvoir, informel, qu'il possédait par l'intermédiaire de cet individu, bien placé au sein du groupe. Cet individu n'hésitait pas, selon lui, à 'taper du point sur la table' lorsqu'il l'informait de problèmes de sécurité industrielle au sein de l'usine. L'ingénieur sécurité ne pourra plus procéder de la sorte, c'est-à-dire de manière indirecte, avec le nouveau titulaire de cette fonction technique au niveau groupe avec lequel il n'a pas les mêmes relations.

Changements réglementaires et de contrôle

Pour finir d'illustrer sur les changements, indiquer leur variété et montrer la complexité du cas, deux derniers paragraphes sont consacrés aux aspects réglementaires et de contrôle, de manière succincte et simplifiée, comme pour les précédents. L'entreprise, jusqu'alors soumise à la réglementation pyrotechnique de 1979, passe en 2002 sous la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement. Le passage se révèle difficile pour plusieurs raisons. Une première raison est le manque de cohérence entre les seuils des effets de surpression dans les deux réglementations. Comme il y a non cohérence, une interprétation et des choix sont à réaliser lors du calcul des distances d'effets à prendre en compte, ce qui impose à l'entreprise de se positionner. Une autre raison est la nouvelle approche qu'implique la réglementation des installations classées par rapport à la réglementation pyrotechnique. Le passage d'une réglementation très prescriptive, reposant sur des principes très précis d'analyse de risques, à une approche qui l'est beaucoup moins, demande un temps d'adaptation à l'entreprise, processus dans lequel elle se trouvait au moment de l'accident, et qui occupait le service sécurité, le détournant d'activité plus opérationnelles. Mais cet aspect réglementaire lié aux textes s'est aussi accompagné d'une évolution dans les inspections par les autorités de contrôle.

Jusqu'alors contrôlés par des inspecteurs des poudres et explosifs sur le plan de la sécurité industrielle, c'est désormais aussi au regard de l'inspecteur des installations classées qu'ils sont également soumis. Contribuant d'une part à compliquer les circuits de validations des dossiers d'analyse de risques, cette situation entraîne également un différentiel important dans la qualité du contrôle. En effet, le passage d'un corps spécialisé dans le domaine de la pyrotechnie en charge du contrôle, à un corps non spécialisé et généraliste, s'en ressent immédiatement dans les points qui sont soulevés lors des inspections, et de leur pertinence. Alors que par le passé, les inspecteurs des poudres et explosifs identifient des points clés de la sécurité industrielle du site, l'inspection des installations classées lors de son premier passage en 2002 souligne principalement les aspects formels des systèmes de gestion de la sécurité ainsi que d'eips (éléments importants pour la sécurité), en décalage fort avec l'approche de gestion des risques de l'entreprise.

Des changements qui se combinent, qui mobilisent différents regards

Pour comprendre cet accident, il convient selon moi de comprendre la dynamique enclenchée par ces différents changements et d'autres ici qui n'ont pas été évoqués (en les associant avec la dimension synchronique, qui a été moins mise en perspective ici). C'est selon ce regard que l'on appréhende bien, selon moi, cet accident. Chacun de ces changements contribue à comprendre, certes a posteriori, les écarts ou adaptations décrits au niveau local, et participe de la dynamique accidentelle autant que ces derniers. On comprend alors que cet accident résulte d'un mouvement complexe, qui ne peut se réduire à une dimension mais nécessite la conjonction d'un ensemble de dynamiques ou de mouvements qui configurent le système de manière propice à l'accident. Deux aspects fondamentaux de cette investigation sont alors à souligner. Premièrement, cette conjonction de changements, cette émergence, est 'événementielle', contingente. Elle résulte d'une combinaison singulière, unique, historique. Deuxièmement, il y a conjonction 'multidimensionnelle' de mouvements, qu'on peut distinguer sous la forme de changements ou d'évolutions qui affectent la capacité de gestion de la sécurité de l'entreprise. Chacun de ces mouvements fait référence à des phénomènes qui sont étudiés dans divers domaines disciplinaires.

Ainsi, l'étude de l'impact de la technologie sur le travail peut relever de l'ergonomie ou de la sociologie du travail. Les changements opérationnels locaux qui n'entraînent pas d'analyse de risques questionnent les outils de gestion de la sécurité de l'entreprise. Les évolutions réglementaires ainsi que de contrôle posent des questions d'ordre juridique et de politique publique étudiées respectivement par le droit et les sciences politiques ou encore la sociologie de l'action publique. Les transformations technologiques et leur impact sur le niveau de sécurité mobilisent les connaissances de l'ingénieur. Les modifications organisationnelles reconfigurant les contraintes et ressources des différents acteurs et entraînant de nouvelles modalités d'arbitrages, sont des thématiques de prédilection de la sociologie des organisations (ou de l'entreprise).

Bref, en repérant ces quelques changements qui ont contribué, rétrospectivement, à l'accident, l'observateur se rend très bien compte combien une compréhension globale de l'accident nécessite la mobilisation d'un ensemble de connaissances. Ce constat amène au second chapitre, qui propose de repérer les contributions disciplinaires aux accidents et à la sécurité industrielle. Il alimentera un 'réservoir' de modèles, pour penser de manière multi

puis interdisciplinaire⁴⁰, pour penser les articulations entre points de vue disciplinaires. Le troisième chapitre traitera plus en profondeur de la nature ‘événementielle’ et ‘multidimensionnelle’ du cas, en interrogeant la notion de complexité. Cette ‘méta-catégorie épistémique’ de complexité (qui sera aussi décrite comme débouchant sur un ‘style’, de type cognitif, face à la situation contemporaine des sciences) me permettra d’élaborer un arrière plan conceptuel pour la problématique de l’évaluation de la sécurité industrielle, en mode normal.

⁴⁰ Ces termes seront définis dans le chapitre suivant.

Chapitre 2

Contributions disciplinaires à la sécurité industrielle⁴¹

Une lecture historique à la croisée des chemins

L'histoire des différentes contributions disciplinaires à la sécurité industrielle est très souvent abordée de deux manières, soit en favorisant un point de vue 'mono' disciplinaire⁴², soit en présentant beaucoup plus succinctement une tendance à la succession de regards technique, humain et organisationnel dans ce domaine⁴³. C'est une approche à la croisée de ces chemins que je souhaite mener ici, en favorisant d'abord une perspective tournée vers la multi (et l'inter)disciplinarité puis une perspective plus 'enchevêtrée', un peu moins linéaire que la suggestion de trois périodes distinctes. Malgré une certaine pertinence de cette vision linéaire, on constate beaucoup de développements parallèles concomitants, à quelques années près. On constate aussi que chaque domaine se développe de manière plus ou moins indépendante (malgré quelques circulations de concepts), sans qu'il soit véritablement remplacé par un autre, et ce depuis une trentaine d'années. De plus, le rôle des autorités de contrôle et de l'action publique est un axe de recherche et une question aussi importante que les trois autres aspects, et constitue un quatrième regard sur la sécurité industrielle, porté par d'autres traditions de recherche et disciplinaires (en particulier la sociologie de l'action publique, ou les sciences politiques). Mais étant donné la stratégie et les objectifs de ce chapitre, il est indispensable d'apporter quelques précisions préalables.

⁴¹ Ce chapitre repose plus particulièrement sur les deuxième, quatrième et cinquième articles : Le Coze, JC. 2008. Disasters and organisations: from lessons learnt to theorising. *Safety Science*. 46. 132-149; Le Coze, JC. 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and current safety auditing? *Safety science* (43) 613-638; Le Coze, JC. A proposition of hybrid model of industrial safety. En cours de révision pour publication dans *Safety Science*.

⁴² Voir par exemple Laurent, A. 2003. Sécurité des procédés chimiques. Connaissances de base et méthodes d'analyses de risques. Lavoisier. Editions Tec & Doc; Amalberti, 2001, La conduite des systèmes à risques. Presses universitaires de France ; Bourrier (eds), 2001. Organiser la fiabilité. L'harmattan.

⁴³ Un exemple est fourni par Hollnagel, E. 2004. Barriers and accident prevention. Ashgate.

Multi/pluri/poly/inter/transdisciplinarité

Depuis quelques années, les appels à l'interdisciplinarité sont nombreux et les projets encouragés⁴⁴. Le domaine des risques y est particulièrement propice⁴⁵. Mais à l'expression d'interdisciplinarité s'ajoutent ceux de multidisciplinarité, de pluridisciplinarité, voire de polydisciplinarité ou encore de transdisciplinarité. Ainsi, afin de lever certaines ambiguïtés, trois distinctions sont retenues, sur la base d'une contribution de Morin, devenue classique, que cet extrait résume bien⁴⁶ : *'Revenons sur les termes d'interdisciplinarité, de multi- ou polydisciplinarité et de trans-disciplinarité qui n'ont pas été définis parce qu'ils sont polysémiques et flous. Par exemple, l'interdisciplinarité peut signifier purement et simplement que différentes disciplines se mettent à une même table, à une même assemblée, comme les différentes nations se rassemblent à l'ONU sans pouvoir faire autre chose que d'affirmer chacune ses propres droits nationaux et ses propres souverainetés par rapport aux empiètements du voisin. Mais inter-disciplinarité peut vouloir dire aussi échange et coopération, ce qui fait que l'inter-disciplinarité peut devenir quelque chose d'organique. La polydisciplinarité constitue une association de disciplines en vertu d'un projet ou d'un objet qui leur est commun ; tantôt les disciplines y sont appelées comme techniciennes spécialistes pour résoudre tel ou tel problème tantôt au contraire elles sont en profonde interaction pour essayer de concevoir cet objet et ce projet, comme dans l'exemple de l'homínisation. En ce qui concerne la transdisciplinarité , il s'agit souvent de schèmes cognitifs qui peuvent traverser les disciplines, parfois avec une virulence telle qu'elle les met en transe. En fait, ce sont des complexes d'inter, de poly, et de transdisciplinarité qui ont opéré et qui ont joué un rôle fécond dans l'histoire des sciences ; il faut retenir les notions clés qui y sont impliquées, c'est-à-dire coopération, et mieux, articulation, objet commun et mieux, projet commun'*. En complément sur la transdisciplinarité, on trouve des précisions dans un autre article de Morin *'L'histoire de la science est traversée par de grandes unifications transdisciplinaires que jalonnent les noms de Newton, Maxwell, Einstein, le rayonnement de philosophie sous-jacentes (empirisme, positivisme, pragmatisme) ou d'impérialismes théoriques (marxisme, freudisme)'*⁴⁷.

⁴⁴ Vinck, D. 2000. Pratiques de l'interdisciplinarité. mutations des sciences, de l'industrie et de l'enseignement. Presses Universitaires de Grenoble.

⁴⁵ Voir par exemple Amalberti, R., Fuchs, C., Gilbert, C (dir), Risques, erreurs et défaillances, approche interdisciplinaire, actes de la première séance du séminaire 'le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations dans les activités à hauts risques, CNRS-ministère de la Recherche, Grenoble, publication de la MSH-Alpes, 2001.

⁴⁶ Morin, E., 1990a. Articuler les disciplines. Actes du colloque du CNRS.

⁴⁷ Morin, E. L'ancienne et la nouvelle transdisciplinarité, dans Morin, E. 1990b. Science avec conscience. Seuil. p 124.

On peut donc, même si les expressions restent en effet floues et polysémiques, retenir de la proposition de Morin les trois distinctions suivantes :

1. **Pluri, poly ou multidisciplinarité** : approche qui consiste à proposer différents points de vue selon plusieurs disciplines à propos d'un même objet, sans chercher à combiner, confronter, articuler ou faire échanger les différentes disciplines mobilisées.
2. **Interdisciplinarité** : approche qui a pour ambition de faire travailler, circuler, fusionner, se compléter, se confronter les concepts, modèles et méthodes de différentes disciplines mobilisées autour d'un objet commun ou dans le cadre d'un projet commun afin de chercher des articulations et d'aboutir à un angle de vue nouveau, irréductible aux apports disciplinaires pris individuellement.
3. **Transdisciplinarité** : approche qui vise à faire émerger des principes communs sous-jacents aux différents ordres du réel étudiés par différentes disciplines (physique, biologie, social), comme la notion de 'système' qui est utilisée de manière transversale dans tous les champs du savoir, ou encore le principe 'd'auto-organisation' (ce dernier point sera exploré dans le chapitre 3, consacré à la complexité)⁴⁸.

Les coûts cognitifs, sociaux et institutionnels du chercheur poly ou/et interdisciplinaire

Les coûts (ou les obstacles) des approches qui ont pour ambition de mobiliser plusieurs disciplines (dans des buts 'multi', 'poly', ou 'inter') ; sont nombreuses pour le chercheur, et au moins de trois ordres : cognitif, social et institutionnel. Sur le plan cognitif, c'est une stratégie de recherche qui est aventureuse, qui est un peu risquée. Elle invite à la promenade (ou randonnée) dans différents domaines, sans que le chercheur n'ait été évidemment formé au départ à tous les domaines. Le danger est de ne pas les maîtriser suffisamment, de faire du syncrétisme, voire de s'égarer. D'autre part, elle est cognitivement lourde. Comme le précise Claverie dans une réflexion sur ces aspects cognitifs '*la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité (...) nécessitent un effort de pensée, un souhait de dépassement de la*

*routine, une stratégie collaborative avec une énergie de partage des valeurs de communautés différentes. Ce processus correspond à une pensée volontaire, guidée par un souhait d'association entre représentations. Ce sont ces points de vue distincts, parfois des mêmes réseaux ou sous-réseaux qui doivent alors se croiser. Et il n'est pas facile d'adopter ceux de l'autre qui perturbe sa propre représentation. Le recours au symbolique est omniprésent, difficile et fatigant. Le manque de motivation ou l'usure tendent à retourner au plus simple, dans le confort cognitif de la simple coordination des représentations spontanées*⁴⁹.

Sur le plan social, cette aventure (indisciplinée) en dehors de son domaine de compétence sur le territoire d'autres chercheurs, n'est pas sans créer l'incompréhension, voire même, peut-être, rejet et par conséquent aussi un certain isolement. Ce rejet par les autres s'explique de la même manière, par les difficultés et coûts d'ordre cognitifs, sociaux et institutionnels qui s'appliquent au chercheur pluri ou interdisciplinaire. Non sociologue, non ergonomiste, non ingénieur, non gestionnaire, non politologue ou non philosophe (épistémologue) mais pourtant un peu tout ça à la fois pour traiter, par exemple, de la question de la sécurité industrielle et des accidents technologiques majeurs, il peut être en conséquence bien souvent difficile pour le chercheur qui envisage une approche interdisciplinaire de se construire une 'identité scientifique'.

Enfin, sur le plan institutionnel, cette stratégie de recherche peut s'avérer extrêmement difficile à valoriser. Les comités de lecture ou commissions scientifiques ne sont pas toujours à l'aise pour juger de la qualité d'un travail interdisciplinaire, étant donné son caractère très hybride, à la croisée de plusieurs domaines dans des fins d'articulation. Claverie, de nouveau, le remarque '*C'est donc vers le plus simple que la pensée va tendre. Rien de surprenant à ce que, lorsque que le sujet est impliqué dans des tâches mentales lourdes, qu'il est fatigué ou qu'il se sent menacé, il revienne aux processus les plus stabilisés, les plus routiniers, vers les modèles abstraits et les schémas de pensées les plus habituels, confortables et rassurants. Les évaluateurs, qui ne cherchent pas la complexité, participent de ce processus.*'⁵⁰

Dans ce chapitre, l'approche qui est privilégiée est, dans un premier temps, d'orientation

⁴⁸ Mon travail n'est donc pas transdisciplinaire selon cette catégorisation, mais plutôt multi et interdisciplinaire. Je laisse par conséquent de côté pour le moment la démarche transdisciplinaire, que l'on retrouvera cependant au chapitre 3.

⁴⁹ Claverie, B. 2010. Pluri-, inter-, transdisciplinarité: ou le réel décomposé en réseaux de savoir. *Projectique*. 2010/1 (n°4).

⁵⁰ Claverie, B. Pluri-, inter-, transdisciplinarité: ou le réel décomposé en réseaux de savoir. Art. cité.

plutôt multidisciplinaire, elle fait dialoguer les champs afin de les comparer, de les organiser selon certains de leur points communs, afin de donner une structure à ce ‘réservoir’ empirique et conceptuel de modèle. Elle permet de mettre en regard différentes disciplines pour préparer dans un deuxième temps une élaboration cette fois d’orientation interdisciplinaire contribuant à un projet commun d’évaluation (qui sera présentée au chapitre 4).

Quatre thèmes : installation, cognition, organisation, régulation

Ces précisions étant apportées, la figure 3 indique, sur la base de mon expérience d’investigation d’accidents ainsi que mes recherches sur l’évaluation en ‘fonctionnement normal’, différentes disciplines qui contribuent à la question de la sécurité industrielle.

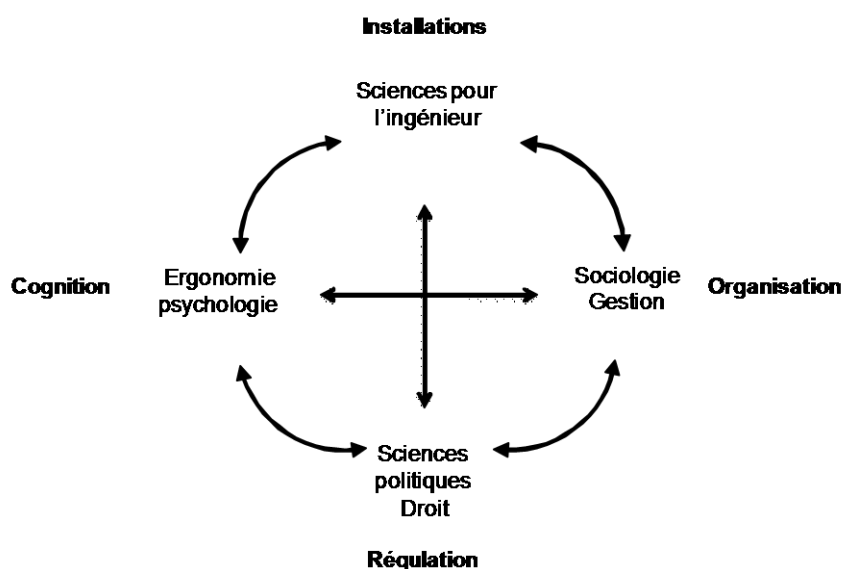


Figure 3 : Plusieurs disciplines en risques industriels

On peut dater aux années soixante mais surtout aux années soixante-dix et quatre-vingt, la constitution d’une production de savoirs dédiés à ce thème spécifique. Au cours de ces deux décennies, dans de nombreux domaines, en ingénierie, ergonomie, gestion, sociologie, droit et politique, des questionnements spécifiques prennent en effet forme sur ce thème, amplifiés ou produits à la lumière d’accidents majeurs, dans la pétrochimie avec Feyzin (1966) en France, dans la chimie avec Flixborough (1974) en Angleterre, ou encore dans le nucléaire avec Three Miles Island (1978) aux Etats-Unis. Au cours des années quatre vingt dix, chacun continue à se développer indépendamment, tout en ‘conversant’ plus ou moins

avec les autres, puis dans les années deux mille, cette situation perdure, avec des ancrages disciplinaires forts, qui communiquent plus ou moins.

Je procède à un regroupement en quatre termes en ‘tion’, à savoir ‘installation’, ‘cognition’, ‘organisation’ et ‘régulation’. Ce choix de vocabulaire n’est qu’une autre forme de distinction que le traditionnel tryptique ‘technique, humain et organisationnel’, qui passe ici de trois à quatre termes. Cela permet de regrouper des disciplines dont les portées, objets et projets sont proches (mais néanmoins distincts). Ces expressions couvrent donc respectivement :

1. **Installation** : les sciences pour l’ingénieur (dont la sûreté de fonctionnement), la physique et chimie des phénomènes,
2. **Cognition** : l’ergonomie (physiologique, psychologique ou cognitive); la psychologie, la sociologie,
3. **Organisation** : les sciences de gestion et la sociologie des organisations et du travail, de l’entreprise ou de l’action publique,
4. **Régulation** : le droit et les sciences politiques.

Au sein de toutes ces disciplines, seules les contributions consacrées à la sécurité industrielle, c’est-à-dire à la prévention des risques technologiques majeurs d’industries en exploitation (i.e. nucléaire, chimie, transport), sont mobilisées. Il ne s’agit donc pas de prétendre à une présentation globale d’autant de disciplines, ce qui n’a évidemment aucun sens, mais plutôt de procéder à des emprunts ciblés de travaux empiriques et théoriques, en provenance de différents champs disciplinaires, qui éclairent le projet d’évaluation de la sécurité industrielle. Une fois articulés, ils offrent une appréhension d’une tout autre envergure qu’une approche sous l’angle d’une seule spécialité ne le permet, une appréhension indispensable à ce projet.

Un chapitre exposé à la ‘critique disciplinaire’

Ce chapitre est donc celui qui peut apparaître le plus frustrant et le plus déroutant pour les spécialistes des différentes disciplines introduites. Frustrant, d’une part, car aucune des parties qui suivent ne pourra couvrir en profondeur les domaines qui sont parcourus. Par exemple, la catégorie de ‘régulation’ des risques (choisie ici en référence à la notion anglo-

saxonne de *'risk regulation'*) peut être connectée aux études en sciences sociales sur les risques⁵¹, mais encore plus directement aux travaux concernant les politiques publiques⁵². Au sein de ces vastes domaines d'étude, seuls les travaux qui ont une relation avec, ou qui peuvent avoir un intérêt pour, la question de la prévention des risques technologiques majeurs (la sécurité industrielle) sont discutés⁵³. Ce positionnement réduit considérablement le nombre des contributions pertinentes, et la rétrospective sur ce point, par conséquent, ne rendra pas compte de l'étendue des recherches menées, par exemple sur des risques (ou menaces) d'une autre 'génération'⁵⁴ que les risques technologiques ou industriels plus 'classiques', les risques sanitaires, étant un exemple illustratif, pour la France, qui ne sont pas discutés ici⁵⁵. Ce raisonnement s'applique à l'identique pour les autres domaines. Seuls les travaux au sein des sciences pour l'ingénieur, de l'ergonomie, de la sociologie des organisations (ou travail) ou des sciences de gestion etc, qui sont orientés sur la sécurité industrielle sont retenus. La difficulté, sur le plan de la recherche, est bien entendu, qu'à chaque mobilisation d'études d'une discipline spécifique, il est important de connaître *a minima* ses concepts de base, sous peine d'utiliser de manière inappropriée les modèles, théories ou résultats empiriques de ces études. Cet écueil est inhérent à tout travail de nature interdisciplinaire, qui marche sur le 'fil du syncrétisme' (une des difficultés, ici cognitive, évoquées précédemment).

Déroutant, d'autre part, car le lecteur 'mono' disciplinaire (j'hésite à utiliser ce terme car aucun chercheur n'est véritablement 'mono' disciplinaire, mais s'inscrit toujours dans des frontières plus ou moins perméables et en évolution, parfois composites, qui définissent le 'cœur' d'une discipline, son identité empirique et théorique) est invitée à sortir de sa 'zone de confort', pour entrer dans des domaines en dehors de ses frontières usuelles.

⁵¹ Taylor-Gooby, P., Zinn, J. O. (eds) 2006. Risk in social sciences. Oxford University Press; Zinn, J. O. 2008. (ed). Social theories of risk and uncertainty. An introduction. Blackwell Publishing. En particulier chapitre 10. Hutter, B. Risk, regulation, and management.

⁵² Borraz, O., Guirandon, V. 2008. Politiques publiques. La France dans la gouvernance européenne. Presses de Sciences Po. En particulier chapitre 12. Borraz, O. Gilbert, C., Quand l'état prend des risques.

⁵³ Par exemple Kirwan, B., Hale, A., Hopkins, A. 2002. Changing regulation: controlling risks in society. Pergamon.

⁵⁴ Gilbert identifie trois générations de risques (ou de menaces). 'La notion de risques collectifs' permet d'établir des rapprochements, des parentés intéressantes entre les risques que j'évoquais précédemment (naturels, technologiques) et ceux s'apparentant à une seconde 'génération' de risque (amiante, sang contaminé, hormone de croissance, etc) voire à une 'troisième génération' (ESB OGM, hépatite B, pollutions environnementales cancérigènes, faibles doses radioactives, etc)' Gilbert, C., Caille, F., Lemieux, C. 1998. Des objets à géométrie très variable. Entretien avec Claude Gilbert. Politix. Vol 11, n°44 pp 28-39.

⁵⁵ Borraz, O. 2008. Les politiques du risque. Les presses de science po. Même si dans cet ouvrage, les conclusions de l'auteur (l'état comme 'facteur de risque', une gestion des risques reposant sur des initiatives non étatiques) font en partie échos avec la situation spécifique de la régulation des risques technologiques majeurs. Mais cette vague comparaison doit être fortement nuancée, en effet '*aucun ouvrage n'est venu proposer une analyse compréhensive de la manière dont l'ensemble des missions de sécurité avaient été, et sont encore, assumées*' Borraz, O., Gilbert, C. 2008. Quand l'état prend des risques, dans Borraz, O. ; Guirandon, V. Politiques Publiques. La France dans la gouvernance européenne. Op cité.

L'image de la 'dépose par hélicoptère'

Le résultat qui est recherché ici n'est donc pas de rendre compte de manière précise de tous les domaines, mais plutôt d'extraire des éléments de base dans une visée multi puis interdisciplinaire, pour un objectif spécifique. Je ne cherche pas la maîtrise complète de tous ces domaines disciplinaires, ce qui serait une tâche colossale, mais plutôt davantage une connaissance suffisante pour pouvoir en faire un usage dans une finalité particulière, irréductible à ce que ces différentes disciplines, prises séparément, apportent. L'image de Serres de la 'dépose par hélicoptère'⁵⁶ convient alors tout à fait pour introduire, éclairer et légitimer la pertinence de cette position, qui peut, j'en conviens volontiers, surprendre au premier abord. Cette image est synthétisée par l'auteur lui-même, au cours d'un entretien, *'j'ai proposé une image que j'appelle « la dépose par hélicoptère ». Voilà, je suis montagnard, ça a été une des grandes passions de ma vie. J'ai donc fait mille et une courses avec toujours le même guide, ou à peu près, et je connais assez bien le métier de guide de haute montagne. Ces guides, je les admire beaucoup. Ce sont des gens qui connaissent vraiment la montagne. Vous prenez un guide de Chamonix, c'est un homme qui a fait des centaines de fois l'ascension du Mont Blanc, de l'Aiguille Verte, etc. Alors vous montez en montagne, vous faites une course de dix-neuf heures – ça peut arriver – avec bivouac, et, stupéfait, vous trouvez au sommet une équipe de cinéastes en train de tourner des images sur la chaîne des sommets, la vallée, et qui sont déposés là par hélicoptère. Bon alors vous dites : c'est des jean-foutre ! Mais on ne tranche pas cette question si aisément, parce que ces gens-là se sont fait déposer par hélicoptère sur trois cents sommets du monde alors que moi je n'ai fait que trois sommets dans l'Himalaya. Et tout d'un coup, qui connaît le mieux la montagne ? Celui qui s'est fait déposer par hélicoptère ou moi ? Il y a là un problème que l'on ne résout pas comme ça'*⁵⁷. Cette problématique sera approfondie dans le troisième chapitre consacré à la complexité, où il sera alors question de caractériser un 'style' particulier de recherche, qui s'applique à de nombreux domaines scientifiques, dont celui de la sécurité industrielle. Les philosophes Morin et Serres seront à cette occasion retrouvés et discutés plus longuement. Je montrerai brièvement, dans le quatrième chapitre cette fois, que mon approche n'est pas isolée, et que quelques tentatives proches (en nombre néanmoins limité) jalonnent l'histoire du domaine des risques technologiques depuis une vingtaine

⁵⁶ Serres, M. 2003. L'incandescence. Le Pommier. p 229-230.

⁵⁷ Extraits d'un entretien disponible à l'adresse suivante <http://www2.cndp.fr/magphilo/philol2/entretien.htm>.

d'années.

Des catégories en 'tion' quelque peu arbitraire ?

Ensuite, le choix des quatre catégories en 'tion', pour les différents angles disciplinaires, est potentiellement polémique. Par exemple, la catégorie 'régulation' est pour les sociologues du travail, centrale. Elle permet de rendre compte de phénomènes de conflit et de négociation dans la création, le maintien et la transformation des règles qui organisent le travail. Les expressions de régulations de contrôle, autonome ou conjointe sont ainsi au cœur d'une conceptualisation majeure pour la sociologie du travail⁵⁸, dont les approches portant sur la sécurité ont pu bénéficier⁵⁹. Il peut leur sembler donc tout à fait insatisfaisant dans le cadre de cette classification de ne pas être associés directement à la 'régulation', celle-ci étant réservée ici au droit et sciences politiques (ou sociologie de l'action publique). Cette situation se répète pour toutes les autres catégories. Pour les ergonomes, résumer leur apport à la catégorie 'cognition' pourra apparaître très réducteur. Il existe notamment tout une ergonomie à caractère physiologique, faisant place au corps, aux postures, à la conception des postes de travail, prenant en compte la technologie (donc aussi les 'installations'). De même, les études d'ergonomie d'une manière générale accordent une place à 'l'organisation' dans leurs analyses du travail, enfin, la catégorie de 'régulation' peut être considérée comme un concept important en psychologie ergonomique⁶⁰. Les auteurs de la sociologie de l'action publique pourraient regretter l'emploi du terme de 'régulation' pour son côté plutôt anglo-saxon de même qu'ils pourraient regretter de ne pas se voir attribuer les notions de 'cognition' ou 'organisation' alors même que ces dimensions peuvent être particulièrement traitées dans ce domaine. Les gestionnaires pourraient aussi tout à fait contester l'emploi de la 'cognition' pour l'ergonomie, alors que de nombreux travaux dans le domaine de la gestion s'en réclament⁶¹. Etc. Bref, cette classification peut apparaître plus ou moins satisfaisante, en fonction de l'angle disciplinaire privilégié.

Après quelques tentatives infructueuses, j'ai abandonné l'idée de trouver des expressions qui

⁵⁸ Reynaud, JD. 1995. Le conflit, la négociation et la règle. Octarès.

⁵⁹ De Terssac, G. 1992. Autonomie dans le travail. Presses universitaires de France. Dans cet ouvrage, l'auteur propose par ailleurs des analyses qui mobilisent à la fois l'ergonomie et la sociologie.

⁶⁰ Voir la synthèse de Leplat sur ce sujet. Leplat, J. 2006. La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. Piste. Volume 8. n°1.

⁶¹ Michaud, C., Thoenig, C. 2001 ; Stratégie et sociologie de l'entreprise. Paris. Village mondial. Disponible sous une version d'auteur et intitulé 'le management cognitif', aux archives ouvertes suivantes <http://halshs.archives-ouvertes.fr/>

seraient sans aucune ambiguïté. Il est bien évidemment impossible de rendre compte de la diversité des usages de vocabulaires dans toutes les disciplines qui vont être introduites, les mêmes mots indiquant des découpages et des sens différents. La notion de ‘régulation’, que l’on retrouve dans les sciences de l’ingénieur, en ergonomie (cognitive, physiologique), en sociologie (du travail, de l’organisation, de l’action publique) ou en droit, a bien un sens quelque peu différent dans ces disciplines. Ce choix de quatre termes est donc un peu arbitraire, mais reflète tout de même une certaine catégorisation personnelle qui fait sens, et a pour objectif de regrouper plusieurs types de travaux et disciplines afin de faciliter la tâche et la finalité de cette présentation. Il convient en effet de rappeler que la rétrospective proposée, et les choix qui y sont sous jacents (dont les termes qui viennent d’être en partie discutés), n’échappent pas à la situation ‘épistémique’ du sujet face à l’histoire⁶² (ici l’histoire de contributions disciplinaires à la sécurité industrielle). Dans toute lecture historique, les finalités, connaissances et expériences de l’auteur sont déterminantes. Elles traduisent ici donc une certaine orientation, tournée vers l’évaluation et vers un besoin d’articulations pertinentes entre des domaines d’étude de la sécurité industrielle. Dans les parties qui suivent, un découpage selon les années soixante/soixante-dix, les quatre vingt-dix et les années deux mille est retenu pour les quatre thèmes. Il permet de produire les repères utiles à l’identification des concomitances temporelles et développements parallèles que je souhaite mettre en avant dans ce chapitre.

Régulation

Les années soixante dix et quatre vingt

C’est vers la fin des années soixante-dix et au cours des années quatre-vingt que la terminologie de ‘risques technologiques majeurs’ est élaborée et gagne la faveur d’un intérêt sur le plan des politiques publiques. En France, à la suite de catastrophes des années soixante et soixante-dix déjà citées (Feyzin, Flixborough, Three Miles Island, etc), c’est sous la plume de Lagadec⁶³ que cette nouvelle terminologie est proposée. Cet auteur l’utilise pour décrire des phénomènes (catastrophes nucléaire ou chimique, menaçant des milliers de personnes, sur des générations) dont les potentiels dépassent largement tout ce qui a été rencontré par le passé (incendie, accident ferroviaire, etc), et interroge la place des

⁶² Aron, R. Introduction à la philosophie de l’histoire. Op cité.

développements technologiques, héritiers d'une vision progressiste, au sein des démocraties, à l'aune de ces catastrophes et de celles, non encore actualisées, mais potentielles et à venir. Il associe cette terminologie à une réflexion sur les moyens en termes d'action publique, c'est-à-dire de réglementation et de contrôle de ces installations par l'état, à des fins de prévention. Cet auteur voit dans les outils de management des risques, notamment les analyses de risques techniques et les calculs de probabilités, les ressorts d'une meilleure approche, pour les industriels et les autorités, de ces nouveaux risques technologiques⁶⁴.

La directive Européenne dite 'Seveso', dont la première version est élaborée en 1982, vise justement à réguler ces activités industrielles à risques. Elle repose sur des stratégies de gestion des risques dans l'esprit de pratiques réglementées dans des domaines industriels à risques autres, comme le nucléaire ou l'aéronautique. Cette directive est transposée dans le droit français qui déjà les réglemente sur la base de la loi de juillet 1976. Orientée sur des principes proches de la directive, cette loi s'inscrit dans la continuité de près de deux siècles de réglementation dans ce domaine en France⁶⁵. Des catégories de produits associés à des quantités déterminent des rubriques, entraînant des classifications pour les sites industriels à risque en 'déclaration' ou 'autorisation'. Ces classifications soumettent l'industriel à des démarches spécifiques, graduellement plus contraignantes, qui culminent dans la production de dossiers d'études d'impacts et de danger, qui doivent contenir les scénarios majorants qui détermineront ce qui est attendu par l'entreprise en termes de mesure de prévention, dans le cadre de la maîtrise de l'urbanisation.

Cette approche lui vaudra d'être qualifiée de 'déterministe', par opposition aux réglementations orientées vers une prise en compte de la probabilité de ces scénarios, les qualifiant de 'probabilistes'. Au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, c'est cette orientation probabiliste qui est mise en œuvre. Selon Decrop et Gilbert⁶⁶, ce positionnement français découle de l'historique d'une '*politique de transition*' portant sur les risques majeurs, constituant '*la clef de voûte de l'édifice doctrinal de prévention des risques technologiques*', à partir de laquelle le ministère de l'environnement produit une vision du scénario le plus pénalisant pour la sécurité industrielle. Les mesures de sécurité et de maîtrise de

⁶³ Lagadec, P. 1981. Le risque technologique majeur. Politique, risque et processus de développement. Pergamon press.

⁶⁴ Lagadec, P. 1979. Faire face aux risques technologiques. La recherche. n°105. 1146-1153.

⁶⁵ Lacoumes, P. 1987. De l'atteinte à la prévention des risques industriels. Réglementation des installations classées et développement d'une 'magistrature technique' dans Dourlens, C., Galland, JP., Theys, J., Vidal-nauquet, PA. Conquête de la sécurité, gestion des risques. L'harmattan.

⁶⁶ Decrop, G., Gilbert, C. 1993. L'usage des politiques de transition : le cas des risques majeurs. Politique et management public. Vol 11. n°2.

l'urbanisation dans le droit français sont identifiées cependant sur la base d'une interaction, dialogue et négociations entre les élus locaux et les autorités de contrôle, en charge de produire des arrêtés préfectoraux qui figent sur le plan légal les dispositions auxquelles l'industriel est soumis en matière de sécurité industrielle. C'est notamment sur la base de ces arrêtés que les inspections sont réalisées, un écart pouvant être l'objet d'une 'mise en demeure', une injonction de s'y conformer dans certains délais fixés, sous peine de procès verbal et condamnations pénales.

Ces pouvoirs de l'inspection lui valent alors la dénomination de 'magistrats techniques'⁶⁷. La question du rôle de l'inspection par les autorités de contrôle est à la même époque mise en avant de manière claire dans les commissions d'enquêtes d'investigations d'accidents majeurs (mais dans les pays anglo-saxons principalement). L'incendie qui mène à la perte de la plateforme de Piper alpha en 1988, investiguée par Lord Cullen et son équipe, en est un exemple⁶⁸. Cette investigation conclut à un manque de contrôle par les autorités, et demande alors la mise en œuvre par l'exploitant d'une meilleure transparence pour le régulateur de sa gestion de la sécurité. Ces commissions d'enquêtes seront amenées, au fil des décennies et des accidents majeurs à répétition, à régulièrement remettre en question, a posteriori, la pertinence réglementaire ou encore le nombre, la qualité ou l'effet sur les pratiques industrielles des inspections par les autorités. C'est alors une vision de l'action publique par les échecs, plutôt que par l'étude du quotidien.

En Allemagne, c'est à la théorie de Beck⁶⁹ que revient le crédit d'introduire dans le débat social et politique la question des risques industriels, et plus généralement de l'introduction de cette notion de 'risque' dans toutes les sphères de la vie en société, comme le travail ou la famille. Une idée centrale de cet ouvrage est que les risques que l'homme engendre dépassent ceux de la nature, par des technologies comme le nucléaire ou la chimie, d'un niveau de menace sur son environnement sans précédent. Associé à d'autres thématiques comme l'individualisation, la décomposition de l'idée de l'état providence puis la montée du thème de la mondialisation (dont celle des risques), cette proposition théorique devient prophétique. Sa publication en allemand correspond en effet à l'année de l'accident Tchernobyl, alors même que son ouvrage a une portée et contient un programme de

⁶⁷ Lacoumes, P. De l'atteinte à la prévention des risques industriels. Réglementation des installations classées et développement d'une 'magistrature technique'. art. cité.

⁶⁸ The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster, Cullen, The Honourable Lord, HM Stationery Office, 1990.

⁶⁹ Beck, U. 2001. (1986) La société du risque. Aubier.

recherche plus vaste que les seuls risques industriels⁷⁰, ce qui le distingue de la contribution de Lagadec.

Ainsi, contrairement à Lagadec en France, il ne s'engage pas dans des propositions de régulation pour prévenir les accidents technologiques, mis à part quelques remarques ici ou là dans son ouvrage notamment sur les limites de l'expertise. Son discours est de plus, davantage théorique (ou d'orientation 'expressive' selon les catégories sociologiques de Boudon⁷¹) que véritablement empirique, ce qui lui vaudra certaines critiques quelques années plus tard, notamment par ceux dont les recherches cherchent à saisir les modalités concrètes de gestion des risques par les pouvoirs publics, par l'état et qui constatent une variété de régimes de régulations, plutôt qu'une catégorie de 'risque' qui pourrait être traitée globalement, sans discernement⁷². Il n'en demeure pas moins que cette théorie sociale aux implications politiques, marque un tournant, avec d'autres contributions, dans l'orientation des recherches dans le domaine de la régulation en plaçant au centre la question des risques, une thématique qui n'a été que croissante dans les questions d'action publique depuis. Mais c'est plutôt dans les années quatre vingt-dix que cette question des risques pour la théorie sociale et politique s'amplifie considérablement, notamment (mais pas seulement) sous l'action conjuguée de la traduction en anglais de cet ouvrage allemand et de la parution de la réflexion de Giddens au Royaume-Uni⁷³.

Les années quatre vingt-dix

La contribution de Giddens, à l'instar de Beck, place au cœur de la modernité la notion de risque. Envisageant le risque sous l'angle de la production humaine et de ses potentialités dévastatrices, il participe à rendre compte d'un processus selon lui réflexif propre au projet moderne, un processus de prise de distance avec ses implications. Jusqu'alors incarnée par des discours associant technologie, science et progrès (social et économique), cette combinaison est maintenant problématisée, à la suite du nucléaire, du réchauffement climatique et d'autres devenir technologiques incertains, dont les biotechnologies, le génie génétique (ou aujourd'hui avec les nanotechnologies). L'homme est la source de ses propres

⁷⁰ Ce sur quoi insiste bien Latour dans sa préface de la traduction française de l'ouvrage en 2001. *'Ce terme de risques à entraîné bien des malentendus (...) on en a fait un spécialiste du 'risque technologique majeur' alors qu'il prend le terme de manière beaucoup plus générale pour rendre compte du lien social lui-même (...) les maux, les menaces et les risques ne viennent plus de l'extérieur inquiéter la société : ils sont engendrés, manufacturés, par cette société elle-même.'*

⁷¹ Boudon, R. 2002. Y a-t-il encore une sociologie ? Odile Jacob.

⁷² Hood, C., Rothstein, H., Baldwin, R., Rees, J., Spackman, M. 1999. Where risk society meets the regulatory state: exploring variations in risk regulation regimes. *Risk management*, 1 (1). pp. 21-34.

risques (*'manufactured uncertainty'*). Cette intensité dans le débat théorique autour de la notion de risque par des sociologues contemporains influents au cours des années quatre vingt et quatre vingt dix, en parallèle d'autres contributions non européennes, par exemple américaines, dont les travaux de l'anthropologue Douglas et du politologue Wildavsky⁷⁴, qui participent progressivement à la création d'un courant de recherche en sciences sociales et politiques sur le thème des risques⁷⁵.

Les travaux de recherche empiriques tournés vers l'action publique et la 'régulation des risques' (*'risk regulation'*) s'établissent ainsi dans le monde anglo-saxon, selon Hutter⁷⁶, dans ce contexte de réflexion sur les risques en sciences sociales, vers la fin des années quatre vingt dix, et début des années deux mille. On trouve ainsi chez Beck à cette période des formules qui interrogent directement la capacité de la puissance publique face aux risques *'Par conséquent, quel est le rôle de la politique ? Le fait est qu'aucune décision n'est prise en politique sur la technologie (à l'exception du nucléaire). Mais d'un autre côté, si quelque chose se passe mal, les institutions politiques sont tenues responsables pour des décisions qu'elles n'ont pas prises et pour des conséquences et des menaces dont elles ne savent rien'*⁷⁷.

Ce domaine de la régulation est lui très interdisciplinaire, et le concept de 'régimes de régulation des risques' (*'risk regulation regimes'*) provient de ces analyses. Portées par des chercheurs qui s'intéressent à la mise en œuvre réelle de politiques publiques de gestion des risques, au-delà de ces visions macroscopiques englobantes, elles montrent que divers risques, concrètement, ne sont pas régulés de la même manière, que ce soit sur le plan de la mesure de ces risques (qualitatives, quantitatives, etc), de la fréquence des contrôles ou inspections portant sur ces risques, de la médiatisation de ces risques⁷⁸. Il est donc important de se pencher sur ces différences et de comprendre concrètement les dynamiques en œuvre derrière l'action publique. Ce constat est important en ce qui concerne les questions de

⁷³ Giddens, A. 1993 (1991). Les conséquences de la modernité. L'harmattan.

⁷⁴ Douglas, M., & Wildavsky, A. B. 1982. Risk and Culture: An essay on the selection of technical and environmental dangers. Berkeley: University of California Press.

⁷⁵ Taylor-Gooby, P., Zinn, J, O. 2006. Risk in social sciences. Oxford University Press; Zinn, J, O. 2008. (ed). Social theories of risk and uncertainty. An introduction. Blackwell Publishing.

⁷⁶ Hutter, B. 2006. Risk, regulation and management. In Risk in social science. Taylor Goody, P., Zinn, J, O. (eds) Oxford university press.

⁷⁷ Beck, U. 1998. Politics of risk society, dans Franklin, J. (ed.), 1998. The politics of risk society, cambridge, polity press.

⁷⁸ Hood, C., Rothstein, H., Baldwin, R., Rees, J., Spackman, M. 1999. Where risk society meets the regulatory state: exploring variations in risk regulation regimes. Risk management, 1 (1). pp. 21-34.

risques industriels qui ne sont pas non plus, tous abordés de la même manière. En France, Decrop et Gilbert montrent, en s'interrogeant au processus de '*mise sur l'agenda*', une question centrale dans les études sur l'action publique, comment le thème spécifique du 'risque majeur' a émergé puis pris une certaine forme par l'intermédiaire des jeux, intérêts et logiques du champ politico-administratif, au cours des années quatre-vingt⁷⁹.

Sur le plan de la réglementation des risques technologiques dans le domaine des installations classées pour la protection de l'environnement (qui intéresse spécifiquement mon travail), la directive dite Seveso II, amendant la première directive, sort en 1996. Tirant partie du retour d'expérience de l'application précédente (mais aussi sur la base d'une appropriation par les divers acteurs de la régulation des risques des conclusions de rapport de commissions d'investigation d'accidents, comme celle de Piper Alpha en 1988), quelques innovations sont introduites, dont la demande de démonstration de la mise en œuvre d'un système de gestion de la sécurité, pour les 'seuils hauts', c'est-à-dire les catégories dépassant une certaine quantité de produits dangereux. Cette dernière modification est introduite dans une annexe d'arrêté du droit français, en deux mille. Cette traduction est une innovation pour deux raisons dans le contexte français, la première réside dans son caractère non plus technique (dans le sens d'une orientation prescriptive, portant sur les moyens) mais organisationnel (c'est-à-dire par objectif, portant sur les résultats), la deuxième dans son caractère probabiliste. En effet, en reconnaissant l'influence de facteurs organisationnels sur le niveau de risque, c'est la notion de probabilité qui s'introduit. Autrefois soumis à des scénarios majorants, sans tenir compte, du moins en théorie⁸⁰, des mesures de prévention mises en œuvre par l'exploitant, reconnaître l'importance de l'organisation indique que d'un site à l'autre le niveau n'est pas forcément le même, pour des procédés et équipements identiques. Cette introduction dans les textes réglementaires n'a pas été sans difficulté pour l'inspection des installations classées, dont les connaissances de nature technique (les recrutements sont alors en majorité issus des écoles des mines) ne se prêtent pas

⁷⁹ Decrop, G., Gilbert, C. 1993. L'usage des politiques de transition : le cas des risques majeurs. Politique et management public. Vol 11. n°2 ; Gilbert, C. 1995, Objets 'flous' et action publique : à propos des 'risques majeurs', Grenoble : C.E.R.A.T. – I.E.P.

⁸⁰ Ce que les politologues ont bien vu : '*avec l'arme du scénario catastrophe, les ingénieurs des DRIRE vont ainsi se poser en promoteurs et en arbitres de la négociation sur la révision du plan d'occupation des sols et des schémas d'aménagement. Les élus locaux doivent donc être saisis des hypothèses extrêmes élaborées par l'administration et, derrière eux, si on suit les prescriptions de la loi, les populations riveraines des risques, puisque obligation est faite de les informer. Il va sans dire que les résistances sur le terrain sont vives, les négociations vives et fertiles en retournement et, in fine, les résultats en termes de tracés d'urbanisme passablement éloignés de la projection spatiale du risque telle qu'elle est imposé par l'administration*' Decrop, Gilbert, l'usage des politiques de transition : le cas des risques majeurs. art cité. p 160.

immédiatement à l'évaluation organisationnelle, du moins, au-delà de l'exercice formelle de vérification de la présence de procédures.

Les années deux mille

Au cours de ces années, des études portant sur la régulation des risques s'intéressent par exemple, au-delà de la '*mise sur agenda*', à l'activité réelle des inspecteurs sur le terrain au sein de leur entité, en prenant en compte leur formation, leur recrutement, leurs connaissances des risques mais aussi le contexte historique, organisationnel, social et économique dans lequel ils exercent leurs activités⁸¹. Alors que les questions du contrôle par les autorités publiques des installations à risques n'étaient disponibles qu'à l'issue d'investigations d'accidents par les commissions d'enquêtes ou les chercheurs (un exemple est fourni par Vaughan⁸²), ces études en 'mode normal' des autorités de contrôle fournissent des compléments importants d'information sur la réalité des conditions d'exercice de ces acteurs. Pour Rothstein par exemple⁸³, dans le prolongement de la mise en évidence de différents 'régimes de régulation des risques'⁸⁴, tous les risques ne sont pas évalués ni contrôlés identiquement. Les inspecteurs ne sont pas sensibilisés de la même manière, en fonction de leur formation et de leur compétence, aux risques, le contrôle sur le terrain s'en ressent.

Sur la mise en œuvre effective du principe de *self-regulation* (auto-régulation), Hutter⁸⁵, réfléchit a posteriori sur la base d'éléments empiriques collectés avant l'accident de Paddington en 1999 (Ladbroke grove), sur les conséquences de la dérégulation de la sécurité au Royaume-Uni dans le domaine du transport ferroviaire, et indique les limites de la dérégulation sur le plan des pratiques concrètes des inspecteurs. En France, c'est le travail de Bonnaud⁸⁶ qui se rapproche le plus des problématiques des risques technologiques majeurs,

⁸¹ Hood, C., Rothstein, H., Baldwin, R., Rees, J., Spackman, M. 1999. Where risk society meets the regulatory state: exploring variations in risk regulation regimes. *Risk management*, art. cit; Hutter, B. M. 2001. Is enforced self-regulation a form of risk taking?: The case of railway health and safety. *International journal of the sociology of law*, 29 (4); Rothstein, H. 2003. Neglected Risk Regulation: The institutional attenuation phenomenon. *Health, Risk and Society*, 5 (1): 85-103; Bonnaud, L. 2005. L'évolution de la figure de l'inspecteur des installations classées depuis les années 1970, *Politix*, vol. 24, n° 69, p. 131-161 ; Dupré, M., Etienne, J., Le Coze, J-C 2009. L'interaction régulateur regule: considerations a partir du cas d'une entreprise Seveso II seuil haut, *Annales des Mines: Gérer et comprendre*, 97: 16-27.

⁸² Vaughan, D. 1990. Autonomy, Interdependence, and Social Control: *NASA* and the Space Shuttle. *Challenger*, 35 *Administrative Science Quarterly*: 225-257

⁸³ Rothstein, H. Neglected Risk Regulation: The institutional attenuation phenomenon. Art. Cit.

⁸⁴ ⁸⁴ Hood, C., Rothstein, H., Baldwin, R., Rees, J., Spackman, M. Where risk society meets the regulatory state: exploring variations in risk regulation regimes. *Risk management*. Art. Cit.

⁸⁵ Hutter, B. M. 2001. Is enforced self-regulation a form of risk taking?: The case of railway health and safety. *International journal of the sociology of law*, 29 (4).

⁸⁶ Bonnaud, L. L'évolution de la figure de l'inspecteur des installations classées depuis les années 1970. art. cit.

par l'intermédiaire d'un regard historique et sociologique (des professions) sur l'activité d'inspection des installations classées. Elle montre que les inspecteurs n'ont pas toujours exercé leur métier de la même manière. En identifiant trois phases, correspondant à trois figures de l'inspection, elle explicite comment les pratiques d'inspection sont dépendantes de leur contexte et se modifient d'une époque à l'autre, et qu'une étude de leur pratiques conduit à mieux rendre compte de l'action publique dans le domaine de la gestion des risques technologiques majeurs.

On comprend en effet que chaque 'figure' de l'inspecteur implique une adaptation des organisations inspectées en matière d'approche réglementaire et de gestion des risques, adaptation qui participe au niveau de sécurité industrielle d'une manière ou d'une autre. J'ai eu l'occasion de participer à décrire, dans le cadre de travaux empiriques collectifs⁸⁷, comment l'interaction régulateur/régulé était produite par un échange spécifique, en fonction des deux parties prenantes. Ce travail montre qu'au premier abord la confiance qui s'établit entre l'entreprise et l'inspection pourrait être considérée comme 'positive', celle-ci n'aboutit pas forcément aux objectifs de regard extérieur critique souhaité. Dans le cas étudié, l'entreprise, à la suite de deux incidents qui remettent en cause la conception de ses installations sur le plan de la sécurité, décide de n'en rien communiquer à l'inspection. Notre conclusion est que, plutôt que de prendre le risque d'une remise en cause de son image, l'entreprise préfère ne rien divulguer. De son côté, l'inspection, confiante dans l'entreprise ne cherche pas à en savoir plus que ce qu'elle lui communique. Le résultat est un effet pervers, qui diminue la capacité de regard extérieur sur l'entreprise, alors même que celle-ci subie des évolutions non négligeables sur le plan de la sécurité. Cette situation est alors aussi dépendante d'un contexte de transformation réglementaire, à la suite de la catastrophe de Toulouse en 2001, qui impose la mise en œuvre de plan de prévention des risques technologiques (PPRT), qui mobilisent fortement les services d'inspection⁸⁸.

⁸⁷ Dupré, M., Etienne, J., Le Coze, J-C 2009. L'interaction regulateur regule: considerations a partir du cas d'une entreprise Seveso II seuil haut, *Annales des Mines: Gérer et comprendre*, 97: 16-27

⁸⁸ Martinais, E., Chantelauve, G. 2009. Identification et analyse des risques en entreprise : de l'approche déterministe à l'approche probabiliste, dans Brillhac J.-F., Favro K. (dir.), *Planifier le risque industriel*, Paris, Victoires éditions, p. 30-42.

Organisation

Les années soixante dix et quatre vingt

A la même période que l'élaboration de la notion de 'risque technologiques majeurs' dans le domaine sociologique et des sciences politiques, c'est par l'intermédiaire des ouvrages de Turner⁸⁹ et de Perrow⁹⁰, qu'un regard de type organisationnel sur les risques majeurs se constitue. Ces deux sociologues, tous les deux portés cette fois sur les organisations à risques, le premier auteur propose de plonger dans le traitement de l'information au sein des organisations. Exploitant de nombreux rapport d'investigations d'accidents dans divers univers à risques (transport ferroviaire, mines, etc), il met en évidence des 'précurseurs', des informations concernant un accident potentiel. Il apparaît a posteriori, que des informations semblent disponibles mais que les individus au sein de l'organisation ne les prennent pas en compte avant l'accident. Une 'période d'incubation' (une analogie médicale, comme on en trouve de très nombreuses dans le domaine) a lieu, jusqu'à ce que l'accident survienne. Turner combine alors énergie et information.

Les catastrophes sont selon son interprétation des manifestations incontrôlées de l'énergie utilisée dans les systèmes technologiques, manifestations qui sont rendues possibles par des problèmes de traitement de l'information. Son approche ne se concentre pas sous l'angle réducteur du schéma simpliste et classique de l'émetteur- récepteur, mais plutôt sous l'angle épistémologique de la construction de cadres de représentations, de cadres de pensée, de 'paradigmes', qui contraignent et limitent ce que l'on filtre et ce que l'on considère comme possible lors du traitement de l'information. L'accident majeur est alors une rupture dans les cadres culturels 'institutionnalisés' de ce qui est pensé comme possible. Ce thème deviendra majeur dans la gestion des risques technologiques à partir de la fin des années quatre vingt dix, presque vingt ans après, sous l'appellation de 'signaux faibles'. Durant toutes ces années, le travail de Turner ne connaîtra pas véritablement de renommée ou d'écho dans la littérature.

C'est plutôt le deuxième auteur, Perrow, qui aura les faveurs du succès dans les années qui suivent la sortie de son ouvrage en 1984. Il s'intéresse aussi au problème des accidents majeurs dans les industries à risques (chimie, nucléaire, etc), mais par l'intermédiaire des

⁸⁹ Turner, B. A. 1978. Man-made disaster. The Failure of Foresight. Butterworth-Heinmann.

⁹⁰ Perrow, C., 1984. Normal Accidents, first ed. Princeton University Press, Princeton.

questions de redondance dans les installations, de centralisation et décentralisation au sein des organisations à risque ainsi que des caractéristiques de ‘couplage’ et ‘d’intrication complexe’ des systèmes techniques et organisationnels. Ce qui l’intéresse c’est de montrer qu’au delà des opérateurs, l’organisation, mais aussi et surtout la nature du système technique, sont les sources profondes des causes accidentelles. Il avait initié sa réflexion dans un ouvrage collectif en 1980⁹¹, suite à l’accident de Three Miles Island en 1979, ouvrage dans lequel on trouve un des tenants de l’approche dite de la fiabilité organisationnelle, La Porte⁹². Comme bien souvent, des accidents marquants sont à l’origine de nouveaux développements, réglementaires mais aussi scientifiques⁹³.

Les études portant sur la fiabilité organisationnelle, qui sont interdisciplinaires (regroupant des ingénieurs, psychologues et politologue), proposent de s’intéresser aux organisations, non pas seulement à la suite d’accidents majeurs, mais à leur fonctionnement en situation normale. Un argument de poids est qu’il est relativement facile de voir après ce qu’il est beaucoup plus difficile d’anticiper avant, et par conséquent les études sur les accidents sous l’angle organisationnel se focalisent sur les côtés négatifs du fonctionnement des organisations. En contre point de la vision de Perrow (mais aussi l’ouvrage de Shrivastava⁹⁴, dans le prolongement de la thèse de Perrow, trois ans après la catastrophe de Bhopal, traitant de manière assez approfondie de l’accident) et de son modèle de l’accident normal, qui remettait en cause la sécurité de certains systèmes très couplés et complexes, cette approche de la fiabilité organisationnelle propose de mettre en évidence les caractéristiques des organisations qui, malgré des environnements technologiques complexes et des environnements compétitifs, obtiennent de bons résultats de sécurité.

Rochlin, La Porte et Roberts⁹⁵ en 1987 initient cette orientation à partir d’un travail empirique sur un porte avion et montrent que ces organisations sont capables de très bonnes performances de sécurité grâce à plusieurs caractéristiques comme la redondance organisationnelle (il y a plusieurs personnes pour une même tâche, donc plus de surveillance, une analogie faite à partir des pratiques d’ingénierie et de la sûreté de

⁹¹ Sills, D. 1980. Social science aspects of the accident at the three mile island. Colorado: Westview press.

⁹² La Porte, T. 1980. Design and management of nearly error free safety, in Sills, D. (ed) Social science aspects of the accident at the three mile island. Colorado: Westview press.

⁹³ Même s’il faut néanmoins, selon Gilbert, prendre ses distances par rapport à l’idée selon laquelle les accidents majeurs seraient des sources directes, sans médiations, des évolutions réglementaires. Je suis tenté de faire la même remarque sur le plan des avancées scientifiques. Gilbert, C. Objets ‘flous’ et action publique : à propos des ‘risques majeurs’, doc cité.

⁹⁴ Shrivastava, P. 1986. Bhopal: anatomy of a crisis. Sage publications.

fonctionnement), ou encore comme la capacité de s'auto-organiser dans des situations d'urgence en privilégiant les meilleures capacités de réponse aux situations rencontrées, sans pour autant suivre les canaux hiérarchiques. Weick⁹⁶ en 1987 propose dans une perspective proche de celle ci, la 'culture' comme source de fiabilité des organisations, notamment au travers de la place des histoires qui circulent sur les incidents, et qui maintiennent une alerte et un fond commun entre les opérateurs sur les possibilités de catastrophes. Cependant, l'approche de Weick, que l'on retrouve depuis régulièrement, possède un caractère plutôt collectif, s'intéressant, par son orientation interactionniste et constructiviste qu'il a lui-même élaboré (ouvrant par ailleurs, une piste alternative aux travaux de l'époque en gestion⁹⁷), aux processus par lesquels les individus créent eux même les mondes qui les contraignent. On retrouvera cet auteur plus loin car il sera un artisan constant depuis vingt ans du positionnement 'HRO'.

Enfin, il est incontournable de mentionner ici le travail de modélisation du management de la sécurité, de Johnson⁹⁸ (Management Oversight and Risk Tree) au cours des années soixante dix et quatre vingt, dans une perspective opérationnelle, qui figure donc également comme un fondateur dans le domaine de l'organisation et de la sécurité industrielle. Initialement, le modèle est conçu pour le retour d'expérience, mais cela serait une erreur de confiner sa portée à cet usage. Le modèle proposé par Johnson articule en effet alors ce qui est globalement l'approche des systèmes de management de la sécurité telle qu'on la connaît aujourd'hui, articulant barrières de sécurité, analyse de risque, retour d'expérience, facteurs humains en conception, cycle de vie des installations, audit du fonctionnement du système...à partir de l'identification des bonnes pratiques de l'époque en matière de management de la sécurité. Ce travail précurseur est d'une très grande richesse et figure aisément parmi les développements les plus importants dans le domaine de la sécurité industrielle sous l'angle de l'organisation dans les années soixante dix et quatre vingt, au même titre que les contributions de Turner, Perrow ou les auteurs regroupés sous l'étiquette de 'HRO'. Son positionnement institutionnel est toutefois bien différent des précédents. Il se situe à mi-chemin entre l'ingénierie et l'industrie (comme bon nombre de recherches en

⁹⁵ Rochlin, G. I., La Porte, T. R., Roberts, K. H. 1987 "The Self-Designing High-Reliability Organization: Aircraft Carrier Flight Operations at Sea." *Naval War College Review* 40, no. 4. 76-90.

⁹⁶ Weick, K. 1987. Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review* 29, no. 2. 112-127.

⁹⁷ Weick, K. 1969. *The Social Psychology of Organizing*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.

⁹⁸ Johnson, W.G., 1973. The Management Oversight and Risk Tree – MORT including Systems Developed by the Idaho Operations Office and Aerojet Nuclear Company. Available from: www.nri.eu.com, the website of the Noordwisk Risk Initiative.

sécurité industrielle par ailleurs) et son impact académique est largement plus limité, ce qui lui vaut une notoriété beaucoup plus restreinte dans la littérature. D'orientation prescriptive et tournée vers l'action à l'intention des gestionnaires de la sécurité mais aussi des autorités de contrôle, ce travail est un très bon exemple d'approches alternatives et complémentaires à des approches orientées vers la description.

Ces contributions sont alors produites sur la base d'orientations variées, managériales, sociologiques, cognitives ou systémiques qui révisent les conceptualisations de la 'bureaucratie' et de 'l'organisation scientifique du travail' héritées respectivement des figures de Weber ou Taylor, ou encore Fayol⁹⁹. C'est armés de ces nouveaux fondements et possibilité d'interprétation des phénomènes organisationnels qu'ils cherchent à mieux comprendre, ou gérer, ces dimensions dans le cadre d'activités à risques. Ces travaux sur la sécurité industrielle sous l'angle de l'organisation deviennent alors les supports de compléments qualitatifs, indispensables à une approche technologique trop limitative car centrée sur les installations, mais ils sont également les compléments d'approches alors centrées sur l'homme au poste de travail (qui seront discutés dans la partie 'cognition').

Les années quatre vingt dix

Sur le plan de l'organisation dans les années quatre vingt dix, Sagan essaiera justement de 'départager' entre les deux approches, accident normal et fiabilité des organisations (c'est aussi à cette occasion que les deux courants sont alors mis en opposition de manière aussi explicites, contre l'avis même des chercheurs à l'initiative du courant HRO¹⁰⁰), en penchant pour la vision de l'accident comme normal, comme inhérent au fonctionnement des systèmes socio-techniques¹⁰¹, tandis que la même année Roberts¹⁰² coordonne un ouvrage réunissant plusieurs contributions du domaine des organisations à haute fiabilité¹⁰³. Selon Sagan, on ne peut s'appuyer sur l'idée selon laquelle les entreprises sont capables de produire un retour d'expérience sans biais et complètement transparent, et selon Roberts les organisations à haute fiabilité sont des domaines d'étude à part qui doivent faire l'objet

⁹⁹ Barnard, C. 1938. The function of the executive. Harvard university press. Gouldner, A. 1954. Patterns of industrial bureaucracy; Simon, H., March, J, G. 1958. Organizations. John Wiley and sons, New York ; Crozier, M. 1963. Le phénomène bureaucratique. seuil.

¹⁰⁰ Point de vue rapporté lors d'une discussion avec Todd La Porte.

¹⁰¹ Sagan, S. 1993. The limits of safety. Princeton University Press.

¹⁰² Roberts, K. 1993. (Ed) New challenges in understanding organisations. Mc Millan.

¹⁰³ Chapitre 2, Rochlin, G. Defining 'high reliability organizations in practice: a taxonomic prologue; chapitre 3, Schulman, 1993. The analysis of high reliability organizations: a comparative framework; Weick, K. The Vulnerable System: An Analysis of the Tenerife Air Disaster.

d'études spécifiques. Pour cette auteure, il ne faut pas entrer dans ces univers avec des cadres théoriques trop figés, afin de rendre compte de la spécificité de ces systèmes, soumis à des contraintes exceptionnelles non rencontrées par ailleurs dans d'autres types d'organisations, reprenant là un point formulé précédemment par La Porte et Consolini¹⁰⁴.

En 1996, un travail empirique très approfondi viendra étayer la dimension de la difficulté d'apprentissage organisationnel du retour d'expérience visée par Sagan, et des limites de la prise en compte des précurseurs et signaux faibles. Vaughan¹⁰⁵ fournit en effet en 1996 une étude très détaillée de la prise de décision de lancement de la navette Challenger, qui a explosé en 1986. Pendant dix ans, elle va chercher à comprendre les circonstances de la prise de décision alors que les informations concernant le comportement des joints dans des conditions de froid étaient disponibles et défavorables à la décision du lancement. Les joints, sous l'influence des basses températures le jour du lancement, ne joueront pas leur rôle d'étanchéité prévue en conception. L'explosion sera le résultat de leur comportement aux conditions de froid. Les ingénieurs travaillaient pourtant depuis de nombreuses années à partir du retour d'expérience sur l'explication de ces phénomènes et avaient accumulés une certaine expertise.

Lors des débats autour du lancement de la navette, ils marqueront leur réticence due aux conditions climatiques extrêmes. Ils s'y opposeront pendant un certain temps avant de renoncer, et de lever leur veto, sous l'influence des discussions avec les managers et sous l'influence des idées qu'ils se faisaient de la fiabilité du système de redondance des joints. En effet, ils avaient des intuitions, mais celles-ci n'étaient pas assez quantitatives pour les appuyer lors des débats. Ce que Vaughan met en évidence, c'est la normalisation de la déviance. Les ingénieurs et les managers ont progressivement accepté au cours des dix années d'exploitation de la navette un niveau de risque plus élevé, de manière non consciente, mais construite socialement et inscrite dans la culture de la NASA. Cette normalisation sera maintenue par les contraintes structurelle, organisationnelle, économique et politique pesant sur le fonctionnement de l'agence spatiale.

En France, les travaux de Bourrier¹⁰⁶ fournissent des échos et approfondissements sociologiques aux débats anglo-saxons entre l'approche en fonctionnement normal et

¹⁰⁴ LaPorte, T., Consolini, P.M. (1991). "Working in Practice but Not in Theory: Theoretical Challenge of High Reliability", *Journal of Public Administration Research and Theory*, 1:19-47.

¹⁰⁵ Vaughan, D. The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA. Op. cité.

l'analyse d'accident, en favorisant la première approche¹⁰⁷. L'auteure propose une lecture empirique et théorique des HRO à l'aune de la sociologie des organisations 'à la française', sur la base des apports de Crozier¹⁰⁸, puis Crozier et Friedberg¹⁰⁹. Bourrier explore la piste de la prescription et de la gestion des écarts entre procédures et pratiques réelles, entre conception et exécution, en exploitant la distinction entre le travail prescrit et le travail réel, héritage de l'ergonomie de langue française¹¹⁰, une distinction qui s'inscrit aussi au cœur de l'autonomie des acteurs pour les sociologues du travail¹¹¹, et de l'organisation¹¹² un des éléments, là aussi fondateur, aujourd'hui bien admis de la fiabilité des systèmes. Ses interprétations aboutissent à une relativisation des catégories par endroit 'normative' des HRO ainsi qu'une prise de distance avec l'idée d'un statut à part de ces organisations sur le plan conceptuel, en sciences sociales, point de vue alors porté par les chercheurs de Berkeley (Roberts, La Porte, etc). Son travail est aussi l'occasion de se positionner, d'une part, sur le débat de la culture, en rejetant des approches culturalistes simplistes qui feraient l'impasse sur l'exigence d'une approche empirique des stratégies des acteurs. D'autre part, elle se positionne sur le contournement des règles, en rejetant cette fois son caractère systématique et inéluctable, sans considérer ce qui le conditionne, à savoir une conception organisationnelle spécifique (notamment les relations entre exécution et conception).

Dans le domaine de la gestion de la sécurité industrielle, et dans une perspective relativement proche des premiers travaux de modélisation du management de la sécurité tel que ceux de Johnson dans l'optique de l'investigation des accidents, les travaux d'Hale¹¹³ en gestion de la sécurité, cherchent à définir (notamment dans une perspective d'audit et d'évaluation) les principes des systèmes de management, ouvrant ainsi sur une approche par les outils ou les instruments ainsi que sur le pilotage, et offrant ainsi la possibilité d'un regard complémentaire à celui centré autour de la règle au poste de travail dans l'étude en

¹⁰⁶ Bourrier, M. 1999. Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation. Presses universitaires de France ; Bourrier, M. (ed). 2001. Organiser la fiabilité. L'Harmattan.

¹⁰⁷ A l'opposé, Llory (un ingénieur initiateur des recherches en facteurs humains d'EDF R&D) se positionne (à partir des rapports de commissions d'enquête d'accident) d'une part dans une vue de l'accident accès privilégié à la connaissance des dimensions organisationnelles (comme la 'voie royale' en référence à Freud et aux rêves), et d'autre part, dans un regard d'inspiration critique (d'orientation psychodynamique), en discutant du thème des 'lanceurs d'alertes' et de leur situation dans les organisations à hauts risques. Llory, M. 1996. Le coût du silence. L'harmattan ; Llory, M. 1999. L'accident de Three miles Island. L'harmattan.

¹⁰⁸ Crozier, M. 1963. Le phénomène bureaucratique. Seuil.

¹⁰⁹ Crozier, M., Friedberg, E. 1977. L'acteur et le système. Seuil.

¹¹⁰ Leplat, J. 1986. L'analyse du travail. Revue de psychologie appliquée, 31(1), 9-27.

¹¹¹ De Terssac, G. 1992. Autonomie dans le travail. Presses universitaires de France.

¹¹² Friedberg, H. 1993. Le pouvoir et la règle. Seuil.

¹¹³ Hale A.R 1999. Assessment of safety management systems. Paper to 2nd International conference on ergonomics, Occupational Safety and Hygiene. Braga. 27-28 May 1999.

fonctionnement normal, alors très caractéristiques des orientations autour de l'erreur par les ergonomes mais aussi du regard plus organisationnel proposé alors par les sociologues. Ses 'macro' modélisations, à caractère fonctionnel, sur la base de représentations de processus ont pour ambition de fournir des grilles de lecture génériques, mais dans une optique prescriptive, pour aider à une meilleure appréhension du management de la sécurité.

On peut aussi rapprocher de ces travaux gestionnaires, l'appropriation d'orientation normative qui est proposée de la notion de 'culture sécurité' par des auteurs comme Reason¹¹⁴. Sans entrer dans ce débat trop en avant ici, il peut être précisé que la question de la 'culture sécurité' a pris forme dans les années quatre vingt dix à partir de sa mise en cause dans des rapports de commissions d'enquêtes, notamment celle de Tchernobyl, en 1986. Depuis, le concept de 'culture sécurité', partagé entre une vision descriptive et une vision plus normative, c'est-à-dire comme support au management, a fait l'objet de nombreux débats¹¹⁵. Les résultats de ces débats peuvent se conclure par le maintien des deux acceptions du terme. Soit la culture sécurité est vue comme une propriété que possède l'organisation et peut être instituée à renfort de discours et de messages congruents de la hiérarchie, soit la culture sécurité est envisagée comme une propriété autonome, qui ne peut pas être décrétée par le management et qui émane de pratiques locales de métiers ou autres, pour lesquelles la sécurité est une dimension de la culture parmi d'autres. Au cours des années deux mille, cette vision dichotomique se consolidera, avec néanmoins des apports empiriques déterminants dans le camp des partisans d'une vision plus descriptive de la 'culture sécurité'.

Les années deux mille

Au cours de ces années, les contributions sur la compréhension des accidents majeurs sous l'angle 'organisationnel' par des approches systémiques, sociologiques ou gestionnaires s'accumulent¹¹⁶ ainsi que sur le fonctionnement normal¹¹⁷. Les rapports approfondis

¹¹⁴ Reason, J. 1997. Managing the risk of organisational accidents. Ashgate; Reason, J. 1998. Achieving a safe culture: Theory and practice. *James Work & Stress* 12:33, 293-306.

¹¹⁵ Pour un résumé des travaux des années 90, voir Guldenmund, F.W., 2000. The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science* 34, 215-257; Glendon A.I., Stanton, N.A., 2000. Perspectives on safety culture. *Safety Science* 34, 193-214; Hale, A.R., 2001. Culture's confusions. *Safety Science* 34, 1-14 (Editorial for the special issue on safety culture and safety climate).

¹¹⁶ Rasmussen, J., Svedung, I., 2000. Proactive risk management in a dynamic society. Swedish rescue service agency. Karlstad; Snook, S.A., 2000. Friendly Fire, The Accidental Shootdown of US Black Hawks Over Northern Irak. Princeton University Press; Snook, S., Connor, J, C. 2005. The Price of Progress: Structurally Induced Inaction. in *Organization at the Limit: Lessons from the Columbia Disaster*, edited by M. Farjoun and W. Starbuck, 178-201. Blackwell; Leveson, N., 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, 237-270. Hopkins, A., 2000. Lessons Learnt

d'investigations suite aux accidents de Paddington en 2000 par la commission d'enquête de Lord Cullen en Grande Bretagne¹¹⁸ et sur l'explosion de la navette Columbia en 2003 aux Etats Unis¹¹⁹, suivi par un ouvrage collectif en 2005¹²⁰ incorporent les concepts alors existant depuis les vingt dernières années et montrent de manière empirique (mais aussi assez conceptuelle), les dessous du fonctionnement de ces systèmes complexes. Ces rapports constituent une 'seconde génération' de rapports d'accidents, éclipsant quelque peu les rapports de commissions d'enquêtes passées, comme celles de Piper Alpha, de Challenger¹²¹. Incorporant les développements des années quatre vingt et quatre vingt-dix, en particulier les travaux des 'HRO', le travail sur 'la normalisation de la déviance' ou encore de la 'culture sécurité' mais aussi de l'ergonomie des 'erreurs', ces documents deviennent de véritables opportunités de mise à l'œuvre des propositions théoriques de nombreuses contributions disciplinaires.

Tous ces travaux apportent des éclairages particuliers en fonction des industries et des angles théoriques et méthodologiques privilégiés. Plutôt assez complémentaires, aucun de ces travaux ne vient remettre en cause les grandes orientations et acquis des décennies précédentes dans le domaine de l'organisation. Pour Perin¹²² par exemple, qui a étudié des analyses d'incidents réalisées par des organisations du nucléaire, les points de vue dépendent fortement des catégories de métiers. Ainsi, l'ingénieur a une vision quantitative des problèmes de sécurité, sa formation et son expérience, le tournent vers une appréciation mathématisée des événements. Ce qui oriente sa réflexion est alors la 'sécurité calculée'. Le point de vue du gestionnaire est différent, c'est le point de vue de celui qui cherche les compromis, qui cherche à arbitrer entre plusieurs finalités auxquelles les organisations sont soumises, c'est la 'sécurité arbitrée'. Enfin, l'opérateur lui a une vision pragmatique, qui concerne sa sécurité personnelle, c'est la 'sécurité en temps réel'. Etant en première ligne, il

from Longford. The Esso Gas Plant Explosion. CCH ; Hopkins, A., 2005. Safety, Culture and Risk. CCH; Hopkins, A. 2008. Failure to learn: the BP Texas City refinery disaster. CCH; Evan, M, W., Manion, M. 2002. Minding the machines. Preventing technological disasters. Prentice hall ; Mayer, P., 2003. Challenger. Les ratages de la décision. Presses Universitaires de France ; Mayer, P., 2007. Organisation détraquée. Revue française de gestion (33) 69-84.

¹¹⁷ Weick, K. and Sutcliffe, K. 2007. Managing the Unexpected. San Francisco: Jossey-Bass ; Perin, C. 2004. Shouldering risks. The culture of control in the nuclear power industry. Princeton University Press; Roe, E. and Schulman, P. (2008). High Reliability Management: Organizations On The Edge. Palo Alto; Stanford University Press.

¹¹⁸ The Ladbroke grove rail inquiry.2001. Parts 1 &2. The Rt Hon Lord Cullen PC. HSE Books, disponibles à <http://www.rail-reg.gov.uk/upload/pdf/incident-ladbrokegrove-lgri1-optim.pdf>

¹¹⁹ Columbia Accident Investigation Board, 2003. Report Volume 1, Government Printing Office, Washington, DC, August 2003. Disponible à <http://caib.nasa.gov/>

¹²⁰ Starbuck H. W., Farjoun M. (eds) 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell publishing.

¹²¹ Report of the presidential commission on the Space Shuttle Challenger Accident June 6th, 1986 Washington, D.C.

¹²² Perin, C. 2004. Shouldering risks. Princeton University press.

pense la sécurité en fonction de son exposition aux risques. Il interprète, filtre et pense les événements selon ce point de vue.

Cette recherche entre en phase avec la direction qu'ont prises les études sur la 'culture sécurité' au cours des années deux mille. En effet, alors que l'approche dominante dans les années quatre vingt dix est plutôt d'orientation gestionnaire, une série de travaux abordent la culture sécurité sous un angle descriptif¹²³. Il est montré dans ces différentes études combien la vision monolithique de la culture sécurité des années passées doit laisser une place à des regards plus descriptifs qui montrent comment la culture est créée dans la réalité, non pas par l'intermédiaire seul des discours des gestionnaires et des valeurs affichées de l'entreprise, mais comme résultat de l'interaction concrète des différents acteurs de l'organisation. Ces acteurs construisent collectivement, en interactions avec les problèmes techniques et humains (d'intégration, de coopération, etc) auxquels ils sont confrontés, des réponses qui façonnent certains traits culturels, aussi en partie importés par leurs socialisations précédentes, qui leurs sont propres. Ainsi, différents traits culturels de groupes ou métiers assez délimités au sein d'une entreprise ou d'une organisation peuvent entrer en conflit sur des aspects de la sécurité. Ainsi en est-il de l'interprétation des accidents par différentes catégories d'employés.

Enfin, quelques contributions, théoriques¹²⁴ et empiriques¹²⁵, de la fin de la première décennie des années deux mille indiquent une orientation clé pour l'étude en fonctionnement normal, la prise en compte de la dimension temporelle, c'est-à-dire diachronique. Jusqu'alors exploitée principalement lors d'analyse d'accident, grâce au regard rétrospectif, les deux exemples phares étant ceux de Vaughan et Snook pour ce qui est de la recherche, l'introduction de la dimension diachronique, c'est-à-dire des changements et de la prise en compte de l'histoire, permet une autre approche du mode normal. Restituer les modifications, les changements ou encore les mouvements subis par une organisation permet de mieux saisir la dynamique qui sous tend la sécurité industrielle. Mais cette perspective ne doit pas se faire au détriment de la prise en compte de la dimension synchronique.

¹²³ Richter, A., Koch, C., 2004. Integration, differentiation and ambiguity in safety cultures. *Safety Science* 42, 703–722. ; Hopkins, A. 2006. Studying organisational cultures and their effects on safety. *Safety science* (44) 875-889; Haukelid, .2008. Theories of (safety) culture revisited—An anthropological approach. *Safety Science*, Volume 46, Issue 3, March 2008, Pages 413-426. Antonsen, S. 2009. The relationship between culture and safety on offshore supply vessels. *Safety science*.vol. 47, n°8, pp. 1118-1128.

¹²⁴ Shrivastava, S., Sonpar, K., Pazzaglia, F. 2009. Normal accident theory versus high reliability theory : a resolution and call for an open systems view of accidents. *Human relations*. Volume 62 (9): 1357-1390.

Cognition

Les années soixante dix et quatre vingt

Dans les années soixante dix, les connaissances sur ce qu'il est convenu d'appeler les 'facteurs humains' se développent et permettent des modélisations assez détaillées des processus mentaux sous-jacents aux erreurs. Ces modèles sont proposés à la suite de premiers apports ergonomiques dans le domaine de la sécurité. Les premières recherches en ergonomie sont par ailleurs très liées aux questions de sécurité et d'accidents, par exemple dans le domaine aéronautique en ce qui concerne l'amélioration de la conception des cockpits des avions lors de la seconde guerre mondiale, à partir de l'étude systématiques d'accidents¹²⁶. Mais ces développements ne sont pas encore orientés sous l'angle 'cognitif' au sens qu'il prendra avec les avancées des années soixante et soixante dix, et n'ont pas encore proposés de distinction entre accident au travail et accident technologique majeur, une distinction qui n'est introduite que plus tard, à la fin des années soixante dix et début des années quatre vingt, comme cela a été vu. Un bon exemple de ce positionnement d'alors est illustré par Faverge, un des fondateurs de l'ergonomie de langue française, qui envisage dans un article devenu célèbre et que l'on peut considérer à la charnière de cette période, l'homme comme 'facteur de fiabilité et d'infiabilité'¹²⁷. Avant l'apport des nouvelles 'sciences cognitives' et avant la focalisation sur les risques d'erreurs dans les systèmes technologiques à risques de plus en plus automatisés entraînant des catastrophes (aviation, nucléaire, chimie), cet article illustre bien le positionnement de l'ergonomie avant le basculement vers les nouvelles conceptualisations qui se font jour.

Les possibilités de modélisation accrues du 'travail mental' sont en effet les fruits du développement des sciences cognitives depuis les années cinquante avec les premiers travaux sur la cybernétique et la théorie de l'information, mais aussi surtout dans les années soixante et soixante dix avec l'analogie réalisée à partir des premiers ordinateurs qui débouchent sur les processus mentaux de résolution de problème, les tentatives d'élaboration de systèmes experts, fonctionnant à partir de l'hypothèse du traitement symbolique de

¹²⁵ Merle, I. 2010. La fiabilité à l'épreuve du feu. La prévention des risques d'accidents majeurs dans une usine Seveso II. Thèse de doctorat. Institut d'étude de sciences politiques de Paris ; Roe, E. and Schulman, P. (2008). High Reliability Management: Organizations On The Edge. Palo Alto; Stanford University Press.

¹²⁶ Dans Vicente, K. 2004. The human factor. Routledge.

¹²⁷ Faverge, JM. 1970. L'homme agent d'infiabilité et de fiabilité du processus industriel, Ergonomics, Vol. 13, n° 3, 301-327.

l'information¹²⁸. Le travail devenant de plus en plus automatisé (dans de très nombreux domaines industriels à risques) et reposant ainsi sur la présence d'interfaces (informatiques) à partir desquelles les opérateurs diagnostiquent, interagissent, décident et agissent, les besoins d'appréhensions fines de la cognition semblent de plus en plus pressants.

Ce sont en effet des 'erreurs' commises par les opérateurs, conducteurs ou pilotes qui sont les déclencheurs, en première ligne, des accidents. La réduction de ces 'erreurs' doit donc être un objectif. Une théorie de 'l'erreur' est nécessaire pour parvenir à cette fin. De la rencontre de certains courants de psychologie et de ces nouvelles propositions cognitives (alors en rupture avec le modèle dominant behaviouriste et le supplantant dans les années qui suivent comme nouveau 'paradigme'), émerge le terme et le champ de la psychologie cognitive¹²⁹, qui apportera des concepts et approches méthodologiques à partir des années soixante dix pour traiter en profondeur de la modélisation des 'mécanismes' des erreurs, et dans un projet d'action et d'amélioration des situations de travail (ou adaptation du travail à l'homme) caractérisant alors le projet de l'ergonomie (qui devient une ergonomie 'cognitive', lorsqu'elle mobilise ces connaissances sur la cognition).

Des auteurs comme Reason, Leplat, Rasmussen, Hale et Glendon¹³⁰ sont tous, mais différemment (il y a des chercheurs orientés 'psychologie', 'psychologie du travail ou de l'organisation' et d'autres plus orientés 'ingénierie de conception cognitive' des interfaces hommes machines), très représentatifs de cette période. Ainsi en 1987 et 1988, deux ouvrages collectifs en langue anglaise¹³¹ font le point sur les connaissances à disposition (on trouve alors un équivalent français à la même époque¹³²), avant la parution d'un ouvrage important en 1990 dans le domaine de la gestion des risques sous l'angle de l'humain, 'l'erreur humaine' de Reason¹³³. Tous ces ouvrages témoignent d'une intense activité de

¹²⁸ Pour un historique des sciences cognitives, voir Gardner, H. 1985. Histoire de la révolution cognitive. Payot.

¹²⁹ Neisser, U. 1967. Cognitive psychology Appleton-Century-Crofts New York

¹³⁰ Reason, J. et Mycielska, K.. 1982. Absent-minded? The psychology of mental lapses and everyday errors. Englewood Cliffs (NJ) : Prentice Hall; Leplat, J. 1985, Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail - Editions : A. Colin ; Rasmussen, J., 1986. Information Processing and Human-Machine Interaction. North-Holland, Amsterdam. Hale, A, R., Glendon, A.I. 1987. Individual Behavior in the Control of Danger, Elsevier, Amsterdam.

¹³¹ Rasmussen, J., Duncan, K., Leplat, J., 1987. New Technology and Human Error. Wiley; Goodstein, L.P., Andersen, H.B., & Olsen, S.E. (Eds.) Tasks, Errors, and Mental Models. London: Taylor and Francis.

¹³² Leplat, J. , De Terssac, G. (dir.) 1990. Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes. Toulouse, Octarès Éditions.

¹³³ Il est intéressant de mettre en parallèle ici avec ces développements orientés sur les acteurs de première lignes (opérateurs, pilotes, conducteurs), les travaux de Starbuck et Milliken, portant sur les dimensions cognitives des gestionnaires (l'un de ces articles propose une interprétation de l'accident de Challenger de 1986, anticipant les travaux à venir de critique et d'approfondissement de la commission d'enquête présidentielle par la sociologie). Ces deux auteurs essaient de caractériser pour des gestionnaires ('executives'), les types d'erreur qu'ils peuvent rencontrer dans leurs prises de décisions Starbuck H. W., Milliken, 1988a. Executives' perceptual filters: What they notice and how they make sense,

recherche et de l'existence d'une large communauté de scientifiques travaillant sur ce thème, au-delà certainement des moyens déployés autour du thème de la fiabilité ou de l'investigation organisationnelle à cette même période. C'est dans ce climat que nombreux de ces chercheurs de cette 'génération cognition' qui ont œuvré à une meilleure compréhension de la contribution humaine aux accidents et à la sécurité industrielle contribueront (ainsi que leurs élèves) de nouveau au cours des années quatre vingt dix et deux mille, au-delà de leur spécialité, aux problématiques organisationnelles¹³⁴. Ces efforts de modélisation orientés cognition apportent des éclairages complémentaires aux travaux de l'ergonomie d'alors, dont les apports par une perspective plus psychologique et physiologique du travail (éclairage, bruit, etc), permettent d'envisager de manière pragmatique la sécurité industrielle¹³⁵. C'est dans ce contexte que les années quatre vingt dix ont démarré dans le domaine de la cognition sur une contribution majeure, au titre ambivalent compte tenu du message de l'ouvrage, 'l'erreur humaine' devenu le classique de l'ergonomie de l'erreur et qui reste une de ses références.

Les années quatre vingt dix

Dans son ouvrage, Reason propose une synthèse des mécanismes de l'erreur : quels sont les types d'erreurs possibles, à quel processus mentaux sont associés ces types d'erreurs etc. Prenant appui sur un très grand nombre d'études et d'auteurs qui n'ont pas pu être mentionnés ici (dont de nombreux auteurs pour lesquels la sécurité industrielle n'est qu'en marge de leurs propres développements), ces connaissances permettent en théorie de mieux concevoir les interfaces homme-machine, mais aussi surtout de mieux comprendre comment les opérateurs sont susceptibles de faire des erreurs. Basé sur une exploitation plus poussée du modèle de Rasmussen¹³⁶ qui s'est imposé comme un standard dans la communauté ergonomique, Reason distingue différents types d'erreurs (fautes, ratés, lapsus) qui surviennent soit lors d'activités mentales 'symboliques' (résolution 'consciente' de problèmes et applications de règles qui requièrent l'exploitation de ressources cognitives) soit lors d'activités 'sub-symboliques' (activation de routines automatisées à faible dépense

pp. 35-65 in D. C. Hambrick (ed.), *The Executive Effect: Concepts and Methods for Studying Top Managers*; JAI Press. Starbuck H. W., Milliken, 1988b. Challenger: Changing the odds until something breaks, *Journal of Management Studies*, 25: 319-340, 1988.

¹³⁴ Reason, 1997, Managing the risk of organisational accident. Ashgate. Rasmussen, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. Art.cité; Hale, 1999, Hollnagel, E. Barriers and accident prevention. Op.cit; Vicente, K. The human factor. Op cit., Dekker, S. 2004, Ten question on human error. Ashgate;. Woods, 2005.

¹³⁵ Daniellou, F. (1986). L'opérateur, la vanne et l'écran. L'ergonomie des salles de contrôle. Coll. Outils et méthodes. ANACT, Lyon.

cognitive, plus ou moins sous ‘surveillance consciente’). Néanmoins, dans cet ouvrage, il étend son approche aux dimensions systémiques des accidents et rend populaire l’approche par barrière de défense en profondeur, qu’il transforme et qui sera plus tard baptisé ‘Swiss Cheese’ (le fromage suisse) ainsi que la métaphore médicale incluant les causes latentes et facteurs pathogènes. Ces modèles des accidents deviendront des classiques des démarches de prévention (Reason les développera dans son ouvrage de 1997 sur les accidents organisationnels). Selon ceux-ci, l’accident est le résultat de la défaillance du système dans son ensemble, et pas seulement de l’acteur en bout de chaîne (des défaillances latentes, les facteurs pathogènes préparent les conditions d’un désastre déclenché en bout de chaîne).

Trois ans après l’ouvrage de Reason paraît l’ouvrage d’Hollnagel¹³⁷ offrant une alternative à la vision alors courante de l’erreur humaine, offrant une vision plus ‘positive’ de celle-ci, et qui sera suivi en France d’un ouvrage dans une orientation de recherche proche avec Amalberti¹³⁸. L’idée de ces travaux est de ne pas rechercher une typologie des erreurs à l’instar de Reason (sur la base d’incidents ou d’accidents), mais plutôt de comprendre et montrer comment les individus sont proactifs (mobilisant une ‘méta cognition’) dans la gestion de leurs erreurs et que par conséquent une stratégie de prévention efficace n’est pas forcément la recherche et l’élimination de celles-ci mais le soutien des processus mentaux des opérateurs. En effet, les opérateurs font bien des erreurs, mais ceux-ci les utilisent d’une certaine manière dans leurs activités. Cette perspective de recherche a un impact sur les stratégies de conception des interfaces (cockpit, salle de contrôle) et systèmes d’aide aux opérateurs dans les systèmes à risques. En effet, un des problèmes de la recherche d’une conception se basant sur l’élimination des erreurs par les systèmes d’aides aux opérateurs est de négliger l’ajustement naturel de ces derniers, et d’ainsi diminuer l’efficacité de leur gestion et auto-estimation de leur capacité à gérer les situations à risques importantes. Ce domaine est celui de la ‘fiabilité de la cognition’ (*reliability of cognition*) pour Hollnagel et du ‘compromis cognitif’ pour Amalberti. La fiabilité implique une dimension positive mais insiste également sur la recherche avec comme objet d’étude le fonctionnement dit normal des systèmes plutôt que par l’intermédiaire des incidents, dans le respect d’une ‘validité écologique’, c’est-à-dire d’une appréhension de la cognition en situation¹³⁹. Cette question méthodologique forte rappelle celle des années quatre-vingt, dans l’opposition entre fiabilité

¹³⁶ Rasmussen, J. Information Processing and Human–Machine Interaction. Op. cité.

¹³⁷ Hollnagel, E. 1993. Human reliability analysis: Context and control. London: Academic Press.

¹³⁸ Amalberti, R. 1996. La conduite des systèmes à risques. Presses universitaires de France.

organisationnelle et accident normal.

Les années deux mille

Les travaux en psychologie ou ergonomie cognitive ont trouvé des terrains d'applications des conceptualisations développées dans les industries du nucléaire ou de l'aéronautique, ou encore la chimie, dans le domaine médical mais ont aussi produit des approches plus macro sur la base des propositions de Rasmussen¹⁴⁰. Pourtant, au milieu des années deux mille, une nouvelle orientation forte est proposée autour de la 'résilience'. Ce terme devient un mot clé pour penser positivement la contribution de l'homme à la sécurité industrielle, plutôt que de manière négative (par l'intermédiaire des erreurs). Portée par des auteurs des années quatre vingt et quatre vingt dix, formés dans le creuset de réflexions sur les erreurs humaines et sur les méthodes de fiabilité humaine adossées aux analyses de risques¹⁴¹, la résilience devient donc le mot pivot de l'affirmation de cette orientation¹⁴². Reason, qui avait jusqu'alors largement porté son attention sur l'identification et la classification des erreurs, prend également ce virage et consacre un nouvel ouvrage aux actes 'héroïques' de ces opérateurs qui sauvent les situations d'une issue désastreuse¹⁴³. Le dernier en date alors, ce pilote américain qui réussit brillamment à poser son avion sur la rivière Hudson à New York, vient renforcer la pertinence de ces propos. Par leur capacité d'improvisation et d'adaptation face aux aléas, les opérateurs des systèmes à risques sont les garants d'une capacité de prévention des accidents. C'est le quotidien de ces systèmes davantage que l'exception. Plutôt que de chercher à éliminer les erreurs, il faudrait donc au contraire identifier ces capacités de résilience, les maintenir, les soutenir et les développer.

Ce terme de 'résilience' n'est pas complètement nouveau. Il a été introduit auparavant dans le domaine¹⁴⁴. Il est certainement dans l'air du temps (on le retrouve en économie, écologie, psychologie), mais se base aussi sur les acquis des trente dernières années d'études de la cognition. Comme indiqué, on y retrouve en effet des propositions d'Hollnagel ou d'Amalberti déjà citées plus haut sur la fiabilité de la cognition et du compromis cognitif,

¹³⁹ Pour une synthèse de ces différentes approches de l'erreur, voir la synthèse de Leplat, J. 1998.

¹⁴⁰ Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science* 27 (2/3), 183-213 ; Vicente, 2004. *The human factor. : Revolutionizing the Way People Live with Technology*. Routledge.

¹⁴¹ Hollnagel, E. 1993. *Human reliability analysis: Context and control*. London: Academic Press; Hollnagel, E. 1998. *Cognitive reliability and error analysis method: CREAM*. Elsevier.

¹⁴² Hollnagel, E., Woods, D.D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering. Concepts and precepts*. Hampshire, England : Ashgate.

¹⁴³ Reason, J. 2008. *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries*. Ashgate.

mais avec cette fois une ambition de généralisation de la notion au-delà des frontières des études de la cognition. Cette approche est en phase, et même peut-être dans une certaine mesure à considérer comme une de ses branches axée sur la sécurité, d'un courant du développement des sciences cognitives, qualifié 'd'écologique', d'étude de la 'macro cognition' ou encore de '*naturalistic decision making*'. Ce courant aborde l'activité cognitive des individus en situation réelle plutôt qu'en laboratoire (bien sûr, ce positionnement a des prédécesseurs et s'inscrit dans une lecture historique qui ne manque pas d'inclure la tradition ergonomique francophone¹⁴⁵). En désaccord sur un certain nombre d'idées concernant la prise de décision maintenues par un courant dominant (notamment normatif), ces développements proposent une vision selon eux plus réalistes de la cognition, en particulier moins normative. Les travaux de Klein¹⁴⁶ sont représentatifs de cet univers, à laquelle il semble tout à fait pertinent de rattacher celui de la 'résilience'.

Installation

Les années soixante dix et quatre vingt

Les analyses de risques des installations techniques reposent sur des modèles et méthodes de type AMDEC (analyse des modes de défaillances, de leur effet et de leur criticité) produites dans les années soixante dans le milieu aéronautique, puis adaptée à la chimie dans les années soixante dix (avec la méthode HAZOP), ou les méthodes 'arborescentes' de type arbre de défaillances ou d'événements aussi produites dans les années soixante et étendues à différents domaines industriels (qui sont présentés dans l'ouvrage, en France, de Villemeur¹⁴⁷), dotent les ingénieurs (et gestionnaires) d'une capacité de maîtrise des risques par la seule conception technologique, allant jusqu'à introduire la contribution de l'opérateur sous forme de probabilité d'échecs¹⁴⁸, cela avant même que les erreurs ne deviennent un champ d'étude à part entière de l'ergonomie. Un demi-siècle plus tard, cette idée de maîtrise demeure encore très ancrée, et ce pour de bonnes raisons, du point de vue de l'ingénieur. Les

¹⁴⁴ Wildavsky, A. 1988. Searching for safety. Transaction Publishers et Weick, K., 1993. The collapse of sensemaking in organisation. *Administrative Science Quarterly* 38, 628–652.

¹⁴⁵ Crandall, B., Klein, G., Hoffman, R., B. Working. *Minds: A Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2006.

¹⁴⁶ Klein, G. 1997, *Sources of power*. The MIT Press. Klein, G. 2004. *Streetlights and Shadows*. Searching for the keys to adaptive decision making. The MIT Press.

¹⁴⁷ Villemeur, A. 1988. *Sûreté de fonctionnement de systems industriels*. Eyrolles, coll. Collection de la direction des études et recherches d'Électricité de France.

analyses de risques ont en effet contribué à soutenir les démarches de conception et d'exploitation de (macro) systèmes technologiques (centrales nucléaires, réseaux de transports ferroviaires, aéronautique, maritimes, usines de procédés dans la chimie ou la pétrochimie etc) dont le fonctionnement n'occasionne finalement que rarement de retentissants échecs (que l'on peut reporter sur une mauvaise exploitation plutôt qu'un manque de rationalité technique, les deux étant alors séparés, d'un côté la technique, de l'autre son exploitation et 'l'irrationalité' humaine). Cette vision de la performance technologique et de sa rationalité est bien exprimée chez un auteur (philosophe) comme Parrochia¹⁴⁹, qui conceptualise sur ce qui fait, selon lui, le succès de ces différents objets et projets (sans pour autant compter sur une maîtrise sans faille).

Ces méthodes et production de modèles de risques reposent sur des principes de décomposition systématique et analytique des installations et sur la connaissance des phénomènes physiques et technologiques qui peuvent y survenir. Les modèles sous jacents sont bien sûr très mathématisés, mais pas toujours. Les analyses de risques laissent la place également à des approches qualitatives ou semi quantitatives. Néanmoins, pouvoir exprimer et traduire sous la forme d'équations les phénomènes (des flux thermiques, des montées en pression ou encore des conditions d'emballement de réaction), même de manière limitée, mais aussi produire des principes de calcul de probabilités d'événements en sûreté de fonctionnement sur la base de raisonnements logiques (booléens) associés à des graphismes, fournissent une grande légitimité à ces démarches.

Les années quatre vingt dix

Au cours des années quatre vingt dix dans le domaine des sciences 'dures', il est intéressant de noter les nombreuses évolutions des connaissances sur les phénomènes et leur association à la capacité d'analyse de risques. Si les méthodes d'analyse de risques dans leur principe ne produisent pas de rupture avec l'acquis des années passées, la connaissance des phénomènes, qui est indispensable à la mise en œuvre de ces mêmes méthodes et à la détermination des effets des scénarios identifiés pendant les analyses, continuent de progresser. Nombre d'entre eux font l'objet d'approfondissements, d'une meilleure appréhension par l'intermédiaire d'approches expérimentales ou par le développement d'outils informatiques apportant des capacités de modélisations (en 3D par exemple) de plus

¹⁴⁸ Swain, D. 1963. A method for performing *human factor reliability* analysis, Sandia Corporation : SCR-685.

¹⁴⁹ Parrochia, D. 1998. La conception technologique. Lavoisier.

en plus poussées des comportements physiques ou chimiques de ces phénomènes. Ceux ci, comme le Bleve (boiling liquid expanding vapour explosion) ou l'Uvce (unconfined vapour cloud explosion) qui ont marqué de leur empreinte les accidents majeurs des années soixante dix et quatre vingt, sont ainsi mieux compris et théorisés¹⁵⁰. Cette meilleure connaissance des phénomènes est couplée avec une approche plus systématique des équipements par la sûreté de fonctionnement. Le principe de barrières appliqué de manière systématique sur la base de scénarios d'accident identifiés a priori par les analyses de risques est alors mieux conceptualisé dans l'industrie (l'exemple du 'nœud papillon' de l'entreprise Shell est très représentatif de ce moment¹⁵¹). C'est donc sur plusieurs fronts que les savoirs des sciences de l'ingénieur évoluent dans les années quatre vingt dix. Ces évolutions se traduiront par de nouvelles approches, dans le domaine de la chimie et de la pétrochimie, au début des années deux mille, autour de la notion de barrières de sécurité.

Les années deux mille

Au cours de ces années en effet, il apparait que dans un grand nombre d'industries à risque (nucléaire, aéronautique, chimie), le principe de 'barrières' est appliqué pour définir les mesures mises en œuvre dans la gestion des risques. Sous l'influence de nouvelles normes, pratiques ou de réglementations, les approches d'analyse de risques sont amenées à démontrer explicitement la manière avec laquelle les barrières de sécurité sont conçues pour la prévention (et protection) de scénarios à risque identifiés. Les terminologies ainsi que les concepts sont néanmoins hétérogènes et nécessitent éclaircissements. On parle en effet aussi bien de 'défense en profondeur' que de 'barrières de sécurité'. Dans la littérature, on peut donc trouver à cette période des auteurs qui font le point sur cette notion¹⁵². Afin de clarifier l'usage de ces barrières, des distinctions sont alors proposées pour repérer les fonctions des barrières, les systèmes qui constituent ces barrières ainsi que leurs éléments. Ainsi, plusieurs fonctions peuvent être réalisées par différents type de systèmes, eux-mêmes constitués de différents types d'éléments. Il faut donc préciser la part de la technique (le 'hardware' ou le 'software'),

¹⁵⁰ Sur tous ces phénomènes, voir la synthèse de Laurent, A. Sécurité des procédés chimiques. Connaissances de base et méthodes d'analyses de risques. Op. cit.

¹⁵¹ Visser, JP. 1998. Development of HSE management in oil and gas exploration and production. In Hale, A., Baram, M. (eds). Safety management. The challenge of change. Pergamon.

¹⁵² Par exemple, Sklet, S. 2006. Safety barriers: definition, classification, and performance, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19, pp. 494–506; Larms Ringdhal, L., 2009., Analysis of safety functions and barriers in accidents. Safety science (47) 353-363.

la part d'actions humaines directes (comme la prise en compte d'alarmes) ou indirectes et reposant sur l'organisation (comme la qualité des formations dispensées pour les opérateurs). Il peut également être précisé quelles sont les fonctions que les barrières cherchent à remplir : prévenir, supprimer, éloigner, protéger, etc. Mais il est aussi intéressant de distinguer des éléments de barrières plutôt passifs (qui ne nécessitent pas d'apport d'énergie ou d'information, comme le mur d'une rétention destinée à contenir des fuites de produits inflammables), ou actifs (nécessitant énergie et/ou information, comme un capteur qui déclenche une action de sécurité). Ces développements permettent une lisibilité beaucoup plus claire des liens entre conception des installations et niveau de risque, et constitue une évolution notable dans le domaine de l'appréhension technique des installations à risques.

Perspective sur la rétrospective

Un besoin de regard multi et interdisciplinaire

Ce recul historique avait pour ambition de montrer au moins deux choses. D'une part, qu'une vision mono disciplinaire ne permettait pas de saisir toutes les dimensions qui influencent la genèse d'un accident majeur (sur la base du chapitre 1), et dès lors non plus, la sécurité industrielle. On voit donc avec la rétrospective que chaque champ, même s'il entretient des relations avec ceux connexes, sans remettre en cause son autonomie et son indépendance (à la fois empirique, théorique, méthodologique mais également institutionnelle), ne peut fournir la vision d'ensemble nécessaire. Pour cela, il doit perdre quelque peu son identité pour répondre à un projet plus ouvert, plutôt qu'un objet qui serait 'découpé' au préalable dans la réalité. Le(s) chercheur(s) qui a (ont) pour objectif d'appréhender la sécurité industrielle sur un plan un peu plus global doit(ven)t donc 'traverser' les disciplines et aller chercher dans les diverses contributions celles qui lui(leur) permettent de se rapprocher de cette vision d'ensemble. La stratégie cognitive de recherche illustrée par la *'dépose par hélicoptère'* présentée dans le chapitre précédent prend donc ici tout son sens.

En procédant de la sorte, ce(s) chercheur(s) n'arrive(nt) pourtant que partiellement à reconstituer une vue d'ensemble. Le 'remembrement' multi disciplinaire opéré doit se contenter d'éléments ici et là qui se combinent plus ou moins bien. Cependant, on

comprend mieux par exemple les atouts, limites et difficultés de l'inspection lorsque l'on prend connaissance des travaux sur la régulation des risques par l'intermédiaire de travaux en sociologie de l'action publique ou sciences politiques. Ceux-ci permettent d'orienter le questionnement, et facilite les interprétations des données, mais donc également des possibilités ou non d'actions. On voit bien aussi comment certains comportements organisationnels sont de nature à compliquer la circulation des informations ou la mise en œuvre des règles de sécurité, quand on intègre les contributions sociologiques de l'organisation, du travail ou de l'entreprise. On appréhende davantage les limites de la cognition d'opérateurs dans leur situation de travail, avec les savoirs élaborés en ergonomie cognitive sur la dynamique des erreurs. Etc. Cet effort, même s'il ne produit donc pas une grille de lecture 'prête à l'emploi', sans un effort dans ce sens, reste néanmoins le pré-requis indispensable pour l'évaluation de la sécurité industrielle. Il sensibilise aux dimensions à considérer et pose les bases d'une approche plus interdisciplinaire qui sera proposée en chapitre 4.

Une lecture historique en trois étapes intuitive mais simpliste

D'autre part, ce retour historique souhaitait atténuer la lecture linéaire et quelque peu simplifiée d'un passage du technique, à l'humain puis à l'organisationnel en matière de sécurité industrielle. Que ce soit dans les commissions d'enquêtes, dans les pratiques industrielles ou dans la recherche académique ou plus industrielle, il y a un croisement et une intrication temporelle extrêmement forte de tous les domaines. L'organisation est au cœur de nombreux travaux en même temps que les développements autour de la cognition, au même titre que les développements sur les barrières de sécurité dans les méthodes d'analyse de risques sont concomitants de la formation d'un courant structuré autour de la régulation des risques. Bien qu'intuitivement attractif, l'enchaînement de périodes distinctes ne résiste pas, par conséquent, à une analyse plus fine. En mettant en parallèle tous les thèmes au sein du découpage par décennie retenu, il apparaît bien au contraire, une grande diversité de développements simultanés.

Par exemple, le regard ingénieur évolue à mesure que de nouvelles techniques ou outils sont développés pour les analyses de risques et les modélisations des phénomènes, assez indépendamment des autres domaines. Il n'est donc pas véritablement remplacé, et continue d'évoluer depuis des dizaines d'années, même lorsque des savoirs complémentaires sont produits. De plus, ce regard ingénieur a cherché très tôt, par

exemple, à conceptualiser ‘l’erreur humaine’ afin de l’introduire dans les analyses et les calculs de probabilités. Il n’est donc pas non plus complètement fermé aux autres contributions, même si l’usage qu’il fait de la notion d’erreur est loin de la sophistication des modèles des domaines spécialisés, comme l’ergonomie cognitive. S’il est bien ouvert, c’est donc une ouverture restreinte, filtrant la dimension ‘humaine’ par une rationalité particulière. L’homme apparaît alors sous les traits d’une ‘machine’, exécutant la tâche ou pas, à l’image d’un dispositif technique, cette ‘réduction’ ou ‘traduction’ permettant l’application plus aisée de raisonnements probabilistes. Ce constat est valable pour de nombreux concepts (barrière, redondance, erreur, risques majeurs, système de management de la sécurité, etc) qui ‘migrent’, sont ‘traduits’ d’un champ à l’autre (figure 4).

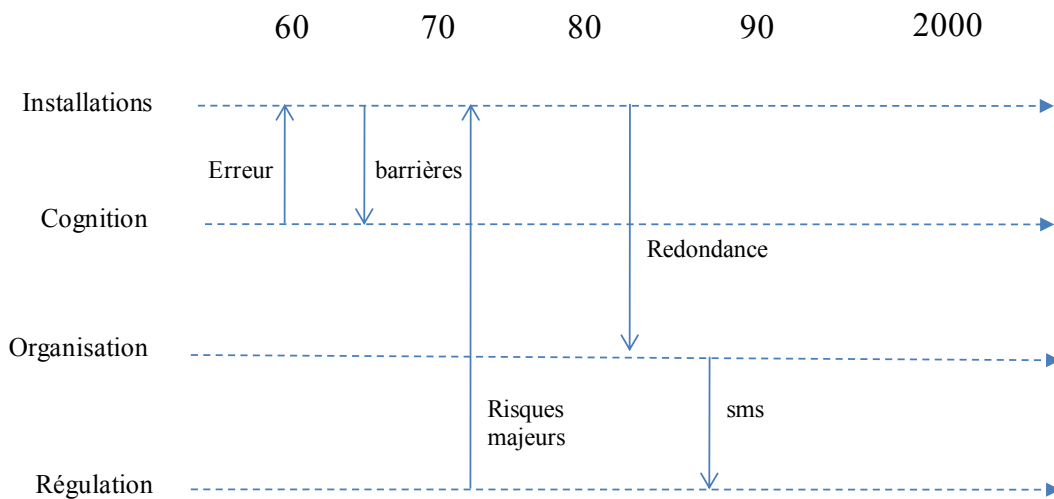


Figure 4. Migration et traduction de concepts de domaines à l'autre

Mais, on pourrait partir différemment avec un autre exemple, en s’orientant sur une critique de l’idée selon laquelle aujourd’hui l’approche dominante serait orientée sur l’organisation, à la suite de la ‘technique’ et de ‘l’humain’. On constate, en effet, dans les pratiques industrielles et dans la recherche, très peu de véritables études sous l’angle organisationnel, ce que Hale souligne. ‘Les aspects techniques et humain sont dominants, les aspects organisationnels augmentent dans les années quatre vingt dix, mais ces derniers sont toujours loin d’être des sujets de recherche de premier plan, malgré la rhétorique, dont la mienne parmi d’autres, que nous aurions évolué vers une

*troisième 'ère' de la sécurité, avec une orientation sur l'organisation*¹⁵³. Premièrement, les organisations à risque n'ouvrent pas leurs portes aussi facilement. Deuxièmement, les pratiques gestionnaires sont fortement orientées sur les individus et leurs comportements, plutôt que sur l'organisation (telle que conceptualisée par les sciences sociales). Enfin, on pourrait aussi questionner les points de vue à partir desquels ces différentes 'étapes' sont envisagées. Le point de vue académique ne se superpose pas par exemple au point de vue industriel¹⁵⁴, ce qui n'a rien de surprenant. De plus, il faudrait parler de plusieurs points de vue académiques (ergonomique, sociologique etc), ainsi que de plusieurs points de vue industriels (aéronautique, nucléaire, chimie, puis pme, grands groupes, etc).

Une proposition de synthèse graphique des différentes contributions

Maintenant que tous ces travaux ont été présentés, une synthèse est élaborée sur la base d'une représentation graphique, reposant sur un principe simple de classification, qui s'obtient par la combinaison de trois paramètres :

1. la finalité descriptive ou normative des travaux de recherche,
2. l'orientation en mode normal ou en investigation a posteriori,
3. le positionnement micro meso ou macro des travaux.

En appliquant ce principe, la figure suivante est obtenue. J'indique exclusivement les contributions du thème 'organisation' afin de ne pas saturer la représentation (figure 5).

Le même type de raisonnement s'applique pour les autres domaines.

¹⁵³A partir du discours de clôture comme directeur du groupe Safety Science à l'université technologique de Delft au Pays Bas, sur la base de publications de huit journaux scientifiques. Hale, A. 2006. Method in your madness: system in your safety. Afscheidsrede. TU Delft (traduction de l'anglais, p 14).

¹⁵⁴ Un décalage noté dans Hopkins, A., 2006a. What are we to make of safe behaviour programs? Safety Science. Volume 44. Issue 7, Pages 583-597.

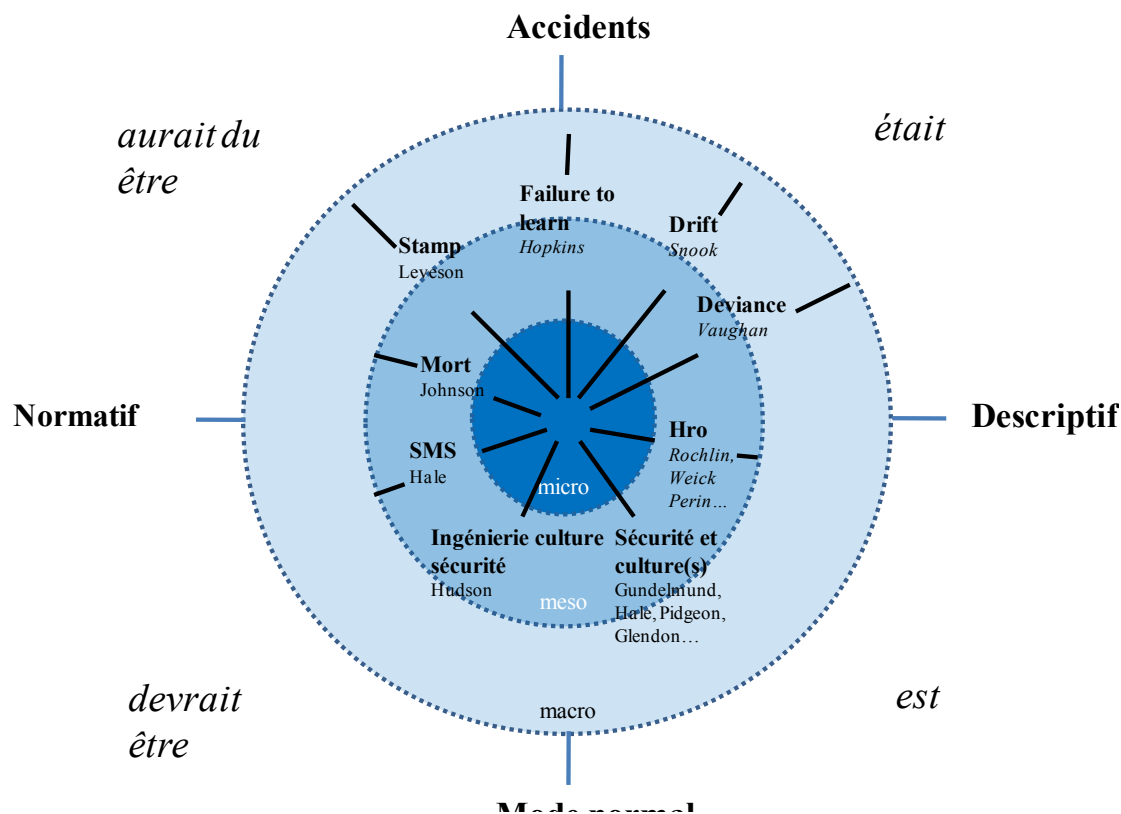


Figure 5. Synthèse graphique des travaux (portant sur l'organisation)

L'axe descriptif-normatif

En parcourant les différentes disciplines, dans chaque regroupement, 'installation', 'cognition', 'organisation' et 'régulation', il est possible de repérer les travaux dont les finalités sont plutôt descriptive ou plutôt prescriptive, générant cette 'tension' déjà mentionnée. Elle est révélatrice d'une tension spécifique au positionnement de l'évaluation de la sécurité industrielle¹⁵⁵. Je propose de le montrer pour le domaine de l'organisation, mais une démonstration similaire pourrait très bien être menée pour les autres regroupements. Dans le domaine de l'organisation donc, il existe une ligne de fracture assez nette entre ces deux univers contrastés (descriptif ou normatif). Ils semblent mêmes parfois en difficulté pour se comprendre. Dans un premier temps, au sein des études que l'on peut qualifier 'd'organisationnelle', comme il a été montré dans

¹⁵⁵ Que l'on retrouve dans la problématique de l'expertise. Robert, C. 2008. Expertise et action publique. dans Borraz, O., Guirandon, V. Politiques publiques. 1. La France dans la gouvernance européenne. Op. Cit. Une recherche-intervention dans ce domaine et consacrée à l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) en offre un bon éclairage. Rolina, G. 2009. Sûreté nucléaire et facteurs humains. La fabrique française de l'expertise. Presses des Mines.

la rétrospective, plusieurs traditions de recherche coexistent. Je les repère au nombre de quatre : la tradition de modélisation du management de la sécurité, la tradition autour de la ‘culture sécurité’, celle des ‘organisations à haute fiabilité’, et enfin, les recherches axées sur la production de ‘modèles d’accidents’. Ces traditions ont toujours été plus ou moins en communication les unes avec les autres (figure 6).

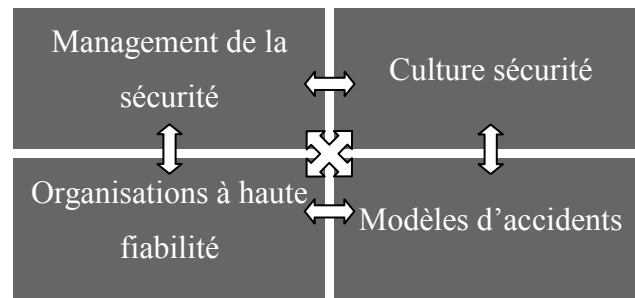


Figure 6. Quatre traditions dans le domaine de la sécurité et de l'organisation

Pour illustrer la problématique de l'opposition description/normativité, je vais me baser sur quelques échanges récents concernant la ‘culture sécurité’. Dans ce domaine, la tension entre les deux finalités est très bien exprimée par Hudson, un auteur qui a une grande expérience de la promotion d'une ‘culture sécurité’ au sein d'un grand groupe pétrochimique. Selon lui, il est important, dans un but d'action de ne pas chercher à compliquer les modèles et théories *‘Il y a un avantage à utiliser des théories scientifiques solides, et, en même temps, il y a un problème avec les académiques (...) les fines distinctions théoriques, le lot quotidien du chercheur fondamental à la pointe, sont trop fragiles pour élaborer un système qui a pour ambition de fonctionner opérationnellement (...) si une approche ne marche pas sur le long terme, de nombreux problèmes en découlent, dont la crédibilité du monde académique’*¹⁵⁶. Pourtant, pour les tenants d'une approche plus descriptive de la culture sécurité, il n'est pas possible de résumer la ‘culture’ aux recettes, outils, méthodes ou discours managériaux, comme Hudson à l'air de le laisser entendre. Il y a plus dans la ‘culture’ et la ‘culture sécurité’ que dans les injonctions managériales. On comprend ainsi que pour celui qui tient à la fois à garder une capacité descriptive, sans réifier les phénomènes en les simplifiant à outrance dans des buts d'intervention, mais tout en développant des outils pour améliorer la sécurité, le positionnement est forcément intermédiaire. C'est bien toute la difficulté que de produire des modèles pour ‘comprendre et agir’ à la fois. Cet enjeu va être introduit dans le prochain chapitre et de nouveau introduit au chapitre quatre, lors

de l'élaboration d'un modèle qui cherchera à se positionner dans cet 'entre deux'. A ce moment là, l'expérience de l'ergonomie cognitive sera mobilisée.

L'axe accident - 'mode normal'

De la même manière, dans les quatre thèmes retenus, on peut distinguer des recherches qui privilégient l'orientation en mode normal ou l'orientation accidentelle. Il a été vu au travers la rétrospective que les contributions par exemple des organisations à haute fiabilité s'étaient distinguées des études d'accidents précisément sur cette base. Le même raisonnement s'applique à la fois pour les études de la cognition des erreurs comme cela a été souligné et au domaine de la régulation (des politiques publiques) qui a proposé des études en mode normal de l'activité des inspecteurs. A l'appui de ces choix, différents arguments sont avancés. Le fonctionnement normal permet de souligner le positif, c'est-à-dire ce qui contribue dans le cours normal des événements à maintenir un bon niveau de sécurité par l'intermédiaire de la conception technique, de la gestion des erreurs en temps réel par les opérateurs ou encore des capacités de récupérations des problèmes par la redondance organisationnelle, ou encore par le retour d'expérience.

Les accidents sont trop rares pour pouvoir servir de manière sûre à la définition de ce qu'il faut faire ou ne pas faire. Pourtant, l'argument selon lequel étudier les accidents est fondamental est que ce positionnement procure le meilleur angle pour approcher les dérèglements qui mènent aux accidents majeurs. Ceux-ci étant rares, c'est justement le seul moyen de pénétrer dans ces univers à risque bien souvent très difficiles à observer car fermés aux investigations qui iraient chercher trop loin dans les processus de décision, impliquant notamment les étages de directions des entreprises, qui préfèrent largement rester en dehors d'études approfondies¹⁵⁷. Comme on le verra plus loin dans le dernier chapitre et dans la conclusion, plutôt que d'opposer les deux, il est préférable autant que faire se peut, de profiter des apports de l'un pour éclairer l'autre (et inversement), mais aussi de tirer partie des deux approches sur un même cas d'étude pour l'évaluation de la sécurité industrielle.

¹⁵⁶ Hudson, P. 2007. Implementing a safety culture in a major multi-national. Safety science. 45. 697-722.

¹⁵⁷ Ce point a encore été souligné par Hopkins très récemment en ce qui concerne la plus value des diverses investigations menées à la suite de BP Texas city. Hopkins, A. failure to learn. The BP Texas City disaster. Op Cité. p 1. '*Ce qui est remarquable dans ce cas est la quantité d'information qui a été produite sur cet accident, plus particulièrement, les informations sur le fonctionnement interne du groupe*'.

Vers la problématique de la complexité

Maintenant que tous ces travaux ont été présentés et discutés, il est possible de passer au deuxième thème extrait de mon expérience d'investigation d'accident majeur. En effet, la nature à la fois 'événementielle' et 'multidimensionnelle' du cas interroge. Les accidents technologiques majeurs, du fait de leur rareté 'événementielle', seraient-ils imprévisibles et inévitables? Les accidents et la sécurité industrielle, du fait de leur nature 'multidimensionnelle' auraient-ils ceci de particulier qu'ils n'entrent dans aucune 'case' disciplinaire? En fait, ces deux points mènent à un questionnement plus vaste, dépassant largement les frontières des accidents et de la sécurité industrielle, un questionnement sur la complexité. Bien qu'éloigné à première vue, car entraînant la réflexion vers des considérations 'philosophico-épistémologiques', il se révèle néanmoins fondamental, et c'est l'objet du troisième chapitre que de tenter de le montrer.

Chapitre 3

La complexité ¹⁵⁸

Le thème de la complexité est un terme transversal, extrêmement mobilisé depuis les vingt ou trente dernières années¹⁵⁹. Cela s'explique par un ensemble de raisons qu'il est bien impossible ici d'identifier de manière exhaustive. Un certain 'esprit du temps' certainement, qui remet en cause notamment la capacité à tout appréhender, à tout comprendre ainsi qu'à prédire. La recherche sur les risques technologiques majeurs n'a pas échappé à un usage extensif de la notion de complexité. Le sujet s'y prête particulièrement. J'irai pour ma part jusqu'à dire dans les paragraphes qui suivent qu'elle est, une fois formulée philosophiquement, probablement une de ses questions centrales, alors même que dans ce domaine, elle n'a pas bénéficié d'un approfondissement à la hauteur de l'enjeu. Pourtant, tout depuis le départ y conduit, avec l'interrogation sur la possibilité ou non de prédire les accidents majeurs. Les points de vue ont en effet été divisés sur ce sujet, et c'est une ligne de partage qui est restée d'actualité depuis. Certains en sont arrivés à considérer, encore récemment, cette question comme un 'cul de sac'¹⁶⁰, indiquant que seule une conviction personnelle (et politique), plutôt que scientifique, permettait aux uns et aux autres de se positionner dans le débat. Il n'y a en effet pas vraiment de possibilité de trancher sur le plan empirique car se jouent ici de nombreux présupposés, paradigmatiques, pour lesquels la question de la complexité, lorsqu'elle est développée sur le plan philosophique, offre un éclairage.

Si la complexité n'a pas joué le rôle encore plus central qu'elle aurait pu jouer, cela tient probablement au fait que les développements philosophiques d'envergure sur ce thème n'ont pas été jusqu'à présent de langue anglaise, mais plutôt français¹⁶¹ et allemand¹⁶². Ceci a freiné son usage dans la littérature anglo-saxonne, majoritaire sur les risques technologiques

¹⁵⁸ Ce chapitre s'appuie principalement sur le troisième article, Le Coze, JC. 2008. Complexity and learning from accidents. dans *Learning from Accidents: an anthology based on thoughts and ideas from young research fellows*. Swedish Rescue Services Agency; mais également, dans une moindre mesure, sur le quatrième, Le Coze, JC. 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and current safety auditing? *Safety science* (43) 613-638;.

¹⁵⁹ Urry, J. The complexity turn. *Theory, culture and society*. Art. Cit.

¹⁶⁰ Rijpma, J., 2003. From deadlock to dead end: the normal accident-high reliability debate revisited. *Journal of contingencies and crisis management*. Volume 11. Number 1. March 2003.

¹⁶¹ Morin, E. 1977. *La nature de la nature*. Seuil.

majeurs, toutes disciplines confondues. Non pas évidemment que les penseurs français ou allemands n'aient aucune influence, ce que des cas comme Foucault ou Habermas, pour ne citer qu'eux, contredisent. En particulier, l'histoire d'une 'french theory', extrêmement influente aux Etats-Unis, restée plutôt dans l'ombre en France jusqu'à ce qu'éclate l'affaire Sokal en 1997, a été récemment rapportée dans un ouvrage qui y est entièrement consacré¹⁶³. Malgré ces exemples qui démontrent l'influence réelle dans le monde anglo-saxon de pensées 'continentales', ce sort n'a pas été réservé aux penseurs européens de la complexité, et par conséquent, n'ont pas été du tout mobilisés dans les travaux sur la sécurité industrielle.

De plus, les auteurs francophones en pointe dans le domaine des risques industriels (je mets de côté les germanophones), dans les différentes disciplines (par exemple en ergonomie ou sociologie), ne s'en sont pas fait les relais ou échos, peut-être par méconnaissance, manque d'intérêt ou difficulté d'assimilation (ou d'accommodation). Il est vrai aussi qu'il est probablement beaucoup plus facile maintenant, avec le recul, de mieux en saisir les contours¹⁶⁴. A l'exception d'un ergonome, qui en fait une utilisation superficielle et assez indirecte dans un article¹⁶⁵ ainsi que d'un mouvement, les cyndiniques¹⁶⁶, très peu de chercheurs usent de cette notion¹⁶⁷. Mais, malgré leur référence directe à la complexité sous l'angle philosophique, les cyndiniques n'ont pas, selon moi, orienté leur programme empirique et théorique de manière à en capturer et en traduire toutes les implications (et en particulier l'exigence de multi et d'interdisciplinarité). Néanmoins, l'héritage du positionnement cyndinique sur le plan épistémologique, en particulier pour son ancrage

¹⁶² Luhmann, N. 1995 (1984). Social systems. Stanford university press. Pour une introduction en français, voir Ferrarese, E. 2007. Niklas Luhmann. Une introduction. Agora.

¹⁶³ Cusset, F. 2003. French theory. Foucault, Derrida, Deleuze, & Cie et les mutations de la vie intellectuelle aux Etats-Unis. La découverte.

¹⁶⁴ Et certaines utilisations de cette pensée philosophique de la complexité, d'une manière générale en dehors de la sécurité industrielle, ont été sujettes à critique, assez justement, comme Girin le formule très bien dans un article sur la polysémie de la notion et de ses usages en gestion '*Si les auteurs cités ont illustré avec brio l'exercice érudit de cette 'pensée complexe', leurs épigones moins instruits n'ont trop souvent fait étalage que d'une forme de pensée plus confuse que complexe, impropre à alimenter le débat scientifique.*' Girin, J. 2000. Management et complexité : comment importer en gestion un concept polysémique. Dans David, A., Hautchuel, A., Laufer, R. 2000. Les nouvelles fondations des sciences de gestion. Eléments d'épistémologie de la recherche en management. Fnege

¹⁶⁵ Leplat, J. 1996. Quelques aspects de la complexité en ergonomie. Dans Daniellou, F. (ed) l'ergonomie en quête de ces principes. Octarès.

¹⁶⁶ Kervern, JY, Rubise, 1991. L'archipel du danger. Economica ; Kervern, JY. 1995. Eléments fondamentaux des cyndiniques. Economica.

¹⁶⁷ Mêmes les travaux de Lagadec sur la gestion des crises qui font pourtant régulièrement référence et de manière appuyée à la contribution de Morin pour 'une crisologie' en 1976 (Morin, E. 1976. Pour une crisologie. Communications. n° 25, n°1, p 149-163), en restent à cet article sans toucher à son œuvre beaucoup plus vaste, sous jacente, sur la complexité. Voir par exemple Lagadec, P. 1991. La gestion des risques. Mc Graw Hill ; puis dix ans après, Lagadec, P. 2003. Risques, crises et gouvernance : ruptures d'horizons, ruptures de paradigmes. Annales des mines. Mai 2003. Les actes du premier séminaire du programme risques collectifs et situation de crise qui avait mis l'accent sur ce thème

constructiviste, demeure présent dans mon approche de la sécurité industrielle. Il l'est, une fois débarrassé, dans un premier temps, des terminologies qui ont probablement contribué à décrédibiliser le mouvement¹⁶⁸, puis dans un deuxième temps, de son haut niveau d'abstraction¹⁶⁹. Les parties qui suivent sont donc consacrées à la mise en perspective de l'usage de complexité dans le champ des risques technologiques majeurs par différents auteurs représentant de différentes disciplines, puis à l'introduction d'une pensée philosophique afin de montrer son intérêt pour les questions discutées dans ce document.

La complexité au cœur du débat sur les accidents technologiques majeurs

Dès le départ, donc, les auteurs anglo-saxons, sous l'influence de chercheurs comme Weaver¹⁷⁰ ou Simon¹⁷¹, aux Etats-Unis, ont introduit la question de la complexité, sous un certain angle. On la trouve ainsi explicitement chez La Porte, politologue instigateur des études pionnières, on l'a vu, en fiabilité organisationnelle, sans vraiment que le thème ne devienne le fil conducteur de sa réflexion d'ensemble. Malgré des rappels fréquents à la notion, dans les articles qui jalonnent ses recherches jusqu'à aujourd'hui¹⁷², il ne l'a jamais approfondi en relation avec ses études de cas. Assez tôt pourtant cet auteur s'interrogeant sur les risques industriels posait la question suivante *'Avons-nous développé des théories sociales et politiques uniquement pour des systèmes simples ? Sont-elles adéquates pour une société d'une très grande complexité ? Quelles demandes intellectuelles et de recherche sont impliquées par la quête de théories organisationnelle, sociale et politique de systèmes complexes ?'*¹⁷³. Cette question semblait la prémisse à des développements ultérieurs. C'est Perrow¹⁷⁴, avec la notion de couplage, qui conceptualise et introduit cette notion dans sa

¹⁶⁸ Guarnieri, F. 2003. Acquis, tendances et perspectives d'une science des dangers. Annales des mines. Mai 2003.

¹⁶⁹ Malgré tout, une filiation opérationnelle existe, du côté industriel, avec l'exemple de la RATP. Planchette, G., Nicolet, J.L., Valancogne, J. 2002. Et si les risques m'étaient comptés ! Editions Octarès. Voir la postface de Kervern, resituant ce travail dans le sillage cindyniques.

¹⁷⁰ Weaver, W. 1948. Science and complexity. American scientist. 36: 536. Available at <http://www.ceptualinstitute.com/genre/weaver/weaver-1947b.htm>

¹⁷¹ Simon, H. 1962. 'The architecture of complexity', Proceedings of the American Philosophical Society 106, pp. 467--482. Available at <http://ecoplexity.org/files/uploads/Simon.pdf>

¹⁷² La Porte, T. R., Consolini, P., M. 1991. Working in practice, not in theory. Journal of public administration and theory, january. *'L'ampleur de ces organisations au sein de systèmes techniques sous forte contrainte suggère le langage descriptif et analytique de la complexité'* (p 41).

¹⁷³ La Porte, T. 1975. [Organized Social Complexity As An Analytical Problem: An Introduction And Explication](#) in T. R. La Porte, ed., Organized Social Complexity: Challenge to Politics and Policy, Princeton University Press, 1975. available at <http://www.polisci.berkeley.edu/faculty/bio/emeriti/LaPorte.T/publications.asp>

¹⁷⁴ Perrow, C. 1984. Normal accident. Princeton university press.

théorisation des accidents pour qu'elle prenne une grande place dans la rhétorique du domaine. A partir de ce moment en effet, entrant en résonance forte avec les travaux des 'cogniticiens' (on le verra) la complexité devient un mot clé dans la communauté des chercheurs de la sécurité industrielle. Très orienté par les caractéristiques structurelles et technologiques des systèmes à risques qui sont plus ou moins susceptibles de produire des accidents normaux, cet auteur en fait toutefois un usage restreint : la complexité est essentiellement technologique.

C'est davantage la 'complexité organisée', au sens de Weaver, qui avait sensibilisé La Porte à cette problématique dans ses premiers écrits, illustrés par la citation précédente. Weaver, dans un article indiquant une voie qui sera empruntée par la suite par beaucoup d'autres (j'y reviendrai), avait ainsi distingué, en 1947, la 'simplicité' de la 'complexité désorganisée' et de la 'complexité organisée'. Cette dernière catégorie renvoyait aux phénomènes autonomes, finalisés par des principes de rétroactions, comme ceux rencontrés dans les domaines biologiques, médicaux ou encore sociaux, économiques ou politiques. La 'simplicité' était le domaine des équations permettant la prévision de comportements déterministes (trajectoire d'un mobile). La 'complexité désorganisée' renvoyait aux connaissances en mécanique statistique, qui ne pouvaient suivre une à une les entités microscopiques (comme pour les problèmes de 'simplicité') et les agrégeaient mathématiquement au niveau macroscopique (l'exemple fondateur étant la thermodynamique). Le défi de la science, à venir, selon Weaver était donc bien sa troisième catégorie, la 'complexité organisée'.

Finalement, en misant sur la complexité technologique, Perrow ne propose donc pas vraiment de s'y pencher, sur cette 'complexité organisée'. La technologie à laquelle il s'intéresse alors ne possède pas ces propriétés d'autonomie, d'auto-organisation ou d'adaptation par rétroaction au même titre que les systèmes biologiques ou sociaux. La critique des limites de son utilisation de la notion de la complexité viendra de plusieurs auteurs, de Vaughan notamment¹⁷⁵, même si entre temps d'autres sociologues ont bien vu et reproché le caractère 'techno centré', le manque d'acteurs dans sa proposition¹⁷⁶. Vaughan indique donc de manière explicite, les limites de l'emploi par Perrow d'une complexité principalement technologique.

¹⁷⁵ Vaughan, D. 2005. System effects: on slippery slopes, repeating negative patterns, and learning from mistakes? In Starbuck H. W., Farjoun M. 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell publishing.

¹⁷⁶ Bourrier, 1999. Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation. Presses Universitaires de France.

En prenant appui sur le travail de Jervis dédié à la complexité¹⁷⁷, elle explique que *‘son analyse intègre la littérature interdisciplinaire de la théorie systémique et l’important travail de Perrow (1984). Cependant, le travail de Jervis se distingue de ces prédécesseurs de plusieurs façons : 1) ce sont des systèmes d’interactions humaines, et la manière dont les acteurs interprètent le système et élaborent des stratégies est d’importance ; 2) la structure est très influente, mais pas déterminante, le libre arbitre et la contingence sont aussi importants ; et 3) le temps, l’histoire, et la trajectoire des actions et interactions comptent’*. Ce reproche revenait aussi dans une certaine mesure à un besoin de réintroduire une forme d’autonomie, au sens de cette ‘complexité organisée’, au-delà du déterminisme technologique, en passant par les acteurs.

C’est ce besoin, je crois, dont témoignent les titres des articles des chercheurs du courant des organisations à haute fiabilité¹⁷⁸. Dans ces titres, en effet, figure cette notion ‘auto’ (le ‘self’ anglo-saxon), qui rend ces systèmes si différents des propriétés technologiques (de cette époque, et encore - pour combien de temps ?¹⁷⁹ - de la nôtre). Par leurs capacités d’auto-organisation, d’auto-correction, d’auto-ajustement, d’autonomie, les ‘*high reliable organisations*’ montrent ainsi des caractéristiques à même de contrecarrer les déterminismes technologiques de Perrow. Ainsi, les sociologues, qui se sont penchés à la suite de Perrow, sur les accidents majeurs, se sont repositionnés par rapport à la complexité, de différentes manières.

Les sociologues, gestionnaires et ergonomes par rapport à la complexité

Une façon de se positionner a consisté à critiquer l’association de complexité avec l’idée de l’inévitabilité ‘d’accidents normaux’ pour certaines configurations technologiques. C’est l’argument par exemple d’Hopkins, un sociologue qui a fait beaucoup pour promouvoir une perspective organisationnelle des accidents¹⁸⁰. Sur la base de son analyse d’un cas, il conclut *‘malgré les complexités technologiques du site de Longford, l’accident n’était pas inévitable. Les principes listés au-dessus ne sont pas nouveaux, ils émergent de temps en*

¹⁷⁷ Jervis, R. (1997). *System effects: Complexity in political and social life*. Princeton: Princeton University Press.

¹⁷⁸ Rochlin, G., La Porte, T., Roberts, K. 1987. The self designing high reliability system : aircraft carriers operation at sea, Naval War college review, Autumn, 76-91; Bourrier, M. 1997. Elements for designing self-correcting organizations: examples from nuclear power plants, in Hale, A., Baram, M (eds) safety management and the challenge of organizational change. Elsevier.

¹⁷⁹ Dupuy JP. 2004. Quand les technologies convergeront, *Revue du MAUSS* 1/2004 (n° 23), p. 408-417 ; Bensaude-Vincent, B. 2009. Les vertiges de la technoscience. Façonner le monde atome par atome. La découverte.

¹⁸⁰ Hopkins, A. Lessons learnt from Longford. Op cit. Hopkins, A. Safety, culture and risk.. op cit; Hopkins, A. Failure to learn. Op cit.

temps dans les études sur les accidents majeurs. Comme la commission d'enquête l'a formulé, les mesures pour prévenir cet accident étaient parfaitement applicables'.¹⁸¹

En rejetant l'argument de la complexité technologique comme source intrinsèque de scénarios non prévisibles, cet auteur veut au contraire montrer que tous les accidents, sans aucune exception, et même le paradigmatique exemple de Three Miles Island sur la base duquel Perrow avait élaboré sa théorie¹⁸², s'expliquent par un principe global de gestion négligente (*sloppy management*), et non pas par les répercussions imprévisibles de l'intrinsèque complexité (et couplage) technologique. L'emploi de la complexité ne s'oppose donc pas ici à l'idée, pour cet auteur, que l'on peut maîtriser les installations à risque, si l'on s'en donne les moyens, à la manière de ce que les études des organisations à haute fiabilité ont pu montrer¹⁸³. C'est ainsi, également, la conclusion de Mayer, contre celle de Vaughan, dans une relecture de l'accident de Challenger sous un angle plus gestionnaire. *'L'on soutiendra, au contraire, la thèse que la bonne décision a été manquée de peu (...) l'accident de la navette n'est donc pas un accident normal, que ce soit au sens de Perrow ou à celui encore plus pessimiste, de Vaughan. Il est anormal par rapport à la prudence ordinaire de la NASA*'¹⁸⁴.

Une seconde approche est au contraire d'accepter les implications de la conceptualisation de Perrow, mais d'aller plus loin, en considérant sa proposition comme le premier jalon d'une perspective qui doit prendre en compte d'autres dimensions, qui doit 's'étendre' en complexité. Evan et Manion sont des exemples de ce regard¹⁸⁵, rejoignant par là le point de vue de Vaughan. *'La mise à l'écart par Perrow des facteurs humains, organisationnels ainsi que socio-culturels entourant les causes des accidents technologiques majeurs mène à une compréhension appauvrie des dynamiques complexes de ces accidents. Une théorie complète des accidents technologiques majeurs doit se concentrer sur les effets complexes des facteurs techniques, humains, organisationnels et socio culturels, en plus de ces facteurs structurels tels que la complexité interactive et le couplage fort*'. Ces deux auteurs prennent plus particulièrement comme ancrage les travaux de l'historien des technologies, Hughes¹⁸⁶, un auteur dont les développements sur les 'macro systèmes techniques' ont été relayés en

¹⁸¹ Hopkins, 2000, op. cite, p 98.

¹⁸² Hopkins, A., 2001. Was Three Miles Island a normal accident? Journal of contingencies and crisis management. Volume 9. Number 2.

¹⁸³ Hopkins, A. (ed) 2009. Learning from high reliability organisations. CCH.

¹⁸⁴ Mayer, P. 2003. Challengers Les ratages de la décision. Presses universitaires de France. p 52, p 238.

¹⁸⁵ Evan, W, M., Manion, M. 2003. Minding the machines. Preventing technological disasters. Prentice Hall.

¹⁸⁶ Hughes, T. 1989. American genesis. A century of invention and technological enthusiasm. Pinguin.

France par Gras¹⁸⁷. Hughes fournit en effet un regard complexe, constructiviste, sur le développement technologique, qui considère comme inséparables les dimensions technologiques, sociales, culturelles, politiques et économiques¹⁸⁸. Dans tous les cas, c'est une forme d'humilité qui, chez la plupart des auteurs qui abondent dans le sens de Perrow tout en lui apportant des modifications substantielles, les amènent à mobiliser cette catégorie de complexité et de ses effets. Ceci est parfaitement résumé par Farjoun et Starbuck à l'occasion d'un article d'orientation gestionnaire sur les leçons tirées de la perte de la navette Columbia en 2003. '*Ainsi, bien que la complexité nous intrigue, nous devrions être modeste par rapport à notre capacité à la comprendre et la gérer*'¹⁸⁹.

C'est aussi cette humilité que l'on retrouve dans les apports plus ergonomiques qui ont eux aussi mobilisé la complexité, en même temps que les travaux plus sociologiques ou gestionnaires jusqu'à présent mentionnés dans ce chapitre. En effet, toute une tradition de recherche dans le sillon des travaux de Rasmussen¹⁹⁰, dont Woods est un des meilleurs représentants, considère l'intraduisible '*coping with complexity*' comme un thème fédérateur des travaux de l'ergonomie cognitive¹⁹¹, ce qui sera suivi par de très nombreux auteurs. Plutôt que de rester dans les laboratoires pour étudier la cognition, il est tout aussi pertinent, malgré les difficultés méthodologiques que cela entraîne par rapport aux contextes expérimentaux d'une certaine tradition psychologique, d'étudier ce qui se passe en situation complexe, dynamique. La complexité, dans ce champ (appliqué en particulier aux questions d'interface homme machine), va donc être définie comme la combinaison du nombre de vues, du nombre de procédés supervisés, du type de dynamique des procédés supervisés, des interactions potentielles au sein du procédé, du caractère novice ou expert de l'opérateur, de la mobilisation d'une métacognition, etc¹⁹². Face à la complexité des situations, c'est bien une grande humilité qui s'impose, d'une part devant l'étonnante aptitude de la cognition à trouver des solutions viables, et d'autre part, face à la possibilité ou non de prédire les 'erreurs'.

¹⁸⁷ Gras, A. 1993. Grandeur et dépendance. Sociologie des macro systems techniques. Presses Universitaires de France.

¹⁸⁸ Hughes, T. 1998. Rescuing Prometheus. Four monumental projects that changes the modern world. Vintage books; Hughes, T. 2005. Human built world. How to think about technology and culture. University of Chicago press.

¹⁸⁹ Farjoun, M., Starbuck, W. H., 2005, Lessons from the Columbia disaster. In In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing, p 358

¹⁹⁰ Rasmussen J., Lind M. 1981. *Coping with complexity*. Riso Report, Roskilde, Riso National laboratory.

¹⁹¹ Woods, D. 1988. Coping with complexity : the psychology of human behaviour in complex systems. Dans Goodstein L.P., Andersen H.B., Olsen S.E., 1988. *Tasks, Errors and Mental models*. London, Taylor & Francis.

¹⁹² Amalberti y consacre ainsi un chapitre dans son ouvrage. Amalberti, R. La conduite des systèmes à risques. op cité. chapitre 4.

De même, les sociologues penseurs de la ‘seconde modernité’, de la ‘modernité réflexive’ ou de la ‘société du risque’, tels Beck et Giddens, élaborant l’arrière-plan macroscopique des questions sur la régulation des risques, ne sont pas non plus en reste sur ce thème. Sans vraiment s’attarder dans le détail, sur des cas précis d’accidents technologiques majeurs, ils considèrent eux aussi la complexité comme la caractéristique fondamentale pour les expliquer. *‘Quels que soient le degré de perfection d’un système et l’efficacité de ses opérateurs, les conséquences de sa mise en place et de son fonctionnement, dans le contexte du fonctionnement d’autres systèmes et de l’activité humaine en général, ne peuvent être complètement prévues. L’une des raisons à cela est la complexité des systèmes et des actions constituant la société mondiale. Mais même si l’on pouvait concevoir – chose impossible en pratique – que le monde (l’action humaine et l’environnement physique) puisse devenir un système à conception unique, il y aurait toujours des conséquences imprévues’*¹⁹³.

Explorer la complexité, sous un autre angle

Ainsi, de nombreux ouvrages disciplinaires de référence, consacrent une mention, voire un chapitre, à la complexité. Pourtant, ces mentions ou chapitres n’approfondissent pas autant que l’on pourrait le souhaiter cette question, en particulier par rapport à l’ensemble des réflexions, en dehors des risques industriels, qui sont disponibles. C’est ainsi que Klein, un des artisans de la ‘macro cognition’ (rencontré au chapitre 3), reconnaît lui-même, dans une note, les limites de sa propre définition et utilisation de la notion de complexité *‘Le sujet de la complexité est devenu une discipline à part entière avec ses propres conférences et ouvrages. Il semble avoir un sens pour les mathématiciens, un autre pour les biologistes, un autre pour les ingénieurs, et encore un autre pour les philosophes.(...) Je veux juste distinguer des situations complexes des situations ordonnées’*¹⁹⁴. C’est dans ce contexte, précisément décrit par Klein, de mise à l’écart des investigations autour de la complexité, en particulier philosophiques, que j’ai trouvé pour ma part extrêmement pertinent de recourir à une exploration du côté de la réflexion de Morin¹⁹⁵. Une fois assimilée, il devient difficile de

¹⁹³ Giddens, A. Les conséquences de la modernité. op. cité. p159.

¹⁹⁴ Klein, G. Streetlight and shadows. Op. cité, p305.

¹⁹⁵ Morin, E., 1973. La nature humaine, le paradigme perdu. Ed du seuil (coll point). Paris. Morin, E., 1977. La méthode – tome I, La nature de la nature. Ed du seuil (coll point). Paris. Morin, E., 1980. La méthode – tome II, La vie de la vie. Ed du seuil (coll point). Paris. Morin, E., 1986. La méthode – tome III, La connaissance de la connaissance. Ed du seuil (coll point). Paris. Morin, E., 1990b. Science avec conscience. Seconde édition. Editions du seuil (coll point). Paris. Morin, 1990c. Introduction à la pensée complexe. Seuil ; Morin, E., 1991. La méthode – tome IV, Les idées, leur habitat, leur vie, leur mœurs, leur organisation. Ed du seuil (coll point). Paris. Morin, E., 1994. Sociologie. Seconde édition. Editions du seuil (coll point). Paris. Morin, E (journée thématiques conçues et animées par). 1998. Relier les connaissances. Le défi du XXIème siècle. Seuil ; Morin, E., 2007 Complexité restreinte, complexité générale, in Le Moigne, J-L, Morin, E. Intelligence de la complexité: épistémologie et pragmatique. Colloque de Cerisy. Edition de l’Aube.

ne pas voir combien cette proposition convient parfaitement pour cadrer les problématiques rencontrées à l'issue de l'investigation d'accidents, mais aussi pour la question de l'évaluation de la sécurité industrielle. Les propos de Klein sont donc éclairants et représentatifs d'une majorité d'auteurs : le manque d'élaboration ou de profondeur du thème de la complexité sur le plan philosophique chez la plupart des travaux cités les a écartés jusqu'à présent d'une utilisation plus centrale de celui-ci dans le champ de la sécurité industrielle. Il m'a semblé de ce fait fécond de puiser dans cet héritage 'continental' afin de poser les bases d'une approche complexe de la sécurité industrielle.

La complexité selon Morin

Introduire l'œuvre de Morin sur la complexité est un vrai défi. Il faut trouver un angle qui permette de la situer dans ses apports principaux pour les questions de cette synthèse, tout en reconnaissant, qu'en quelques pages, l'exercice est forcément réducteur. L'œuvre de Morin est très vaste et il n'y a pas qu'une seule façon de l'introduire. Jusqu'à présent, très peu d'éléments de contexte ont été fournis, ce qui complique d'autant la tâche. Je propose donc d'essayer dans une première partie, de donner quelques indications de contexte, puis ensuite, de résumer les propositions principales que je retiens comme clés pour aborder la sécurité industrielle, afin de montrer comment la proposition de ce philosophe constitue une 'méta catégorie épistémique', ou encore, un 'style'.

Contexte d'une pensée de la complexité, d'une 'pensée complexe'

Une investigation dans les sciences physiques et biologiques

Le travail de Morin prend forme dans les années soixante dix. Les éléments conceptuels d'une approche philosophique de la complexité s'élaborent par assimilation d'un grand nombre de développements scientifiques de l'entre-deux-guerres et de l'après-guerre. Une fois mis en perspective sur le plan de leurs implications notamment philosophiques, une fois articulés, ils constituent les bases d'une vision renouvelée de notre rapport au monde. Cette élaboration 'pantagruélique', selon les mots de Dupuy¹⁹⁶, est assez étonnante, emprunte

¹⁹⁶ Dupuy, à propos des deux premiers tomes consacrée à ce thème, déclare '(...) une admiration pantoise devant cette capacité pantagruélique d'embrasser les connaissances les plus vastes et les plus diverses et d'y repérer les résonances et

d'une formidable capacité à repérer les analogies entre les différents champs du savoir. Ce travail de conceptualisation transdisciplinaire sur la base de connaissances scientifiques récentes, constitue la vraie force de Morin, qui remarque par ailleurs que les philosophes ne font plus ce 'boulot là'. Ceci explique, pour lui, la part grandissante de ces scientifiques qui, face à leurs propres investigations, doivent se tourner eux-mêmes vers la philosophie pour prendre du recul afin de donner sens aux résultats de leurs expériences. La philosophie s'est détournée des sciences, car la 'science ne pense pas'¹⁹⁷, et ne peut plus subvenir à leur besoin. Bien entendu, les développements scientifiques du siècle passé démentent cette idée. Ce sont évidemment ici les avancées de la physique quantique qui viennent à l'esprit. En remettant en cause le déterminisme, tout en questionnant l'objectivité des expérimentations (impact de l'observateur), elle renverse quelques uns des piliers de la science moderne¹⁹⁸.

Mais il y en a bien d'autres, comme la nouvelle cosmologie qui introduit, malgré les réticences d'Einstein sur les implications de ses propres équations¹⁹⁹, l'idée d'une expansion de l'univers. Cette nouvelle vision du cosmos, introduit un principe historique dans la compréhension de l'univers. Un historique chaotique, originel, tissé d'aléas, aboutissant au système solaire tel qu'on le connaît, au sein des galaxies, du cosmos²⁰⁰. Comme la physique quantique, cette vision du cosmos remet en cause, là encore, le déterminisme. Permettant un lien avec les implications du second principe de la thermodynamique (la propension d'un système à la dispersion d'énergie) qui n'était jusqu'alors qu'une anomalie sans véritable place dans le paysage scientifique, en particulier déterministe, cette vision du cosmos est une vraie rupture. D'autres avancées scientifiques dynamisent sa réflexion, particulièrement en biologie (génétique, écologie, éthologie, neurosciences) et c'est sur le terrain d'un ensemble de nouveaux apports conceptuels et scientifiques novateurs de l'après-guerre, qui alimentent les précédents, que sa contribution devient proprement originale, et surtout, associée à celle de 'complexité'.

Ce sont les développements de la cybernétique, de la théorie de l'information, de la théorie générale des systèmes, de l'auto-organisation (portés par différentes disciplines, en

dissonances qui annoncent les 'nouveaux paradigmes' et les 'nouvelles alliances'' dans Dupuy, JP. Ordres et désordres. Enquête sur un nouveau paradigme. Seuil. p 212.

¹⁹⁷ Selon la célèbre phrase du philosophe Heidegger. Heidegger. 1956. Essais et conférence. Gallimard.

¹⁹⁸ Heisenberg, S. 1972 (1969) Le tout et la partie. Flammarion.

¹⁹⁹ Luminet, JP. 2004. Qui a inventé le big bang ? dans Einstein, l'homme qui a inventé l'univers. Hors série. Ciel et espace. Septembre 2004.

²⁰⁰ Voir, sur ce thème, les échanges éclairants avec l'astrophysicien Michel Cassé. Cassé, M., Morin, E. 2003. Enfants du ciel : entre vide, lumière, matière. Odile Jacob.

thermodynamique, en biologie, en cognition). Alors que des auteurs passés, dans la première moitié du vingtième siècle, comme Bergson²⁰¹ ou Whitehead²⁰², ont discuté des limites, chacun différemment, d'une pensée scientifique réductionniste et mécaniste, en proposant de l'amender en y apportant de nouveaux concepts ('l'élan vital' pour le premier, 'l'organisme' pour le second), c'est sur la base de ces nouvelles conceptualisations, jusqu'alors non disponibles pour la réflexion, que Morin propose de forger une nouvelle grille de lecture. De nouveau, le second principe de la thermodynamique peut être mis en relation avec ces nouvelles conceptualisations, mais cette fois avec la 'lutte' contre la dispersion d'énergie, par le maintien de l'organisation vivante. Les auteurs clés de la construction de cette pensée innovante sont alors Ashby, Shannon, Weaver, Wiener, Von Neumann, Von Foerster, Bertalanffy, Hayek, Simon, Bateson, Beer, Prigogine, Atlan, Maturana et Varela ou encore Gunther. Les principes de causalité circulaire, de rétroaction, de téléologie, de contexte et d'ouverture, de variété requise ou de systèmes, sont alors quelques uns des principaux apports novateurs de tous ces auteurs.

Une investigation épistémologique

Cette exploration dans les sciences de la nature et de la vie ainsi que ces apports conceptuels récents, dont les principes d'auto-organisation et d'*'order from noise'*, pour penser notre rapport au monde, se prolonge dans un questionnement sur les possibilités d'entendement, sur 'la connaissance de la connaissance'. Prenant appui sur le concept d'auto-organisation appliqué à l'épistémologie, dans le sillon de la seconde cybernétique portée par Von Foerster, Morin accepte la perte des fondements d'une connaissance scientifique qui serait purement objective. La science ne permet pas l'atteinte du réel, elle dialogue avec, mais n'atteint pas une réalité ontologique 'donnée'²⁰³. Intégrant les grands courants de discussion épistémologique anglo-saxons de l'époque, autour d'un 'post positivisme', remettant en cause le programme du 'positivisme logique' du cercle de Vienne²⁰⁴, dont les débats entre

²⁰¹ Bergson, H. 1913. L'évolution créatrice. Disponible à l'adresse suivante www.classiques.uqac.ac.

²⁰² Whitehead, A. N. 1935. La science et le monde moderne. Editions du rocher.

²⁰³ Voir le recueil de textes constructivistes (dont Von Foerster, Varela, Von Glasersfeld) dans cette mouvance, Watzlawick, P. (ed) 1988. L'invention de la réalité. Seuil.

²⁰⁴ Jacob, P. 1980. De Vienne à Cambridge. L'héritage du positivisme logique. Gallimard.

Popper, Khun, Lakatos ou Feyerabend sont devenus les repères incontournables²⁰⁵, Morin se livre de nouveau à une grande investigation.

Cette fois il investit les contributions des neurosciences, de la cognition, de la psychanalyse, de l'éthologie, de l'anthropologie, de la sociologie ou de l'histoire des sciences, de la logique ou encore de la philosophie des sciences. Cette approche lui permet de rendre compte des 'contraintes et possibilités'²⁰⁶ de la connaissance. Les apports auxquels il fait référence sont bien trop nombreux pour être énumérés ici, mais au nom de Piaget se mêlent ceux de Griffin, de Canguilhem, Fodor ou encore de Putnam. En opérant de la sorte, il contribue à éclairer, dans une boucle épistémologique constructiviste de laquelle l'homme ne peut s'extraire, et très ancrée dans la notion de paradigme forgée par Kuhn²⁰⁷, ce que l'on sait de la connaissance, avec comme objectif la capacité d'exercice d'une auto réflexivité. *'Lorsque la pensée découvre le gigantesque problème des erreurs et illusions qui n'ont cessé (et ne cesse) de s'imposer comme vérité au cours de l'histoire humaine, lorsqu'elle découvre corrélativement qu'elle porte en elle le risque permanent d'erreur et d'illusion, alors elle doit chercher à se connaître'*²⁰⁸. Il peut ainsi, en ce sens, être associé à ce renouveau du pragmatisme américain incarné par les ouvrages de Rorty²⁰⁹ et Putnam²¹⁰, à la fin des années soixante dix et début des années quatre vingt²¹¹. Reconnaisant également la perte des fondements, ces philosophes récusent l'idée selon laquelle l'homme accède à la réalité telle qu'elle est.

En questionnant l'objectivité de la science c'est premièrement sa valeur qui est interrogée. La science s'est bâtie sur un programme de 'neutralité axiologique'²¹². Dans cette perspective de l'activité scientifique, les scientifiques n'ont aucune implication dans la morale (et la politique) puisque leur visée est uniquement cognitive, en cherchant la vérité, en distinguant le vrai du faux. Pour Morin au contraire, opérer cette boucle épistémologique est l'occasion de promouvoir une 'science avec conscience'²¹³. Les scientifiques ne sont pas

²⁰⁵ Lakatos, I. Musgrave, A. 1970. Criticism and the Growth of knowledge.

²⁰⁶ Expression que je reprends de l'ouvrage du philosophe italien Mauro Ceruti, affilié aux idées de Morin. Ceruti, M. 1994 (1986). Constraints and possibilities. The evolution of knowledge and the knowledge of evolution. Routledge.

²⁰⁷ Kuhn, T. 1962. La structure des révolutions scientifiques. Flammarion.

²⁰⁸ Morin, E. La méthode. La connaissance de la connaissance. op. cité. p 9.

²⁰⁹ Rorty, . 1979. Philosophy and the mirror of nature. Princeton University Press.

²¹⁰ Putnam, H. 1984 (1981). Raison, vérité et histoire. Editions de minuit.

²¹¹ Pour une présentation ('serrée') de ce renouveau du pragmatisme et des débats associés, voir l'étude de Cometti, JP. 2010. Qu'est ce que le pragmatisme ? Gallimard.

²¹² La fameuse conférence de Weber en est l'illustration parfaite. Weber, M. 1919. Le savant et le politique.

²¹³ Morin, E., 1990a. Science avec conscience. Seconde édition. Editions du seuil (coll point)

en dehors de la société et tout développement scientifique possède immédiatement une implication morale, de nombreux exemples, du nucléaire au génie génétique le montrent. Il n'y a donc pas de séparation entre ces deux registres de valeur, d'un côté la valeur 'cognitive' et de l'autre la valeur 'morale', les deux sont liés. C'est la dimension éthique du développement scientifique.²¹⁴

En questionnant l'objectivité scientifique, Morin réintroduit également le sujet dans l'acte de connaissance. Un sujet avec une biographie, insérée dans un contexte socio-historique, qui, pour lui, amène à accepter la remise en cause de la distinction du contexte de découverte et du contexte de justification. Cette distinction avait été introduite en philosophie des sciences pour mettre de côté l'activité créatrice du 'génie' scientifique, pour mettre de côté les influences du milieu à la fois politique, économique, culturel ou social des scientifiques, afin de réserver l'analyse philosophique à la cohérence, la non contradiction, la validité empirique, etc des théories scientifiques. On ne peut en effet 'rationaliser' le processus de découverte. Justement, suivant en cela une tradition française d'étude historique de la science, relayée en partie par les courants post-positivistes anglo-saxons déjà mentionnés et aussi orienté par un regard historique, Morin réintroduit le sujet afin de montrer que la 'découverte' scientifique est indissociable d'un individu spécifique, dans un contexte spécifique.

Les scientifiques ne sont ainsi pas exempts de notions d'ordre métaphysique, qui échappent à la vérification empirique et qui les amènent vers certains raisonnements plutôt que d'autres. Des concepts aussi ambiguës que ceux de temps, d'espace, de matière, d'émergence, aussi sensibles aux interprétations, laissent la porte ouverte à différentes formulations, orientations. Appliqué à la sociologie par exemple, on voit combien le débat entre l'individualisme et le holisme méthodologique à une époque, et toujours renouvelé depuis²¹⁵, a fait surgir des questions d'ordre philosophique, ici la liberté ou la créativité de l'agir par rapport aux contraintes sociales, qui n'engagent pas véritablement les données empiriques, mais leur cadre d'interprétation. On trouve de nombreux exemples de cette nature dans les développements scientifiques, comme en biologie, avec l'exemple suivant²¹⁶. En théorie de l'évolution, il n'existe pas de possibilité de trancher sur le plan empirique la question de savoir si homo sapiens est un accident, une ramification (ou un 'rameau', pour

²¹⁴ Morin, E. 2004. La méthode 6. Ethique. Seuil.

²¹⁵ Voir par exemple Boltanski, L. 2009. De la critique. Précis de sociologie de l'émancipation. Gallimard.

²¹⁶ Ruse, M., 2007. L'apparition de l'homme était elle inévitable? Les dossier de la recherche. Mai-Juillet 2007.

reprendre l'expression de Serres²¹⁷), ou si le cours de l'histoire de l'évolution progressive y menait inéluctablement. Les positions des différents scientifiques, acceptant néanmoins tous globalement la théorie évolutionniste, sont partagées, et font surgir certains présupposés qu'il est bien impossible de trancher sur le plan scientifique ou empirique, et qui ne se prêtent qu'à une exploration philosophique. Le même raisonnement s'applique au débat '*mind matter*', entre la matière et l'esprit. Réintroduire et questionner ces présupposés peut aider à mieux comprendre certains des enjeux et directions que prennent les recherches.

Une 'complexité générale' par rapport à une 'complexité restreinte'

Une remarque s'impose avant d'aller plus loin. En effet, alors qu'il développe sa pensée à la fin des années soixante dix avec les deux premiers tomes en 1977 et 1981 (et l'ouvrage initial de 1973, issu des réflexions autour des conférences 'pour une science de l'homme' au centre de Royaumont²¹⁸), les approches de la complexité anglo-saxonnes prennent forme avec la création du Santa-Fe Institute en 1984, institut dont le rayonnement sera très grand et permettra de populariser fortement ce domaine. Le but de cette institution est d'étudier des systèmes complexes adaptatifs, c'est à dire présentant notamment des propriétés d'auto-organisation, tels que les écosystèmes, le cerveau, l'économie etc. Un scientifique comme Gell-Mann²¹⁹, prix Nobel de physique et un des fondateurs de cet institut, fera la promotion d'une approche des systèmes adaptatifs complexes, en introduisant plusieurs des grands thèmes de la complexité : concepts d'information, de relation micro-macro, d'émergence, d'interaction ordre/désordre, etc. Par contraste avec les pionniers du champ (dont quelques uns des principaux noms ont été indiqués plus haut), les auteurs contemporains connus sur le thème de la complexité sont alors Kauffman, Holland ou Per Bak²²⁰. Cependant, le peu de perspective philosophique et épistémologique de ces écrits sera l'occasion pour Morin de distinguer son travail de ces développements anglo-saxons. Il parlera ainsi d'une 'complexité restreinte', pour laquelle la complexité est vue comme une technique de modélisation assez peu réflexive philosophiquement (ou encore une 'complexité

²¹⁷ Serres, M. 2004. Rameaux. Le Pommier.

²¹⁸ Morin, E., Piatelli-Palmarini, M. 1973. L'unité de l'homme. 3 volumes. Seuil.

²¹⁹ Gell Mann, . 1995. Le quark et le jaguar. Flammarion.

²²⁰ Mitchell, M. 2009. Complexity. A guided tour. Oxford University Press.

réductionniste²²¹), par rapport à une ‘complexité générale’, qui donne toute sa place à la rupture apportée au paradigme classique²²².

Idées clés

Réintroduire l’homme et la société dans la nature sans les y réduire

Sur le plan philosophique, à partir d’une boucle (schématisée par la figure 7), Morin a pour objectif en effet, à contrecourant du paradigme dominant, de (ré)introduire l’homme et la société dans la nature sans les y réduire, en travaillant plus particulièrement à partir du concept d’émergence (associé à l’auto-organisation), un concept amené à la fin du vingtième siècle à connaître un grand succès²²³. Comme le précise la philosophe des sciences Fagot Largeault : ‘*Au milieu du vingtième siècle le courant dominant en philosophie des sciences est réductionniste (...) à la fin du vingtième siècle, le courant émergentiste est dominant*’²²⁴. Un recueil d’un ensemble de textes considérés comme les classiques sur le sujet est sorti récemment, confirmant ce retournement ‘émergentiste’ de la science et de la philosophie des sciences en ce début de siècle²²⁵. Dans ce contexte plus favorable, le programme de Morin commence à être entendu. Morin était lucide dès le départ sur les limites de la réception de son entreprise dans le climat d’alors. Il indique ainsi à son propre égard dans l’introduction du premier ouvrage de ‘la méthode’, en 1977 que, ‘*le précurseur, comme dit Canguilhem, est celui dont on ne sait qu’après qu’il venait avant*’²²⁶. En reliant l’homme et la société à la physique et au vivant, il cherche en effet à aller plus loin que ses prédécesseurs, et ici en particulier, évidemment, Marx, qui, s’il avait bien cherché à ancrer l’histoire de l’homme et de la société dans un matérialisme, n’avait pas pourtant pu pousser aussi loin son enracinement (physique et biologique) tel que l’envisage Morin. C’est une approche avant-gardiste, en décalage (figure 7).

²²¹ Wynne, B. 2005. Reflexing complexity. Post genomic knowledge and reductionist returns in public science. *Theory, culture and society*, 22(5):67-94.

²²² Morin E., "Complexité restreinte et complexité générale", Colloque Cerisy 2005, sur le site <http://www.mcxapc.org/docs/conseilscient/1003morin.pdf>

²²³ Le philosophe Jean-Michel Besnier va jusqu’à décrire une ‘culture de l’émergence’. Besnier, JM. 2009. *Demain, les posthumains*. Hachette.

²²⁴ Fagot Largeault, A. 2002. L’émergence. dans Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002b. *Philosophie des sciences*. Volume 2. Folio essai.

²²⁵ Bedau, M., Humphreys, P. 2008. *Emergence: Contemporary Readings in Science and Philosophy*, (eds), MIT Press.

²²⁶ Morin, E. *La méthode. La nature de la nature*. op. cité. p24.

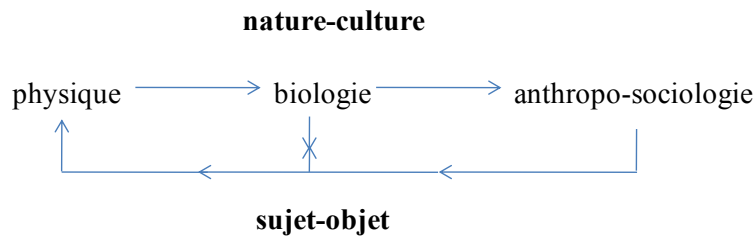


Figure 7: la boucle 'morinienne' (à partir de Morin, 1977, 17)

C'est ce qui fait dire et reconnaître à un philosophe comme Saint-Sernain, trente ans plus tard exactement *'pour ma génération, nourrie, après la seconde guerre mondiale, de Sartre, de Camus, mais aussi de Kierkegaard et de Gabriel Marcel, ce changement de perspective constitue une mutation difficile: même le marxisme, à l'époque était "acosmique", dans la mesure où il ne considérait que l'histoire des hommes; l'essai d'Engels pour esquisser une philosophie matérialiste de la nature, à la fin du XXème siècle, paraissait suranné'*²²⁷. Pourtant ce philosophe ne fait pas référence à Morin dans l'ouvrage dont cette citation est extraite, mais au philosophe Serres. Au même titre que Morin en effet, à la même période²²⁸ ainsi que dans les années qui suivent²²⁹, Serres propose de traiter de thèmes tout à fait similaires, mais quelque peu différemment, comme les entretiens réunis dans un ouvrage consacré à la complexité le laissent apparaître²³⁰. La philosophie de la complexité se construit autour de l'articulation, plutôt que la séparation, de la nature et de la culture ; du sujet et de l'objet (figure 7). On retrouve aussi un projet proche, de manière plus empirique, chez un auteur comme Latour, proche des idées de Serres²³¹. Dans des études anthropo-sociologiques sur la science et la technologie, Latour²³² propose tout un arsenal conceptuel (les réseaux, les traductions, les objets hybrides), qui contribue à éclairer sous un autre angle cette question du lien nature-culture et sujet-objet.

²²⁷ Saint-Sernain, B. 2007. *Le rationalisme qui vient*. Gallimard.

²²⁸ Par exemple Serres, M. 1977. *Hermès IV. La distribution*. Editions de minuit.

²²⁹ Serres, M. 1981. *Le parasite*. Hachette ; Serres, M. 1987. *Statues*. Flammarion ; Serres, M. 1990. *Le contrat naturel*. Flammarion ; Serres, M. 2001. *Hominsecence*. Le Pommier ; Serres, M. 2003. *L'incandescent*. Le Pommier ; Serres, M. 2004. *Rameaux*. Le Pommier ; Serres, M. 2006. *Récits d'humanisme*. Le Pommier.

²³⁰ Benkirane, R. 2003. *Complexité, vertiges et promesses*. Dix huit histoires de sciences. entretiens avec Edgar Morin, Ilya Prigogine, Francisco Varela... Editions du pommier.

²³¹ Serres, M, Latour, B. 1992. *Eclaircissements*. Flammarion.

²³² Latour, B. Woolgar, S. 1978. *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. La découverte ; Latour, 1982, *Pasteur. La découverte* ; Latour, 1987, *La science en action. La découverte*. Latour, B. 1991. *Nous n'avons jamais été modernes. La découverte*; Latour, 1992, *Aramis ou l'amour des techniques*. La découverte ; Latour, B. 1999. *L'espoir de Pandore. Pour une vision réaliste de sciences*. La découverte.

L'émergence, contre le réductionnisme

Le concept d'émergence donc, est employé par Morin dans la grande boucle qu'il met en place au fil de son œuvre par l'intermédiaire des tomes successifs de 'la méthode'. Ce concept lui permet de montrer les limites du 'physicalisme', du 'biologisme' ou de 'l'anthropo-sociologisme'. Pour le physicaliste, tout se résumera, un jour, aux lois de la physique. Au milieu du siècle passé, ce positionnement est la norme. Hempel, dans son ouvrage traduit en français par 'éléments d'épistémologie', concluait ainsi par un chapitre favorable à cette orientation philosophique²³³. Cette version du réductionnisme a été parfaitement décrite encore récemment par Wilson (le fondateur de la sociobiologie dans les années soixante dix) '*la forme forte est la consilience totale, qui tient la nature pour organisée par des lois simples de la physique à partir desquelles toutes les autres lois peuvent être réduites*'²³⁴. Le 'biologisme' consiste à dire, par exemple, que la conscience se réduit au neuronal, ou encore que tous les comportements, y compris humains, peuvent se réduire à des explications biologiques, génétiques et (néo)darwinienne. Le 'sociologisme' prétend que tous les comportements sont au contraire façonnés exclusivement par la société et la culture, mais aussi que la connaissance scientifique n'est pas objective mais un pur reflet de la société et de ses luttes de pouvoir.

L'ambition de Morin est plutôt de trouver une voie alternative à toutes ces formes de réductionnismes. Le concept d'émergence (associé à l'auto-organisation) lui permet ainsi de reconnaître au contraire qu'il existe des qualités qui ne peuvent se réduire aux éléments. Des propriétés émergent au niveau du système. Elles ne peuvent se déduire du comportement des éléments. Ce principe, philosophiquement étendu à la réflexion en boucle de Morin (figure 6), consiste à promouvoir la 'reliance' plutôt que la réduction. On ne peut réduire l'homme ni à la physique ni à la biologie, mais on ne peut pas non plus ne pas tenir compte de ces ancrages ou enracinements. Plutôt que de chercher à réduire un niveau par le précédent, il faut plutôt tenter de lier les niveaux sans les confondre. De ce principe découle donc une vision complexe, non simpliste, de la réalité²³⁵. Cela entraîne la nécessité d'une collaboration entre les disciplines, à la fois 'dures' et 'douces', plutôt qu'une tentative de réduction des unes par les autres, pour appréhender le réel.

²³³ Hempel, K. 1972. (1966) *Eléments d'épistémologie*. Armand Colin.

²³⁴ Wilson, E. O. 1998. *Consilience. The unity of knowledge*. Abacus. La réponse à ce réductionnisme strict ne s'est pas fait attendre, et c'est Gould qui lui répond dans un ouvrage consacré à ces questions, Gould, S. J., 2003 (2001). *Le renard et le hérisson*. Seuil.

C'est ce qui amène cette réponse de Morin à Cyrulnik, dans un ouvrage sous forme d'un dialogue entre les deux chercheurs²³⁶. Lorsque Cyrulnik lui dit *'Je pense que sur le plan des idées nous avons le choix. Soit nous décidons d'être un spécialiste, une situation tout à fait confortable intellectuellement puisqu'il nous suffit d'accumuler de plus en plus d'information sur un point de plus en plus précis : on finit alors comme dit le dogme, par tout savoir sur rien. Soit nous décidons d'être généraliste, c'est à dire mettre notre nez, un peu à chaque fois, dans la physique, dans la chimie, la biologie, la médecine légale, la psychologie ; on finit alors par n'être spécialiste en rien, mais on a la meilleure opinion sur la personne qui nous fait face et qu'on appelle l'homme. Ce sont deux attitudes, deux politiques du savoir totalement différentes...(...)'*, Morin lui répond *'C'est juste, mais je repousse cette idée qu'il nous faut toujours et forcément nous situer dans l'alternative, ou bien être spécialiste et avoir un savoir pertinent, reconnu par les collègues, les universités et les institutions, ou bien être un généraliste et détenir un savoir absolument inconsistant. Il s'agit justement d'éviter cette alternative, ce qui est d'ailleurs le cas dans la science écologique, par exemple (...) d'une manière générale, dès que vous avez un objet où tous les éléments sont en relation, vous faites appel aux différents spécialistes concernés par cet objet, tout en vous cultivant, en incorporant les connaissances clés de leur disciplines.'*

En particulier pour Morin, la séparation entre les sciences de la nature et les sciences humaines et sociales et la philosophie²³⁷, doit être dépassée et la communication rétablie afin de mieux saisir la complexité des phénomènes. Morin offre quelques exemples de disciplines ainsi constituées de manière multi, poly, inter ou transdisciplinaire, comme :

- la préhistoire : *'Certains processus de complexification de champs de recherche disciplinaire font appel à des disciplines très diverses en même temps qu'à la polycompétence du chercheur : un des cas les plus éclatants est celui de la préhistoire, dont l'objet, à partir des découvertes de Leakey en Afrique australe (1959), a été l'hominisation, processus, non seulement anatomique et technique, mais aussi écologique (le remplacement de la forêt par la savane), génétique, éthologique (concernant le comportement), psychologique, sociologique, mythologique (traces de ce qui peut constituer un culte des morts et des croyances en un au-delà). Dans la lignée des travaux de Washburn et de De Vore, le préhistorien d'aujourd'hui (qui se*

²³⁵ Pour une version réaliste de cet argument, voir la réflexion du philosophe Bunge, M. 2003. Emergence and convergence. University of Toronto Press.

²³⁶ Morin, E., Cyrulnik, B. 2003. Dialogue sur la nature humaine. Seuil.

consacre à l'hominisation) se réfère d'une part à l'éthologie des primates supérieurs pour essayer de concevoir comment a pu se faire le passage d'une société primatique avancée aux sociétés hominiennes, et d'autre part aux sociétés archaïques, point d'arrivée de ce processus, étudiées par l'anthropologie. La préhistoire fait de plus en plus appel à des techniques très diverses notamment pour la datation des ossements et des outils, l'analyse du climat, de la faune et de la flore, etc. En associant ces diverses disciplines à sa recherche, le préhistorien devient polycompétent, et quand Coppens, par exemple, dresse le bilan de son travail, il en résulte un ouvrage qui traite des multiples dimensions de l'aventure humaine. La préhistoire est aujourd'hui une science poly-compétente et poly-disciplinaire. Cet exemple montre que c'est la constitution d'un objet à la fois interdisciplinaire, polydisciplinaire et transdisciplinaire qui permet de créer l'échange, la coopération, la polycompétence'

- l'écologie 'De même, la science écologique s'est constituée sur un objet et un projet poly et interdisciplinaire à partir du moment où non seulement le concept de niche écologique mais celui d'écosystème (union d'un biotope et d'une biocénose), a été créé (Tansley 1935), c'est-à-dire à partir du moment où un concept organisateur de caractère systémique a permis d'articuler les connaissances les plus diverses (géographiques, géologiques, bactériologiques, zoologiques et botaniques). La science écologique a pu non seulement utiliser les services de différentes disciplines, mais aussi créer des scientifiques polycompétents ayant de plus la compétence des problèmes fondamentaux de ce type d'organisation'.

- la cosmologie ' Ainsi en est-il du cosmos, qui avait été chassé des disciplines parcellaires, et revient triomphalement depuis le développement de l'astrophysique, depuis les observations de Hubble sur la dispersion des galaxies en 1930, la découverte du rayonnement isotrope en 1965, et l'intégration des connaissances microphysiques de laboratoire pour concevoir la formation de la matière et la vie des astres. Dès lors l'astrophysique n'est plus seulement une science née d'une union de plus en plus forte entre physique, macrophysique et astronomie d'observation ; c'est aussi une science qui a fait émerger d'elle-même un schème cognitif cosmologique : celui-ci permet de relier entre elles des connaissances disciplinaires très diverses pour considérer notre univers et son histoire, et du coup introduit dans la science (en

²³⁷ Popularisé par la thèse de Snow sur les deux cultures. Snow, P, S. 1959. The two cultures. Oxford university press.

renouvelant l'intérêt philosophique de ce problème-clé) ce qui semblait jusque là relever seulement de la spéculation philosophique. ²³⁸.

L'émergence, comme l'irruption de la nouveauté, contre le déterminisme

Ce qui fait de Morin un des artisans, au même titre que Serres²³⁹ ou Prigogine²⁴⁰, de la remise en cause d'une approche déterministe de la science, est la reconnaissance de l'interaction de l'ordre et du désordre, et de l'émergence, pensée cette fois comme l'apparition du nouveau, de la création d'ordre à partir du désordre mais aussi de l'irruption du désordre dans l'ordre. Ce principe transdisciplinaire d'interaction 'ordre et désordre', qui s'applique dans le monde physique, vivant et social, remet en question le rationnel, le déterminé, en lui juxtaposant son opposé, à savoir le désordre. Une image très parlante de cette idée de l'introduction du désordre dans le déterminisme provient de Serres. *'Les astronomes peuvent et savent calculer, à la seconde, l'instant d'une éclipse. Ils ne savent ni peuvent prévoir s'ils pourront la voir. A cet instant-là, un nuage, peut-être, s'interposera entre le phénomène et l'observateur. Ce nuage est à nouveau la circonstance. Heureuse ou malheureuse, elle accompagne, imprévue, l'instant prévu'*²⁴¹. Pour Morin, ce principe de désordre lui permet aussi d'insister sur la spécificité du 'complexe' par rapport au 'simple'. Au sein des systèmes complexes, c'est à dire comportant des propriétés organisationnelles, le désordre, le bruit sont des sources d'adaptations, de développement des aptitudes stratégiques (par opposition aux programmes), et Morin, à la suite de Von Neumann, y voit la spécificité du monde biologique, du vivant, de l'homme et du social par opposition aux machines, à l'artificiel, conçus par l'homme: *'un moteur de voiture est constitué de pièces hautement vérifiées, mais les risques de panne sont égaux à la somme des risques de détérioration de chacun de ses éléments (bougies, carburateurs, etc) ; la machine vivante, elle, bien que constituée d'éléments peu fiables (des molécules qui se dégradent, des cellules qui dégénèrent) est extrêmement fiable ; d'une part, elle est éventuellement capable de régénérer, reconstituer, reproduire les éléments qui se dégradent, c'est à dire de s'auto-réparer, d'autre part, elle est éventuellement capable de fonctionner malgré la « panne »*

²³⁸ Morin, E. Articuler les disciplines. Art. cit.

²³⁹ Serres, M. Hermès IV. La distribution. op. cit. p 228.

²⁴⁰ Prigogine, I., Stengers, I. 1978. La nouvelle alliance. Seuil.

²⁴¹ Serres, M. La distribution. Op cité. p .

*locale, c'est à dire de réaliser ses buts par des moyens de fortune, alors que la machine artificielle est tout au plus capable de diagnostiquer l'erreur puis de s'arrêter*²⁴².

L'intérêt d'une 'pensée complexe' pour la sécurité industrielle

'Le retour de l'événement' et la causalité complexe

On comprend maintenant l'intérêt des propositions d'une 'pensée complexe' pour la question des accidents majeurs et de la sécurité industrielle. Tout d'abord cette conceptualisation est une pensée de l'événement²⁴³, et participe depuis quelques dizaines années à sa réhabilitation dans les sciences humaines et sociales. Dans sa rétrospective des auteurs (philosophes, sociologues, historiens) qui participent à la 'renaissance de l'événement', en histoire, Dosse situe ainsi Morin dans son opposition au structuralisme et de nouveau à la difficulté de la réception de son message à l'époque. *'En ce début des années 1970, les sciences humaines étaient encore très largement dominées par le paradigme structuraliste et l'événement y était proscrit, chassé des logiques répétitives que l'on cherchait à faire prévaloir. Considérer la notion d'événement en 1972 (...) c'était aller à contre courant de la vogue intellectuelle dominante de l'époque, le structuralisme'*²⁴⁴. Pour Morin en effet, les ruptures, le nouveau, l'émergence sont parties intégrantes du réel. La causalité complexe, non linéaire, est fondamentale pour le comprendre. Au lieu du déterminisme strict, de l'ordre implacable, horloger, hérité de la mécanique de l'univers de Newton et érigé en dogme par le démon de Laplace, c'est l'événement et le désordre qu'il faut réintroduire au sein des régularités. En effet, il n'y a pas de nouveauté, pas de création sans hasard, sans désordre. Pourtant, dans le monde de Newton et de Laplace, il n'y a pas de place pour l'imprévisible. Le hasard y est chassé car considéré comme 'non scientifique'. Or les histoires de l'univers (théorie du big bang et de l'expansion du cosmos) et de la vie (extinctions, bouleversements au sein de l'évolution, altérations génétiques) telles qu'enseignées aujourd'hui par les sciences (physiques, biologiques), incorporent maintenant aussi les événements, les ruptures, les émergences, les bifurcations, les possibilités d'apparition du nouveau. Cette situation constitue donc également un rapprochement inattendu avec les sciences de l'homme, les sciences humaines, les sciences sociales,

²⁴² Morin, E. le paradigme perdu, la nature humaine. Op. cité.

²⁴³ Morin, E. 1972. Le retour de l'événement. Communication. Vol 18. n°1. 6-20. Morin, E. 1972. L'événement sphinx. Communication. Vol 18. n°1. p 173-192.

l'histoire (crises, révolutions). Jusqu'alors soumises à l'avancée des sciences physiques comme la norme à suivre pour obtenir les visas de scientificité, cette situation les libère complètement des carcans d'une pensée déterministe et réductionniste, imposée de l'extérieur. Comme le remarque Dosse, jusque là '*les sciences humaines, qui ont cherché à se constituer autour de la mise en évidence de permanences, d'invariants, sinon de lois, ont longtemps considéré l'événement comme élément perturbateur, à faible signification, qu'il convenait de réduire au nom d'une démarche scientifique*'²⁴⁵.

La pensée de la complexité réintroduit ainsi l'imprédictibilité dans le cours de l'histoire (l'Histoire d'une manière générale, 'cosmique', pas seulement l'histoire des hommes 'acosmique'). Les phénomènes de rétroaction positive ou négative, d'amplification ou d'atténuation relativise l'idée simpliste d'une cause et d'un effet linéaires. C'est par la présence d'une très grande intrication et réseaux de causalités circulaires et complexes que se niche les potentialités d'événements, mais aussi de crise²⁴⁶. On sait depuis quelques années que nombre d'accidents sont aussi les résultats de causalités hyper complexes, de phénomènes d'émergence, introduits par les transformations, évolutions et multiples changements des systèmes affectant les capacités de gestion de la sécurité. Ceci nécessite des modes d'appréhension plus sophistiqués que les approches traditionnelles, comme le contraste proposé dans la figure 8 le montre, entre, à gauche une arborescence d'analyse technique, et à droite, les causalités complexes utilisées pour témoigner d'accidents étudiés sous l'angle 'organisationnel' ; C'est aussi ce que j'avais essayé de montrer dans la représentation graphique du premier chapitre.

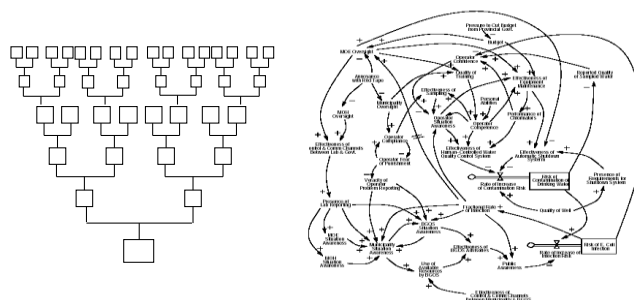


Figure 8. *Contraste dans les modes de représentation*

²⁴⁴ Dosse, F. 2010. Renaissance de l'évènement. Un défi pour l'historien : entre sphinx et phénix. Op cité. p 245.

²⁴⁵ Dosse, F. 2010. La renaissance de l'évènement. Un défi pour l'historien : entre sphinx et phénix. Op cité. p 4.

²⁴⁶ Morin, E. Pour une crisologie. Art. cité.

Contre le réductionnisme

Ensuite, cette pensée est non réductionniste. Or il a toujours été indispensable pour comprendre les accidents et la sécurité industrielle, comme certains auteurs l'ont explicitement formulé, de tenter d'articuler plusieurs points de vue *'l'étude de la nature et de l'origine des catastrophes est le type d'investigation qui est naturellement multi disciplinaire et la coopération entre des psychologues et sociologues, épidémiologues, ingénieurs et gestionnaires est nécessaire pour comprendre les liens compliqués entre les différents types et niveaux d'événement qui contribuent à la genèse des accidents.'*²⁴⁷. C'est aussi la position qui a été formulée par certains auteurs du domaine de la fiabilité des organisations, au cours des dernières années. Ils indiquent les difficultés du dépassement du point de vue réductionniste car *'les méthodologies que l'on peut appliquer à ces quatre niveaux appartiennent à des champs et des disciplines différents (psychologie, ergonomie, psycho sociologie, sociologie, économie, science politique, gestion et droit) pour lesquels une formation globale n'existe pas. Le chercheur en sciences sociales possède rarement toutes ces compétences. C'est un problème de taille parce qu'on comprend bien qu'aujourd'hui pour progresser dans la connaissance des facteurs de risques organisationnels, il importe de disposer d'outils théoriques et de méthodes d'analyse capable d'embrasser et de lier les différents niveaux'*²⁴⁸. C'est tout à fait ce que mon expérience d'investigation m'avait amené à constater.

L'introduction du chercheur (en sécurité industrielle) dans la société

Enfin, cette conceptualisation de 'pensée complexe' insiste sur les questions d'objectivité, de valeur ainsi que d'éthique de tout développement scientifique. Toute production intellectuelle, tant dans le domaine des sciences 'dures' que des sciences 'douces', est d'une part historiquement située, non définitive, mais également, a des répercussions dans le monde. Il n'est plus vraiment adéquat de faire de distinction entre la dimension cognitive et morale des productions scientifiques (et technologiques). Ce dernier point a un statut particulier dans les sciences sociales, comme cela a été identifié par le sociologue Giddens²⁴⁹

²⁴⁷ Turner, B, A. Man made disasters. The failure of foresight. Op cité.

²⁴⁸ Bourrier, M. et H. Laroche. 2001. « Risque et défaillance : les approches organisationnelles », dans R. Amalberti, C. Fuchs et C. Gilbert (dir.), *Risques, erreurs et défaillances : approche interdisciplinaire*, Grenoble, Publications de la MSH-Alpes, p. 15-51.

²⁴⁹ Giddens, A. 1987 (1984). La constitution de la société. Presses universitaires de France ; Giddens, A. les conséquences de la modernité. op cité.

ou encore le philosophe Hacking²⁵⁰. Ces deux chercheurs considèrent en effet comme intrinsèque l'effet de rétroaction qu'opère toute connaissance du 'social' sur le social lui-même²⁵¹. Pour Giddens, il s'agit d'une 'double herméneutique', dans le sens où le chercheur produit des connaissances qui seront elles mêmes interprétées et transformeront le milieu à partir duquel elles ont été extraites. Les sciences sociales ont, vu sous cet angle, donc largement contribué à façonner le monde tel qu'il est aujourd'hui, au même titre que la technologie par exemple.

Cette question est évidemment centrale pour les questions de sécurité industrielle et d'accident. Comment les connaissances produites dans ces domaines (les modèles de sécurité, les conclusions de commissions d'enquête, etc) vont-elles cheminer à 'l'extérieur' ? Cette question est d'une très grande importance puisque si l'on souhaite faire progresser la sécurité industrielle, il faut s'interroger sur la pertinence des modèles produits pour ceux qui sont susceptibles d'en bénéficier, ce qui implique de réfléchir sur les types de recherche, entre finalités descriptives, évaluatives (normatives et prescriptives) ou d'action. Ce problème découlait en fait également de mon expérience d'investigation à l'issue de laquelle je me posais la question suivante '*Qu'apprennent donc les destinataires de mon rapport d'investigation ?*' De mon côté, j'avais appris énormément (sur la manière de conduire des investigations, d'interroger différentes catégories d'employés, des opérateurs aux directeurs du groupe, de mobiliser les concepts de la littérature scientifique, sur les contrastes entre les démarches ingénieurs et démarches en sciences sociales etc) mais certainement pas les mêmes choses que les personnes de l'entreprise sinistrée.

Au-delà de cette dimension 'cognitive', le rapport, une fois émis, que je le veuille ou non, allait être utilisé, d'une certaine manière. J'avais entendu dire, sans pouvoir le vérifier, que son épaisseur et sa complexité avait servi d'argument pour remettre en cause par la direction du groupe lui-même le redémarrage de l'usine. Le rapport en effet laissait entendre qu'il y avait énormément de choses à réaliser pour relancer la production et qu'ils ne savaient pas comment s'y prendre. Vrai ou non, ceci illustre parfaitement l'implication aussi morale de ma contribution. Bien sûr à ce moment je n'avais pas le recul suffisant pour envisager cet aspect de l'investigation, qui est au moins aussi important que l'interprétation du cas lui-même. Ceci m'a amené par la suite à m'interroger sur les différentes configurations

²⁵⁰ Hacking, I. 1999 (1996) entre science et réalité. La construction sociale de quoi ? La découverte.

²⁵¹ Ce qui revient pour la sociologie à s'interroger sur sa finalité, voir Lahire, B (ed). 2004. A quoi sert la sociologie ? La découverte.

d'investigation des accidents propices à des situations d'apprentissages. On retrouve là des problèmes assez similaires à ceux posés par la sociologie des sciences en ce qui concerne les 'modes 1' et 'mode 2' de recherche scientifique²⁵². Ce dernier point ramène aussi aux distinctions qui sont apparues lors de la présentation des différentes contributions disciplinaires, entre finalité descriptive et prescriptive (chapitre 3).

Mais remettre en cause l'objectivité en réintroduisant la subjectivité du chercheur est aussi l'occasion de soulever ces dimensions non empiriques, d'ordre philosophique ou paradigmatique qui colore l'interprétation des accidents ou de la sécurité industrielle. Il en est ainsi par exemple de la question de l'accident normal. Il semble difficile de trancher aujourd'hui. Les accidents industriels continuant à survenir, il apparaît bien difficile de trancher sur le fait de savoir si on peut les éviter ou non²⁵³. Ce n'est plus seulement sur le plan des données que cette question se joue mais sur un certain nombre d'idées que se font les uns et les autres, par exemple sur la possibilité ou non de contrôler les développements technologiques²⁵⁴, ou encore sur la place de l'événement dans la trame du réel²⁵⁵.

De la 'méta-catégorie épistémique' au 'style'

A l'issue de ce chapitre sur la complexité, il apparaît donc une diversité d'usage de ce terme. De la vision technique, ergonomique, gestionnaire ou sociologique, puis philosophique de la complexité, on constate des significations quelque peu différentes de l'expression, même si elles possèdent des points communs, étant donné des sources d'inspiration partagées, notamment dans la cybernétique, théorie générale des systèmes ou encore des principes d'auto-organisation. J'ai cherché à introduire une pensée 'philosophico-épistémologique' de la complexité, qui contribue grandement à orienter les problèmes d'investigation d'accident et de sécurité industrielle. Jusqu'à présent très peu mobilisée dans les recherches, elle permet pourtant un éclairage pertinent. En amendant les piliers sur lesquels la 'science normale' opère, le déterminisme, le réductionnisme, la causalité (linéaire) ainsi que l'objectivité, sur la base d'une boucle liant nature et culture, sujet et objet (figure 7), Morin fournit selon

²⁵² Gibbons, M., Limoges, C., Notowny., Schwartzman, S., Scott, P., Trow, M. The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies, op cit; Nowotny, H., Scott, P., Gibbons, M., Repenser la science. Op cit.

²⁵³ Rijkman, J. 2003. From deadlock to dead end: the normal accident-high reliability debate revisited. Journal of contingencies and crisis management. Volume 11. Number 1. March 2003.

²⁵⁴ Feenberg, A. 1999. Questioning technology. Routledge.

²⁵⁵ Le grand succès de l'ouvrage de Taleb, publié peu de temps avant la crise financière de 2008, est un bon exemple de positionnement sur cette question de l'événement. Taleb, N. N. 2007. The black Swan. The impact of the highly improbable. Pinguins books.

Vergnioux, une ‘méta catégorie épistémique’²⁵⁶. Il entend par là, une catégorie qui permet d’organiser le savoir, en reliant de façon transdisciplinaire différents niveaux de ‘réalité’, et de proposer par conséquent des pistes pour penser globalement notre rapport au monde.

Mais il me semble que la démarche cognitive, en arrière plan, qui amène Morin à la ‘pensée complexe’ peut se rapprocher aussi, d’ un ‘style’, au sens qu’il a pris dans les études d’historiens et philosophes des sciences, comme Fleck²⁵⁷, Crombie²⁵⁸ ou Hacking²⁵⁹. Beaucoup plus limité chez le premier auteur dans sa localisation historique ainsi que dans sa généralité, le style est beaucoup plus englobant pour les deux autres et correspond à une façon de faire de la science. Ainsi, pour Crombie, la science occidentale, ancrée dans l’héritage scientifique et philosophique grec, a successivement fait émerger six styles principaux :

- a) La méthode élémentaire de postulation illustrée par les sciences mathématiques grecques.
- b) La mise en œuvre de l’expérimentation à la fois pour contrôler la postulation et pour explorer par l’observation et la mesure.
- c) La construction par hypothèse de modèles analogiques.
- d) La mise en ordre du divers par la comparaison et la taxonomie.
- e) L’analyse statistique des régularités dans les populations et le calcul des probabilités.
- f) La dérivation historique propre au développement génétique.

Hacking précise que tous ces styles ne sont pas incompatibles, et qu’une science peut en mobiliser plusieurs en même temps. D’autre part, il en a repéré un septième, qui est le style de laboratoire, qui fait intervenir l’usage des instruments technologiques, incorporant une théorie. Un style caractérise donc une certaine manière de ‘faire’ ou de ‘pratiquer’ la science, de penser le rapport à la théorie, à l’expérimentation, aux disciplines, à la mathématisation, à la logique etc. Je crois intéressant de rapprocher ce qui a permis à Morin d’élaborer sa réflexion sur la complexité à une forme de ‘style’. Sous jacent à la démarche de Morin se trouve en effet une conception du savoir qui consiste à explorer les disciplines dans un effort de ‘reliance’, dans un objectif spécifique.

²⁵⁶ Vergnioux, A. 2003. L’explication dans les sciences. De Boeck université.

²⁵⁷ Fleck, L. 2008 (1935) Observation scientifique et perception en général. Dans Braunstein, JF (textes réunis par) 2008. L’histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses. Vrin.

²⁵⁸ Crombie, A. 1996. Styles et traditions de la science occidentale. Alliage. 26. Dans Braunstein, JF (textes réunis par) 2008. L’histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses. Vrin.

²⁵⁹ Hacking, A. 2008. (1992) Style pour historiens et philosophes. Dans Braunstein, JF (textes réunis par) 2008. L’histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses. Vrin.

En fait, Morin fait souvent référence, pour présenter les principes sur lesquels reposent son travail, à son ouvrage consacré à la mort, publié initialement dans les années cinquante²⁶⁰. Cet ouvrage est tout à fait représentatif de ce ‘style’ qui caractérise l’approche de Morin. Dans ce livre, opérant une vaste boucle d’investigation en biologie, en paléanthropologie, en anthropologie, en psychologie, en sociologie, en philosophie, il repère les diverses conceptions de la mort afin de chercher à en rendre compte. A cette occasion il participe à faire prendre conscience de la possibilité d’une discipline alors inexistante, la ‘thanatologie’, qui essaie de circonscrire un objet qui gagne à ne pas se réduire à un seul angle disciplinaire. Cet objet de recherche ‘hybride’ traverse de nombreuses disciplines. Non pas que l’anthropologie ne peut étudier la mort, au même titre que la biologie les mécanismes de mort cellulaire ou encore la philosophie d’explorer ce thème avec ces propres outils, comme l’existentialisme. Mais cet exemple, cette investigation sur le thème de la mort permet de caractériser un ‘style’ qui consiste à chercher à articuler, pour un sujet donné, différents apports disciplinaires afin d’accéder à une vision riche, complexe, du sujet, quitte à faire émerger à cette occasion un champ qui possède alors une forme d’indépendance, même si celle-ci doit rester ouverte. Dans le contexte actuel d’une multitude de contributions disciplinaires, cette stratégie de ‘reliance’ me semble donc représentative d’un certain ‘style’, comme une adaptation à la situation contemporaine des sciences²⁶¹.

²⁶⁰ Morin, E. 1951. L’homme et la mort. Seuil.

²⁶¹ On trouve ainsi ce ‘style’ de recherche aisément dans de nombreux champs scientifiques, en parcourant les domaines comme les sciences de la terre et de l’univers (Daniel, JY. 2006. (dir) Sciences de la terre et de l’univers. Vuibert), ou l’étude des scénarios d’hominisation (Coppens, Y., Picq, P. (dir) 2002. Aux origines de l’humanité. 2 volumes). Dans un tout autre domaine, celui des couleurs, on en repère également sa trace ‘*Les couleurs du physicien ou du chimiste ne sont donc pas celle du neurologue ou du biologiste. Mais ces dernières ne sont pas non plus celle de l’historien, du sociologue, de l’anthropologue*’ (Pastoureau, M. 2010. Les couleurs de nos souvenirs. Seuil. En particulier le dernier chapitre ‘Qu’est ce que la couleur’ p 240). Au plus proche du thème de la sécurité industrielle, ce sont les développements de l’ergonomie qui illustrent parfaitement ce ‘style’. Leplat le résume très bien ‘*le domaine propre de l’ergonomie est celui de l’articulation des différentes vues disciplinaires prises sur une situation et que cette articulation, cette intégration, fait émerger des problèmes et une structure qui ne sont plus ceux des disciplines-sources.*’ Leplat, J. 2003. Quelles évolutions en ergonomie ? Conférence introductive. 38^{ème} congrès de la Self. Paris.

Chapitre 4

Un modèle hybride de sécurité industrielle²⁶²

Des éléments de base pour l'élaboration du modèle hybride

Dans les chapitres précédents ont été successivement introduit :

- une connaissance empirique et approfondie de la genèse d'un accident majeur sous l'angle 'articulé', cette connaissance est indispensable à l'évaluation de la sécurité industrielle en mode normal, pour orienter le regard²⁶³,
- l'identification des différentes disciplines 'sources' pour l'élaboration d'un regard articulé, autant pour les investigations d'accidents que pour l'évaluation en mode normal,
- la complexité comme 'méta-catégorie épistémique' ou un 'style' pour penser, d'une part, ensemble, les différentes disciplines dans le projet d'évaluation et, penser la nature événementielle, émergente, d'autre part, des accidents et de la sécurité industrielle.

Maintenant que ces chapitres ont apporté les éléments de base pour passer à l'évaluation de la sécurité industrielle en mode normal, le chapitre suivant est consacré à l'introduction d'une proposition de modèle permettant de mobiliser plusieurs regards disciplinaires à ces fins d'évaluation. En effet, si plusieurs regards sont possibles, ils doivent cependant s'articuler dans un cadre qui permet leur association de manière cohérente pour l'objectif recherché. Si au même titre que d'autres systèmes complexes, le regard porté est nécessairement multi ou pluri disciplinaire, il n'en demeure pas moins qu'il faut que ces différents regards se rattachent à un cadre commun afin de pouvoir les mobiliser de manière articulée et aboutir à un regard interdisciplinaire. Pourtant, à la lecture de toutes les études qui ont été mentionnées dans la partie précédente, aucune ne fournit un modèle qui soit satisfaisant.

²⁶² Ce chapitre repose sur le cinquième article Le Coze, JC. A proposition of hybrid model of industrial safety. En cours de révision pour publication dans Safety Science.

²⁶³ Comme l'ont bien précisé Bourrier et Laroche '*Il faut ensuite déterminer où porter son regard (...) Il est difficile d'étudier le fonctionnement entier d'une organisation ou d'un système d'organisations. Il faut en quelque sorte faire des*

Modèles de la ‘cognition’, des ‘installations’, de la ‘régulation’

Il existe certes des modèles de la cognition qui comportent un caractère générique et normatif comme souhaité dans le cadre d’une méthode d’évaluation, mais ils ne couvrent pas assez de dimensions étant donné leur focalisation sur l’homme plutôt que sur la technologie et l’organisation, ou la régulation. Ils peuvent servir néanmoins d’inspiration pour une tentative plus globale (ce point est discuté dans la partie suivante). En ce qui concerne la technologie, les modèles de sécurité génériques et normatifs sont aujourd’hui principalement basés sur le concept de barrières, comme il a été indiqué dans la rétrospective. La traduction directe à l’homme et l’organisation de ces principes de barrières (l’exemple de Reason est le plus connu²⁶⁴) n’est possible qu’avec d’importantes limitations, en particulier en ce qui concerne l’absence d’aspect dynamique d’une telle représentation, mais également l’ambiguïté de certains de ces éléments. Bien sûr, aucun modèle simplifié n’est exempt de limites, mais que représentent concrètement, par exemple, les trous dans les barrières (dans les ‘tranches de gruyère’ du modèle)? Si l’on affirme par exemple qu’une procédure est une barrière, que signifie le trou dans la procédure ?

Enfin, les études sur les politiques publiques dans le cadre de la régulation des risques, qui proposent certaines conceptualisations avec un caractère générique²⁶⁵, ne sont, dans un sens, que ‘périphériques’ par rapport à la sécurité industrielle et aux accidents majeurs. Un ‘régime de régulation des risques’ ne peut à lui seul expliquer un certain niveau de sécurité industrielle du couplage installations/organisations ou encore un accident majeur, même s’il peut y contribuer. Ce point a été bien noté par Borraz et Gilbert ‘*Un certain nombre de travaux rendent compte de la maîtrise des risques moins par un encadrement via des règles, normes et procédures édictées par les pouvoirs publics, que par les capacités dont témoignent les opérateurs, collectifs de travail et organisations impliqués dans des activités dangereuses (...) Dit autrement, la gestion publique des risques dépend souvent des initiatives propres des gestionnaires d’une activité afin de la rendre effective*’²⁶⁶. De la même manière que pour les modèles de la cognition, ce regard est donc nécessairement limité.

choix et décider d’approcher la réalité du fonctionnement de l’organisation par une série de coupes, de sondages et d’angles d’observation. Bourrier, M. et H. Laroche. Risque et défaillance : les approches organisationnelles. Art. cité.

²⁶⁴ Reason, L’erreur Humaine. Op cit ; Reason, J. Managing the risk of organizational accidents. Op cit.

²⁶⁵ Hood, C., Rothstein, H., Baldwin, R., Rees, J., Spackman, M. Where risk society meets the regulatory state: exploring variations in risk regulation regimes. Op cit.

²⁶⁶ Borraz, O., Gilbert, Quand l’état prend des risques, dans Borraz, O. art. cit.

Des tentatives ‘interdisciplinaires’ ou ‘articulées’ précédentes intéressantes mais insatisfaisantes

En ce qui concerne les modèles qui ont eu des ambitions interdisciplinaires, les propositions ne sont pas convaincantes jusqu’à présent, pour l’objectif d’évaluation. La tentative probablement la plus connue en sécurité industrielle est celle de Rasmussen à la fin des années quatre vingt et au cours des années quatre vingt-dix²⁶⁷. Elle figure parmi les contributions les plus influentes de ce domaine de recherche depuis les quinze dernières années. Son modèle du système ‘socio-technique’ correspond à un ‘emboîtement de niveaux’ allant des autorités de contrôles jusqu’aux installations, la colonne représentant ces ‘niveaux’ étant soumise aux évolutions du marché, de la technologie, du niveau d’éducation du personnel ou encore de l’opinion publique. Sur la figure, chacun des ‘niveaux’ correspond à des disciplines de recherche spécifiques (figure 9).

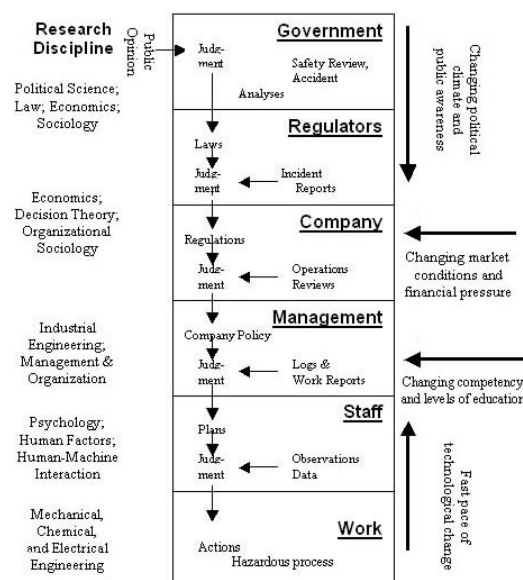


Figure 9. Système socio technique de Rasmussen

Bien qu’attrayant, ce modèle n’est qu’une proposition conceptuelle qui n’a pas vraiment été déployée empiriquement. Cela découle de l’orientation de type ‘cybernétique’ que l’auteur impose à son effort de modélisation ‘*Pour ce problème, un tel modèle ne peut pas être construit par une accumulation d’approches (bottom-up) tirées de la recherche dans des*

²⁶⁷ Ce modèle est publié initialement en 1989 dans un document de travail sur la base de ‘workshops’ internationaux (sponsorisés par la ‘world bank’) à la fin des années 80, mais il est surtout présenté dans un article programmatique à la fin des années quatre vingt dix, constituant alors une des contributions de références du champ (Rasmussen J. Risk management in a dynamic society: a modeling problem. Art.cité), puis développé dans un ouvrage, Rasmussen, J., Svedung, I. Proactive risk management in a dynamic society. Op. cité.

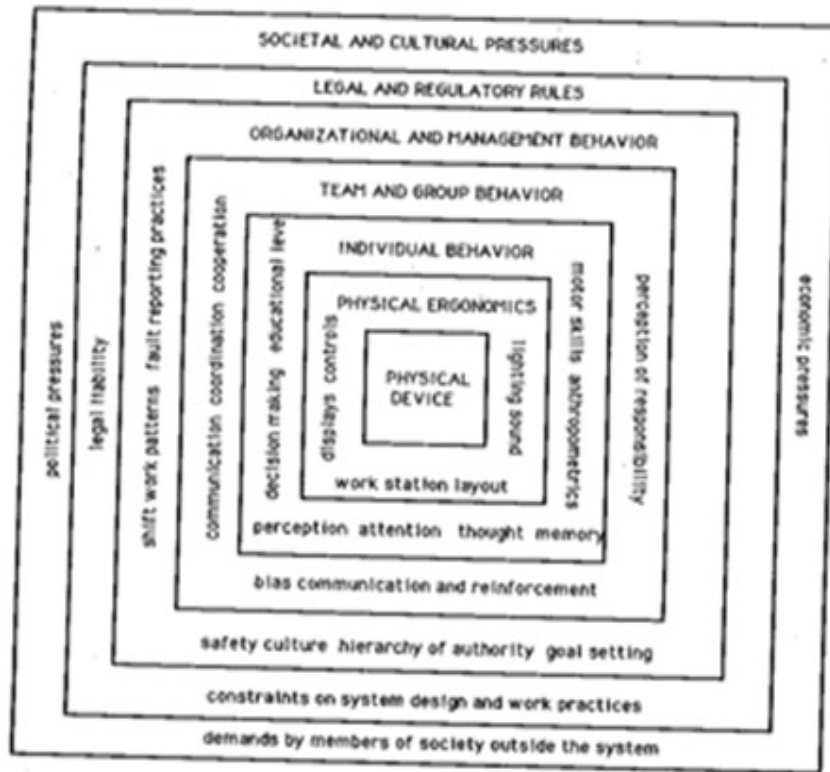
disciplines prises individuellement, mais plutôt par une approche « top-down », une approche système, basée sur le concept de la ‘control theory’. Malgré une tentative de la part de Vicente²⁶⁸ d’opérationnaliser ce modèle, sa traduction n’approfondit pas, de mon point de vue, assez les disciplines mobilisées aux différents ‘niveaux’ du modèle.

Les autres essais de modélisations systémiques, comme ceux de Moray²⁶⁹ (ergonome), à la même période, ou d’Evan et Manion²⁷⁰ (sociologues), plus récemment (déjà mentionné dans les chapitres précédents), ne sont pas non plus tout à fait concluants pour l’objectif de ma recherche (figure 10).

²⁶⁸ Vicente, K. The Human factor. Op. cité.

²⁶⁹ Moray, N. 1994. Error reduction as a system problem, in Bogner, M, S (ed) Human error in medicine. Erlbaum; Moray, N. 2000. Culture, politics and ergonomics. Ergonomics. vol.43. n°7. 858-868.

²⁷⁰ Evan, Manion. Minding the machines. Preventing technological disasters. Op. cit.



	Internal Systemic Factors	External Systemic Factors
Technological Systems	Technical Design Factors	Human Factors Factors
Social Systems	Organizational Systems Factors	Socio-Cultural System Factors

Figure 10. Modèles de Moray (à gauche), d'Evan et Manion (à droite)

De ces deux modèles, c'est le dernier qui fournit le plus de matériaux empiriques, sur la base d'études de nombreux accidents. Mais pourtant, il y manque une dimension dynamique, de relations plus spécifiques entre les différentes dimensions contribuant à la sécurité. Il est par ailleurs davantage tourné vers l'investigation d'accident plutôt que sur l'évaluation de la sécurité industrielle en mode normal. De mon point de vue, ce sont les travaux menés sur le plan de l'organisation, par leur caractère central par rapport à la sécurité industrielle (ils doivent en effet chercher à lier plusieurs dimensions), qui sont en mesure de fournir l'armature de base sur laquelle vont venir se greffer les savoirs spécifiques qui ont été parcourus dans la section précédente. Mais cette étape nécessite un questionnement sur la notion même de modèle. Les travaux de l'ergonomie cognitive sont de ce point de vue une source d'inspiration, qui est mobilisée ici.

Eléments sur les modèles

Qu'est ce qu'un modèle ? La réponse à une telle interrogation pourrait certainement devenir très compliquée. On pourrait par exemple commencer par évoquer la relation entre modèle et théorie. Qu'est-ce qu'un modèle par rapport à une théorie ? On pourrait aussi proposer de positionner le modèle en fonction de son rapport à l'induction, la déduction ou l'expérimentation mais aussi de la finalité du modélisateur. Autant de questions auxquelles la philosophie et l'histoire des sciences fourniraient de nombreux éléments de réponse, au regard de la diversité des phénomènes étudiés. Sans entrer dans de telles investigations philosophiques ou historiques, on peut cependant retenir qu'un modèle est une construction symbolique (mathématique, littérale, graphique ou encore informatique) pour décrire, expliquer ou comprendre et prédire le comportement d'un phénomène²⁷¹.

On pourra, en rapport à la question de la relation entre modèle et théorie, distinguer le modèle de cette dernière par son ambition moindre, par sa dimension peut-être plus locale, sans pour autant qu'une telle proposition ne soit entièrement satisfaisante au vu du problème qu'implique, dans les sciences, la relation du sujet et de l'objet. Quant aux rôles de l'induction, de la déduction, de l'abduction (raisonnement analogique) ou de l'expérimentation dans l'élaboration des modèles, on peut considérer qu'elles dépendent fortement du domaine étudié, des sciences de la nature, à la biologie en passant par les

²⁷¹ Le Moigne, J-L. 1999. La modélisation des systèmes complexes. Dunod.

sciences humaines et sociales. En ce qui concerne la finalité des modèles, cette question est centrale, car un modèle ne peut pas être découplé de sa finalité. La valeur (cognitive) d'un modèle est liée aux objectifs qui lui sont assignés. Ce point est spécifiquement discuté dans la partie suivante, en prenant appui sur les travaux de l'ergonomie cognitive.

Modèles de la tradition de l'ergonomie (cognitive)

Modèle local, modèle générique

Comme indiqué dans la rétrospective, il existe une riche tradition de modélisation dans le domaine de l'ergonomie (psychologique ou cognitive)²⁷², et en particulier dans le domaine de la sécurité (notamment, comme il a été discuté, par rapport à la question des 'erreurs'). Certains auteurs ont discuté de différentes distinctions caractéristiques. Parmi celles-ci, la distinction concernant modèle local et modèle générique est intéressante. Reason la commente de cette manière : *« Pour que la psychologie cognitive essentiellement académique des années 60 et 70 avance, il fallait conduire des expériences susceptibles de départager deux théories à la mode à l'époque, voir plus, (mais généralement deux) dans le cadre d'un paradigme bien établi. De cette démarche « binariste », il en résultat « une base de donnée quantitatives très élaborée sur une grande quantité de phénomènes, grâce à de nombreuses théories locales » (Card et al., 1983). (...) pendant les quelques années qui nous précèdent, un petit nombre de psychologues de la cognition, ainsi qu'une lignée plus récente d'auteurs qui se définissent comme chercheurs et ingénieurs de la cognition, sont à l'origine d'une tentative de production de modèles de l'activité « globale ». Ces modèles tracent les grandes lignes des propriétés essentielles du système de traitement de l'information humain, dans des termes délibérément généraux. Pour des raisons de simplicité, on les distinguera en adoptant les termes de modèles cadres et modèles locaux »²⁷³. Amalberti reprendra cette distinction dans ses propres développements, « Ces modèles à caractère locaux s'opposent à ce que Reason (1988) appelle des modèles cadres, plus descriptifs, plus synthétiques, plus paradigmatiques aussi, qui s'inspirent de plusieurs modèles locaux pour modéliser un phénomène cognitif global, la production d'erreur par exemple, mais sans reprendre tous*

²⁷² Sperandio, J.-C. 2003. Modèles et formalismes, ou le fond et la forme. In: Sperandio J.-C., Wolf M. Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie. Le travail humain. Presses Universitaires de France ; Leplat, J. 2003. La modélisation en ergonomie à travers son histoire. In: Sperandio, J.-C., Wolf, M. (Eds.), Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie, Le travail humain, Presses Universitaires de France, ou encore Amalberti, R., . 1987. Modèles dans le travail...

²⁷³ Reason, J. L'erreur humaine. Op cité. 82-83

les détails ni toute la formulation des ces modèles locaux, ni visée à possibilité de réelle validation expérimentale. Le but de ces modèles cadres est double :

- *heuristique d'une part, car ils sont là pour susciter d'autres recherches, d'autres réflexions,*
- *univers de référence d'autre part, car bien que distincts des modèles locaux, ces modèles cadre leur sont paradoxalement indispensables comme cadre d'interprétation des résultats (...)*²⁷⁴

Cette séparation permet à ces travaux de promouvoir un type d'approche, fondé sur une appréhension globale de la cognition dans la perspective d'une évaluation des risques par l'intermédiaire des 'erreurs' (ou de la dynamique de leur gestion par les individus), non pas par morceaux mais par l'articulation de plusieurs de ses dimensions constitutives. Pour Reason (1988), ces dimensions impliquent, entre autre :

- la mémoire (long terme, court terme),
- l'architecture cognitive des décisions (centralisée, décentralisée, en série ou en parallèle),
- la représentation des connaissances (schémas, scripts, frames etc),
- les modes de contrôles (automatique ou attentionnel) ou encore,
- la taille de l'espace de travail (et type de mémoire).

Reason concevait son article comme un 'guide d'utilisateur' par rapport à différentes contributions d'auteurs et leurs préférences sur ces dimensions alors identifiées. Au final, il proposera un modèle dont il fournit l'historique de la genèse dans son ouvrage²⁷⁵.

Modèle descriptif, modèle normatif (d'évaluation).

Au-delà de cette première distinction entre modèle 'local' et 'cadre', la question autour des modèles descriptifs et normatifs a également été discutée dans le domaine des facteurs humains. Etant donné que la raison d'être de l'ergonomie est l'adaptation du travail à l'homme, et de manière plus spécifique dans le domaine des risques, la gestion ou réduction des erreurs pour le maintien de la sécurité, l'ergonomie se distingue par son projet davantage que par son objet. Son projet est celui d'agir, et pas uniquement de 'connaître pour

²⁷⁴ Amalberti, R. La conduite des systèmes à risques. Op cité. p 19.

connaître'. Certains ont pu la voir comme un art plutôt que comme une science (ce qui pose la question de la définition de la science, question à laquelle il devient vite problématique de répondre simplement²⁷⁶). Cette finalité contraint les modélisations produites car elles doivent avoir en tête la représentation à la fois pour l'évaluation et à la fois pour l'action. La frontière entre 'savoir pour savoir' et 'savoir pour agir' n'est pourtant pas si évidente, selon Amalberti²⁷⁷ *'le danger fut un moment de séparer les modèles pour comprendre et des modèles pour agir. Bisseret souligne combien ce débat fut stérile et conclut qu'il ne faut pas séparer les deux approches mais qu'il faut pratiquer une psychologie pour comprendre avec un minimum de précautions pour qu'elle puisse servir d'application'*. Ce principe, selon lequel il faut maintenir à la fois l'objectif de compréhension, de description ou d'explication et l'objectif d'évaluation et d'action est un point clé, mais toujours difficile à atteindre. Les efforts consacrés à une description ou explication approfondie peuvent éloigner de l'action et l'inverse est aussi vrai.

Mais c'est en recherchant à la fois un caractère générique (ou cadre) et normatif que l'ergonomie cognitive (ou psychologique) a pu fournir les modèles qui ont servi de référence à la pratique ainsi qu'également aux développements plus conceptuels. Un tel positionnement est-il envisageable pour un modèle 'hybride'? Et quelles dimensions spécifiques au 'système', au même titre que les dimensions spécifiques à la cognition que sont la mémoire (long terme, court terme), l'architecture cognitive des décisions (centralisée, décentralisée, en série ou en parallèle) etc ; peut-on mobiliser et articuler vers un modèle de la sécurité (ou des accidents)? Cette question a été posée par Bourrier²⁷⁸, qui proposait un parallèle entre facteurs humains et facteurs organisationnels *« Ainsi un tableau des correspondances entre « étapes cognitives » (planification, étape, exécution), « niveaux d'activités » (mobilisation de routines, de règles ou de connaissance déclaratives) et « formes d'erreurs » (ratés, lapsus et fautes) établi par Rasmussen et augmenté par Reason existe dans le champ de connaissances de l'erreur humaine. Hélas, pareille tentative n'a pas vu le jour pour faire le lien notamment entre ce tableau « cognitif » et un tableau plus sociologique des formes organisationnelles (...) On pourrait multiplier les exemples et dresser un panorama des défaillances organisationnelles, étudiées à ce jour. Cette tentative*

²⁷⁵ Reason, J. L'erreur humaine. Op cité.

²⁷⁶ Pour des questions d'ordre épistémologique en ergonomie, voir Daniellou, F. 1996. L'ergonomie en quête de ces principes. Editions Octares

²⁷⁷ Amalberti, R. La conduite des systèmes à risques, op cité. p 18.

²⁷⁸ Bourrier, M. 2003. Facteurs Organisationnels: Du neuf avec du vieux, Réalités industrielles, Revue Annales des Mines, n° spécial Sciences et génie des activités à risque, Mai, 19-22.

resterait toutefois en partie vaine tant il manque à la fois des travaux comparatifs (à la fois inter-industries et internationaux) et des efforts théoriques visant à mieux conceptualiser les types de dérèglements organisationnels auxquels se préparer».

Vers un modèle ‘hybride’

Ce même type de débat n’a en effet pas vraiment eu lieu, ou très peu²⁷⁹, en ce qui concerne l’organisation ou les approches de type ‘articulées’, mais doit-on encore être aussi pessimiste aujourd’hui ? Il est vrai qu’on est loin (et probablement pour longtemps) d’un lien direct entre cognition (et type d’erreurs) et organisation. Pourtant on peut se satisfaire des éléments empiriques et conceptuels déjà disponibles pour poser les bases d’un modèle générique et normatif, qui aura une certaine portée, peut être limitée, mais qui formulera néanmoins quelques bases dans des buts d’évaluation. Au-delà de ce diagnostic de faisabilité limitée, des évaluations et recommandations sont de toute façon demandées et régulièrement offertes, autant dès lors proposer un modèle, quitte à en reconnaître ses limites et à le faire évoluer par la suite.

De même que les modèles de l’ergonomie cognitive ont dû emprunter à de nombreux domaines disciplinaires, un modèle générique ‘hybride’ devra bien évidemment puiser dans différentes sources. On citera à cet égard cette phrase de Reason *‘Il est également important de nous rappeler que la psychologie moderne est un hybride, construite par des précurseurs réfugiés de nombreuses disciplines différentes avec de nombreux modes d’investigations distincts’*²⁸⁰. Parmi les travaux présentés dans la partie historique dans le domaine de l’organisation, deux approches de nature organisationnelle ont eu des ambitions génériques, l’une d’orientation prescriptive et portant sur le management de la sécurité²⁸¹, l’autre plutôt descriptive et portant sur les accidents²⁸². Elles sont présentées, discutées et serviront de support pour une proposition d’articulation de ces deux tentatives, vers un modèle générique d’évaluation.

²⁷⁹ Des échanges à ce propos existent dans Bourrier, M., Laroche, H 2001. ‘risques de défaillance : les approches organisationnelles’, dans Amalberti, R., Fuchs, C., Gilbert, C (dir), Risques, erreurs et défaillances, approche interdisciplinaire. Op. cit.

²⁸⁰ Reason, J. 1988. A user’s guide, in Goodstein, L.P., Andersen, H.B., & Olsen, S.E. (Eds.) Tasks, Errors, and Mental Models. Op cit. p37

²⁸¹ Hale, A.R. 2003a. Safety management in production, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing 13 pp. 185-201.

²⁸² Vaughan, D. 1999. The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster. Annual Review of Sociology. 25. 271-305.

Exemple de modèle générique et d'orientation prescriptive (Hale, 2003)

Principes génériques

Hale²⁸³ propose parmi d'autres modèles portant sur des aspects complémentaires (i.e. cycles de vie d'une installation, barrières) ou sur d'autres domaines industriels (i.e. transport ferroviaire, aérien ou de la chimie), le modèle générique suivant, qui a été un peu adapté (figure 11). Il articule un certain nombre d'activités des systèmes de management de la sécurité. Le point de départ sont les situations à risques (les procédés, (1)) et l'analyse de risque de ces procédés (2). Cette activité doit permettre de définir les moyens de prévention et de protection nécessaires (barrières de défense), à la fois techniques et individuels ou collectifs (3, 4) pour mettre en œuvre la stratégie de gestion des risques.

Ceux-ci seront respectivement soumis à des inspections, à de la maintenance (5) et des audits (6) qui feront l'objet d'évaluation (7). Dans le fonctionnement quotidien, les interactions des procédés avec les équipements et les collectifs de travail produisent des événements (incidents, accidents) qui feront l'objet de retour d'expérience (8). Ces derniers interrogeront les connaissances sur les risques. De ce point de vue, soit les risques (ou scénarios) sont connus (9), soit ils ne le sont pas (10) et feront l'objet d'une ré-évaluation (par exemple sur les procédés en question ou sur des procédés ou installations identiques au sein d'un même groupe) (11). Les informations collectées par les audits (5), les inspections, la maintenance (6) et le retour d'expérience (8) fournissent les indicateurs de pilotage de la sécurité (12). Les modifications à la fois techniques et organisationnelles (13) sont évaluées en termes d'impacts potentiels sur les mesures de défense du système et font l'objet d'audits et du retour d'expérience. Le pilotage du système de management est assuré par le suivi des indicateurs qui centralisent les informations sur le fonctionnement du système (14), une fonction d'audit de l'ensemble des activités peut aussi être introduite dans cette activité, mais n'est pas représentée pour des questions de clarté (des flèches consacrées à la fonction d'audit partiraient en effet de cette boîte centrale vers toutes les autres). Ce système doit produire un cycle permettant une boucle d'ajustement (*feedback*) dynamique.

²⁸³ Hale, A.R. 2003a. Safety management in production, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. Art. cit.

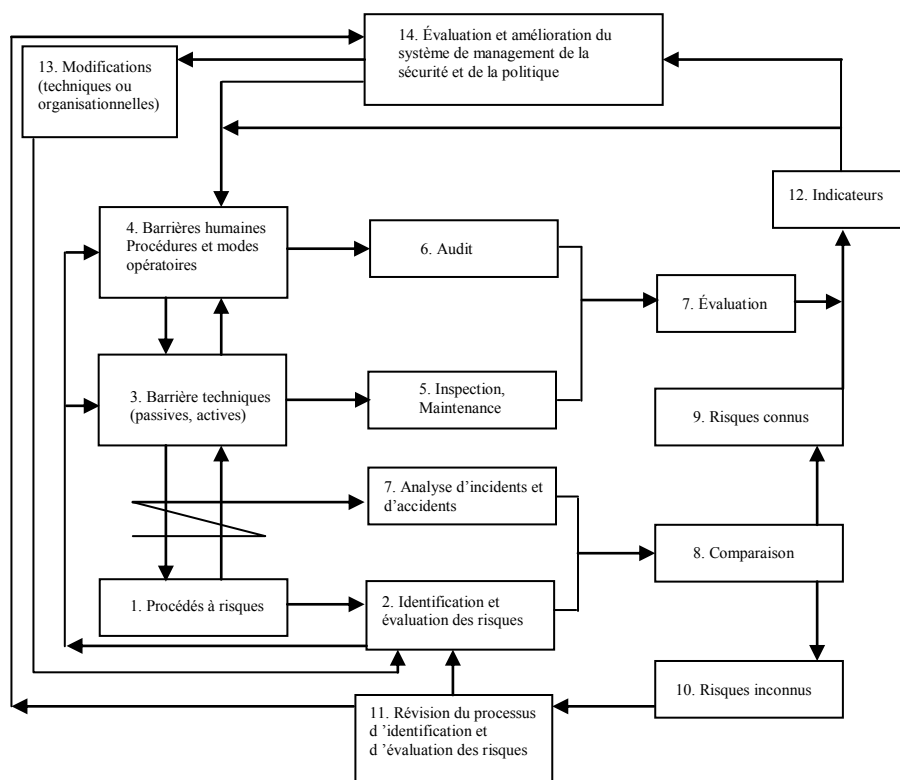


Figure 11. Modèle de management de la sécurité. Adapté de Hale (2003)

Déclinaison spécifique et prescriptive

Toutes ces activités sont configurées spécifiquement et font l'objet de l'application d'instruments, d'outils ou de dispositifs gestionnaires²⁸⁴ spécifiques aux industries concernées²⁸⁵. Il existe des savoir-faire, parfois bien documentés dans des guides professionnels, sur le marché du conseil ou développés au sein d'entreprises (sans forcément de diffusion), et ce pratiquement dans toutes ces activités du management de la sécurité. C'est la dimension prescriptive du modèle, qui permet d'y associer les moyens par lesquels les activités sont mises en œuvre. Par exemple, des méthodes d'analyse de risques ou les méthodes dans le domaine du retour d'expérience existent depuis de nombreuses années au sein de grands groupes. Elles reposent sur des principes méthodologiques (i.e. Amdec, Hazop, analyse des causes profondes, arbre des causes etc) mis en œuvre dans des configurations plus ou moins précisées (présence d'ingénieurs, d'opérateurs, d'un animateur garant de la méthode etc). Les techniques d'audits, les principes d'inspection ou encore les

²⁸⁴ Aggeri F., Labatut J. 2008. La gestion au prisme de ses instruments. Une généalogie des approches par les instruments en gestion, Conférence de l'AIMS, Sophia-Antipolis, 28-30 mai, 19p.

²⁸⁵ Comme indiqué dans la partie historique, le travail de Johnson (1973) a consisté à réunir les bonnes pratiques dans un système général. Les travaux de Leveson et al (2005) s'inscrivent aussi dans cette voie. Leveson, N., Cutcher-gershenfeld, J., Carroll, J.S., Barrett, B., Brown, A., Dulac, N., Marais, K., 2005. Systems approaches to safety: NASA and the space shuttle disasters. In: Starbuck, W.H., Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.

principes d'élaboration des procédures sont aussi développées. Bien entendu tous ces outils ou instruments sont en évolution constante et les innovations gestionnaires permettent des progrès dans tous les domaines du management de la sécurité, autant sur les plans de la technique (i.e. approches par barrières) ou ergonomique du point de vue des facteurs humains (i.e. prise en compte du facteur humain en conception ou dans les barrières de sécurité), mais aussi des facteurs organisationnels. Toutes les industries n'en sont pas au même point dans ces domaines. On constate des écarts, même si les données comparatives sont encore peu nombreuses, entre les domaines de l'aéronautique, du nucléaire ou de la chimie, pour ne citer que ces trois industries à risques²⁸⁶.

Ce type d'approche fondé sur un modèle générique qui se décline de manière spécifique et prescriptive en introduisant les outils ou instruments est intéressante car elle permet d'avoir une vision d'ensemble assez rapidement d'une organisation, et d'identifier les différents leviers de gestion sur lesquels elle repose pour la sécurité industrielle. En effet a priori, des analyses de risques plus nombreuses et plus approfondies correspondent à davantage de sécurité. Plus de retour d'expérience avec plus de profondeur au cours des analyses amènent a priori aussi à une meilleure connaissance des risques, ainsi de suite. Ce modèle est encore intéressant car il permet d'être un support aux audits mais aussi d'identifier quelles sont les activités qui ont contribué à la genèse d'incidents ou d'accidents.

Le Baker Panel²⁸⁷ (à la suite de l'accident de la raffinerie de BP Texas City en 2005), a ainsi consacré une grande partie de son analyse approfondie des raffineries BP aux Etats-Unis (5 raffineries, plus de 700 entretiens et environ 7500 questionnaires) à l'identification, point par point, des grandes fonctions du système de management de la sécurité des procédés de BP pour indiquer les inadéquations rencontrées pour chacune de ces activités. On apprend dans ce rapport que les indicateurs de suivi étaient inadaptés pour la sécurité des procédés (ils étaient orientés sécurité au travail), que le résultat des audits ainsi que des investigations après incidents n'étaient pas pris en compte de manière systématique, que les analyses d'incidents ne remontaient pas aux causes profondes etc. En effet, comme les analyses des accidents majeurs le montrent, tous ces principes théoriques, toutes ces activités basées sur des outils et instruments gestionnaires sont rarement appliqués selon les principes prévus.

²⁸⁶ Ce qui peut expliquer des niveaux de sécurité plus élevés dans certaines industries plus en avance que d'autres du point de vue des instruments ou outils déployés (un argument proche de celui-ci a été exposé notamment dans le domaine de l'aéronautique comme 'système ultra-sûr', Amalberti R. 2001. The paradoxes of almost totally safe transportation systems, *Safety Science*, 37, 109-126.

²⁸⁷ Baker panel. 2007. The report of the BP U.S. refineries independent safety review panel.

Limites

On trouve là un des constats formulés dans les recherches en gestion, en dehors du champ de la sécurité, sur les outils et instruments, « *Qu'il s'agisse des critiques des sociologues, des économistes, des systémistes, ou encore des gestionnaires eux-mêmes, elles composent un sévère réquisitoire d'ensemble. Outils bousculés par les logiques de pouvoir, peu adaptés à certaines formes de culture, lacunaires, incomplets, non cohérents avec l'organisation en place, mais cependant suffisamment structurants pour conduire à des comportements collectifs contre intuitifs, etc., voici une « invention » dans laquelle beaucoup d'espoirs étaient mis et qui s'est révélée particulièrement décevante.*²⁸⁸ (Moisdon, 1997, p 27). Ces limites de l'approche générique et prescriptive par les systèmes de management de la sécurité déclinés sous forme d'instruments ou d'outils pour chacune des activités identifiées peut ainsi faire très justement l'objet de critiques du point de vue sociologique, « *Il est illusoire de penser la sécurité d'une organisation et d'en fixer les principes avant de comprendre ses modes de fonctionnement. Tous les systèmes de management de la sécurité (SMS) ne seront d'aucun effet s'ils se résument à un placage de doctrines sur le fonctionnement d'organisations, dont le modus operandi n'est pas objectivé* »²⁸⁹. En dehors du champ de la sécurité, une approche complémentaire sociologique s'est par ailleurs développée autour d'une meilleure connaissance de la mise en œuvre réelle des outils, dispositifs ou instruments²⁹⁰.

Globalement, un reproche que l'on peut faire à ce type de modèle générique et d'orientation prescriptive est en effet de ne pas fournir les grilles de lecture permettant de poser le problème de la mise en œuvre réelle des outils ou instruments et de créer une image par trop 'mécaniste' de l'organisation, loin de la réalité. Il reste ainsi trop superficiel quant à la compréhension des phénomènes politiques, économiques et sociaux qui animent la vie des entreprises et qui contraignent et transforment par appropriation, adaptation ou rejet les instruments ou outils proposés. Malgré son ancrage empirique certain, le modèle d'Hale développe une vision par les activités et instruments plutôt que par les acteurs.

²⁸⁸ Moisdon, JC (ed). 1997. Du mode d'existence des outils de gestion. Seli Arslan.

²⁸⁹ Bourrier, M. 2007. Risques et Organisations, in Face au Risque, Claudine Burton-jeangros, Christian Grosse et Valérie November (Eds.), L'Equinoxe, Collection de sciences humaines, Genève, Georg Editeur : pp. 159-182.

²⁹⁰ Segrestin, D. 2004. Les chantiers du manager. Armand Colin.

Exemple de modèle générique et d'orientation descriptive (Vaughan, 1999)

Le cas de Challenger

On trouve chez Vaughan une approche assez différente de modélisation. En effet, l'approche sociologique et ethnographique de Vaughan consiste à 'coller au plus près' des données d'un phénomène, dans une démarche d'action située, avec une orientation descriptive plutôt que prescriptive. Son approche est celle de l'étude de cas²⁹¹, qu'elle a illustré auparavant dans des monographies portant sur des sujets différents, les fautes professionnelles²⁹² ou le couple²⁹³, et ancrée dans une tradition sociologique de recherche empirique qualitative²⁹⁴. Son regard sur l'accident de Challenger est devenu un repère incontournable de la compréhension organisationnelle des accidents majeurs. En voici un aperçu, en complément des informations déjà fournies dans la partie historique sur le phénomène de normalisation de la déviance. L'analyse détaillée qu'elle propose démontre un processus historique (normalisation de la déviance) impliquant de multiples décisions prises au cours de l'exploitation de l'agence spatiale (NASA) qui nous entraînent au cœur des pratiques et interactions entre les gestionnaires, scientifiques et ingénieurs de la NASA avec leurs sous-traitants, ainsi qu'avec les politiciens du Congrès qui soumettaient l'organisation à de grandes pressions budgétaires et à l'atteinte d'objectifs difficilement compatibles avec le type de fonctionnement expérimental du développement de la navette.

Dans son travail interagissent structure organisationnelle, pouvoir et culture, pouvoir du Congrès d'imposer des contraintes budgétaires fortes relayées par les gestionnaires de la NASA et production d'une culture au sein de la NASA, ancrée dans les succès passés d'ingénieries du programme Appolo. Pouvoir, où plutôt manque de pouvoir cette fois du service sécurité et qualité qui ne pourra pas exercer un regard extérieur sur les travaux d'analyse de risques et de retour d'expérience des ingénieurs, mais aussi culture de production des ingénieurs socialisés par leur parcours universitaires et professionnels pour

²⁹¹ Vaughan, D., 1992. Theory elaboration: the heuristic of case analysis. In: Ragin, C., Becker, H. (Eds.), *What is a Case? Exploring the Foundations of Social Enquiry*. University, New York, Cambridge., Vaughan, D., 2004. Theorizing disaster: Analogy, historical ethnography, and the challenger accident ethnography. *Ethnography* 5 (3), 315–347

²⁹² Vaughan, D. 1983. *Controlling unlawful organizational behaviour*. The University of Chicago Press.

²⁹³ Vaughan, D. 1986. *Uncoupling: turning point in intimate relationships*. Vintage.

²⁹⁴ Glaser, B.G., Strauss, A.L., 1967. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine de Gruyter.

intégrer les injonctions entre contraintes de production et solutions à trouver aux problèmes technologiques rencontrés. Enfin, pouvoir des gestionnaires au sein de la NASA par rapport à leur sous traitants qui au moment des discussions de la décision du lancement de la navette mettront une certaine pression, ces mêmes gestionnaires eux-mêmes aussi sous l'influence de leurs propres traits culturels entrant en conflit avec ceux des ingénieurs. Ces derniers en effet, devant les incertitudes, souhaitent davantage d'information pour se faire une idée du niveau de sécurité, les gestionnaires voient plutôt les succès passés comme une confirmation de la sécurité et inversent le propos des ingénieurs en leur demandant de démontrer que ce n'est pas sûr. Le résultat est que *'des gens bien intentionnés situés à des places différentes dans une organisation peuvent voir le même stimulus différemment.'*²⁹⁵ (à propos du cas de Columbia, qui présente des similarités avec celui de Challenger). Les effets de structure organisationnelle affectent, par le 'secret structurel', la capacité pour l'organisation d'intégrer l'ensemble, de part les différentes positions, les spécialisations et l'éloignement géographique ainsi que les dépendances en terme d'information que les structures génèrent entre les différents acteurs et services.

La généralisation du modèle

Au-delà de cette interprétation spécifique sur le cas de Challenger, elle a tenté une généralisation²⁹⁶ de ce qu'elle qualifie de *'dark side'* (côté obscur) des organisations, c'est-à-dire des déviations organisationnelles, englobant non pas seulement la question des catastrophes mais également des erreurs (*mistakes*) et des fautes professionnelles (*misconducts*). Ce modèle générique et d'orientation descriptive est basé sur le principe d'une lecture du phénomène organisationnel selon un découpage macro-meso-micro ancré dans sa démarche empirique et conceptuelle d'interprétation du cas de Challenger²⁹⁷. Le niveau macro correspond dans ce modèle à l'environnement de l'organisation, qui contient des dimensions telles que la démographie, la culture (au travers des institutions), la technologie, le marché, la politique, la réglementation ou encore le réseau de relations inter-organisationnel (i.e. sous-traitance).

Le niveau meso correspond à l'organisation avec un découpage en structure (taille, complexité, spécialisation des fonctions, distributions géographiques), processus (pouvoir,

²⁹⁵ Milliken et al, 2005

²⁹⁶ Vaughan, D. The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster. Art. cit.

²⁹⁷ On notera qu'au même moment, Waring et Glendon (1998), avec une orientation de gestion de la sécurité, ont proposé un modèle qui se rapproche de cette décomposition.

apprentissage organisationnel, socialisations) et tâches (correspondant à l'interface des activités avec la technologie). Enfin, le niveau micro introduit les dimensions individuelles liées aux aspects cognitifs et culturels des interprétations produites par les acteurs. C'est dans la prise en compte systémique de l'articulation de ces trois niveaux d'analyse et de leurs dimensions associées qu'une compréhension adéquate des accidents majeurs est possible. L'avantage de ce modèle est qu'il en articule un certains nombres proposés précédemment, en montrant leurs complémentarités par rapport aux dimensions macro, meso ou micro. Ainsi la question de la complexité et du couplage chez Perrow est très structurelle mais ses écrits insistent également sur le pouvoir comme source de risque, en introduisant dès lors l'environnement de l'organisation. Les travaux de Weick correspondent davantage à un niveau micro par sa focalisation sur la création de sens etc. En comparaison avec le modèle précédent de Hale, celui-ci apparaît plus descriptif et basé sur une expérience d'analyse approfondie d'un accident, puis généralisé à partir d'autres travaux du domaine.

Il s'agit d'une entrée par les acteurs plutôt que par les instruments. Si le premier modèle a donc une orientation davantage gestionnaire et à la recherche d'une représentation graphique venant en appui de l'effort de modélisation (dans l'esprit 'boxologique'²⁹⁸, Hale ayant au départ une orientation psychologique²⁹⁹), le second est d'orientation sociologique et littéral. Ce dernier ajoute des dimensions qui font défaut au premier. L'importance de la prise en compte de la relation entre l'environnement, l'organisation et les individus montre bien la nature systémique des accidents. C'est dans l'appréhension des ces trois niveaux d'articulation que l'on peut comprendre. L'appréhension de l'encastrement de ces trois niveaux d'analyse repose donc sur la prise en compte de phénomènes politiques, économiques, inter-organisationnels, structurels, culturels et cognitifs ainsi que de pouvoir. L'application ultérieure de ce modèle au cas de l'accident de Columbia fournit des indications supplémentaires sur sa mise en œuvre³⁰⁰.

Limites

Cependant, ce modèle n'est évidemment pas exempt de limites par rapport à l'objectif de

²⁹⁸ Andler, 2002. Processus cognitifs. In Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002a. Philosophie des sciences. Volume 1. Folio essai.

²⁹⁹ Hale, A, R., Glendon, A.I. Individual Behavior in the Control of Danger. op. cit.

³⁰⁰ Vaughan, D. 2003. History as a Cause : Columbia and Challenger. Dans CAIB Report Volume 1, Chapter 8, 195-201.doc. Cit; Vaughan, D. 2005. System effects: on slippery slopes, repeating negative patterns, and learning from mistakes? In Starbuck H. W., Farjoun M. 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell publishing.

cette réflexion. Ainsi, il apparaît que cette proposition est très liée à l'expérience de l'auteure par rapport au cas spécifique de l'explosion de la navette Challenger, et induit une focalisation sur la prise de décision collective de procéder ou non au lancement, et donc sur des populations d'ingénieurs et de gestionnaires. Cette expérience concerne également une organisation tout à fait unique, la NASA, qu'il n'est pas possible de comparer sans précautions à d'autres systèmes industriels à risques, comme des raffineries (où la technologie employée ne pourrait être comparée à une navette spatiale), ou des avions (pour lesquels le statut d'exploitation commerciale est bien établi). Aussi, sont passées en second plan des problématiques telles que les activités de maintenance, la mise en œuvre des barrières de défense technique ou l'automatisation (se traduisant par des interfaces hommes-machines). On les retrouve pourtant de manière systématique dans de nombreuses analyses d'accidents dans d'autres systèmes à risque. Toute la littérature sur les facteurs humains a par exemple fourni de nombreux modèles dans le but de mieux comprendre les erreurs des pilotes, conducteurs ou opérateurs, faces aux automatisations, littérature que Vaughan ne mobilise pas en raison de la nature de l'accident qu'elle étudie. D'autre part, son orientation descriptive l'éloigne d'un positionnement sur les solutions gestionnaires qu'il serait souhaitable de mettre en œuvre³⁰¹, en prenant appui par exemple sur un modèle plus normatif en questionnant l'écart par rapport à ce modèle et la qualité du pilotage attendus par boucles d'ajustements entre les activités de la gestion des risques (présents dans le modèle de Hale).

Essai de modèle générique d'évaluation

La tentative qui est proposée maintenant tire partie de ces deux modèles génériques (et de leurs limites respectives) pour une proposition de modèle générique et normatif (d'évaluation) de la sécurité industrielle sous l'angle de l'organisation. Du premier modèle je conserve l'idée centrale d'un bouclage dynamique entre des activités de gestion : l'analyse de risque (en conception ou suite à des modifications techniques ou organisationnelles) conduit à la mise en œuvre de barrières humaines et techniques de sécurité puis à la maintenance de celles-ci (et à de la formation pour les opérateurs, ingénieurs et gestionnaires). Le retour d'expérience, les inspections et les audits sont

³⁰¹ C'est ce que fait remarquer Mayer en ce qui concerne la prise de décision '*Le problème se trouvait en effet résolu, à partir d'une réunion ad hoc (comme le fait remarquer Vaughan elle-même, mais sans en tirer de conclusion dans une perspective gestionnaire).*' Mayer, P. Challenger. Les ratages de la décision. Op cit. p 248.

traduits sous forme d'indicateurs pour l'évaluation et l'amélioration du système. Cette entrée par la gestion de la sécurité fournit la dimension normative. Je combine ces éléments du premier modèle avec la perspective systémique macro-meso-micro (environnement-organisation-individus) du second dont l'intelligibilité repose notamment sur l'introduction de dimensions politique, économique, culturelles (institutions) et inter-organisationnelle, structurelle (taille, complexité, spécialisation des fonctions et distribution géographique), et cognitive ainsi que de pouvoir, absentes (ou non explicite) du premier modèle. Cette entrée par l'approche d'orientation sociologique apporte la touche descriptive du modèle. L'articulation de ces deux modèles permet l'élaboration d'un modèle 'intégré' de la sécurité, générique et tourné vers l'évaluation (portant donc un caractère normatif). Ce modèle repose sur six dimensions (tableau 2), qui sont explicitées tour à tour à l'aide des cas de Challenger et Columbia.

Tableau 2. Dimensions du modèle générique et normatif proposé et relations avec les deux modèles source.

Modèle proposé	Relations avec les modèles sources		Thèmes concernés (chapitre 2)
	Hale	Vaughan	
Contraintes et ressources (économique, humaine et sociale, technologique, réglementaire, contractuelle) de l'entreprise (1).	Evaluation du système. Indicateurs.	Correspondance avec le niveau macro-meso. Contexte économique, politique, culturel (institutionnel), démographique et de sous-traitance de la NASA.	Organisation
Impact des transformations (subies ou décidées) sur la sécurité (2) et capacité d'appréciation par l'entreprise.	Gestion des modifications.	Correspondance avec le niveau meso. Historique des évolutions organisationnelles de la NASA et prise en compte dans le pilotage.	Régulation Organisation
Qualité des regards extérieurs (dont autorités de contrôle) et internes sur les aspects techniques et organisationnels de la sécurité, capacité et possibilité de prise en compte de ces derniers par l'entreprise (6).	Audit.	Correspondance avec le niveau macro - meso. Comités d'audits mis en place (à la suite ou non de problèmes, incidents ou accidents rencontrés par l'agence).	Régulation Organisation

Positionnement et influence de la fonction sécurité (6).	Analyse de risques, gestion des modifications, retour d'expérience, audit.	Correspondance avec le niveau meso. Indépendance, ressources et compétence du service qualité et sécurité dans le cas des accidents de Challenger et Columbia.	Organisation
Remise en cause de l'organisation à la suite des analyses d'incidents ou accidents, sensibilité aux signaux faibles (4).	Retour d'expérience.	Correspondance avec le niveau meso-micro. Influence de l'expérience dans la prise de décision collective, phénomène de normalisation de la déviance.	Régulation Organisation
Etat de fonctionnement des barrières techniques et humaines de sécurité (3).	Barrières techniques et humaines	Correspondance avec le niveau micro. Technologies, règles et dispositifs gestionnaires prévues en conception pour assurer la sécurité de la navette.	Installation Cognition Organisation

Contraintes et ressources de l'entreprise (1)

Un des éléments clés de l'interprétation de Vaughan consiste à montrer que les contraintes économique et politique provenant de l'environnement de l'agence ont contribué à la maintenir dans une situation d'exploitation difficile, plus tendue que par le passé (l'évolution notamment du contexte géopolitique diminuant l'importance stratégique nationale de l'agence). L'augmentation des cadences de lancement dans l'optique d'une exploitation commerciale de la navette étant l'illustration de la recherche de subventionnements internes face à des ressources externes en diminution constante. Le fonctionnement commercial permettait en effet de faire plus de bénéfices et d'assurer d'une entrée alternative d'argent aux fonds publics (en passant par exemple des contrats avec l'armée pour le lancement de satellites). Or, la navette est une innovation technologique avec un retour d'expérience limitée, et un statut de recherche et développement, qui s'accommode difficilement d'un régime de fonctionnement avec des délais et des pressions de type commercial. Ce contexte économique, politique et technologique s'accompagnait d'une configuration spécifique de ressources humaines, reposant sur une grande part accordée à la sous-traitance. Le résultat a été bien mis en évidence par Vaughan dans le cas de la NASA, combinant la dépendance contractuelle créant une asymétrie de pouvoir (pouvant créer des situations de mises en concurrence et de demandes excessives

d'exploitation) et une augmentation, dans le cas de la NASA, du travail bureaucratique pour les ingénieurs engendré par les besoins de traçabilité de la coordination (à l'origine de certaines transformations des métiers et des identités au travail). L'appréciation par l'entreprise (en particulier par ses dirigeants) de ses ressources et contraintes ainsi que leur mise en relation avec la sécurité est donc essentielle, elle est en lien fort avec la question des changements et des évolutions.

Impact des transformations organisationnelles sur la sécurité (2)

Ainsi, la politique du « *better, cheaper, faster* » (mieux, moins cher, plus vite) a beaucoup été commentée à la suite de Columbia³⁰² en questionnant sa pertinence par rapport aux activités de l'agence. Vaughan a pu ainsi identifier comment les stratégies managériales se répercutent en cascade sur les niveaux inférieurs de l'organisation (« *trickle down effect* »³⁰³). Cette stratégie du « *better, cheaper, faster* » visait à assurer la survie de l'agence par rapport au nouveau contexte dans lequel elle se trouvait. Cependant, on peut aussi considérer que celle-ci a montré ses limites avant que des ajustements suffisants ne soient apportés. Cet ajustement est problématique, car il faut bien souvent attendre, avec des délais et des liens de causalités complexes, pour voir apparaître un lien entre la variété des changements occasionnés (subis ou décidés) et leurs impacts, l'accident majeur en étant une manifestation extrême. Une grande sensibilité de la part de l'organisation est donc également souhaitée en matière d'effets induits par les transformations sur les pratiques, les collectifs en matière de sécurité. Ce point est central dans le pilotage et concerne bien la gestion des modifications, qui sont autant techniques qu'organisationnelles.

Qualité des regards extérieurs (6)

Face à ces difficultés d'évaluation de l'impact des transformations, la qualité, la fréquence et la prise en compte par l'entreprise des regards extérieurs constitue un axe important de la capacité de maintien de la sécurité. Or l'ouverture de l'entreprise sur les regards extérieurs (auditeurs internes ou externes, autorités de contrôle) n'est pas toujours aisée, comme ne sont pas toujours très pertinentes pour l'entreprise les 'expertises' qui leur sont offertes, étant donné les niches technologiques restreintes au sein desquelles elle évolue et qu'elle est

³⁰² Farjoun, 2005. History and policy at the space shuttle program. In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.

³⁰³ Vaughan, D. 1997. The Trickle-Down Effect: policy decisions, risky work and the Challenger tragedy. California Management Review 39:80-102

parfois la seule à maîtriser. Dans l'interprétation de Challenger, Vaughan a insisté sur la difficulté pour le regard extérieur d'être pertinent techniquement au vu de la complexité technologique de la navette. Les regards par les autorités de contrôle comportent également certaines limites, par exemple la possibilité pour le régulateur de disposer des données pertinentes (phénomène de 'capture du régulateur'), et la possibilité et l'intérêt pour le régulé de communiquer au régulateur l'ensemble de ses problèmes, par exemple ses incidents³⁰⁴. Une entrée dans l'interprétation du cas de Challenger a ainsi consisté pour Vaughan à insister sur l'autonomie et la dépendance entre le régulateur et le régulé³⁰⁵.

D'autre part, certaines recommandations formulées par l'externe peuvent parfois ne pas être possibles pour des entreprises, étant donné les compétences et ressources à disposition, difficultés non identifiées par le regard extérieur. Ainsi, les recommandations de la commission d'enquête à la suite de Columbia n'ont été que partiellement appliquées par la NASA. La commission d'enquête n'a en effet pas vraiment explicité comment s'y prendre pour la mise en œuvre de ses recommandations, et les ingénieurs et gestionnaires de l'agence sont familiers d'approches orientées sur les individus ou sur les dimensions structurelles des organisations, non pas sur les dimensions systémiques et culturelles qui ont été visées par la commission³⁰⁶. Dans ce modèle, la qualité des regards extérieurs et la possibilité par l'entreprise de les prendre en compte est par conséquent un paramètre clé. Elle détermine l'apport de cette fonction définie comme audit dans le pilotage du système.

Positionnement et influence de la fonction sécurité (5)

Le regard extérieur n'est toutefois que le complément du regard interne de la fonction experte en sécurité qui porte ses problématiques dans toutes les activités de la gestion des risques (retour d'expérience, analyse de risque, gestion des modifications, audits etc). Il est clair que selon le positionnement, à savoir le pouvoir, mais aussi l'expertise technique, réglementaire ainsi que les capacités relationnelles et la disponibilité du service sécurité au sein d'univers dont les contradictions sont récurrentes (entre finalité sécurité, environnement, qualité, production, climat social), l'efficacité n'est pas la même. Une des conclusions des accidents de Challenger et Columbia est que le manque d'indépendance, d'autorité et de centralisation d'une fonction sécurité experte a contribué à la genèse des

³⁰⁴ Dupré, M., Etienne, J., Le Coze, J-C 2009. L'interaction régulateur régulé: considérations à partir du cas d'une entreprise Seveso II seuil haut. Art. cit.

³⁰⁵ Vaughan, D. 1990. Autonomy, Interdependence, and Social Control: *NASA* and the Space Shuttle. Challenger. Art. cit.

³⁰⁶ Vaughan, 2005, 53

événements. Comment l'expertise sécurité est mobilisée dans les activités quotidiennes de l'entreprise constitue un facteur clé. Il dépend de la capacité de la fonction sécurité à proposer un point de vue pertinent malgré la différenciation des fonctions et la complexité des organisations, engendrées par la taille et la spécialisation des activités (dont la sous-traitance), pouvant générer le « secret structurel » de Vaughan. Ce phénomène identifié par Vaughan conduit les informations à ne pas circuler convenablement, et surtout à ne plus permettre l'exercice d'une capacité critique de la sécurité sur des développements technologiques devenus trop complexes. L'influence de cette fonction est donc un paramètre central du maintien de la sécurité, et se répercute dans toutes les activités de la sécurité (audit, analyse de risque, retour d'expérience).

Remise en cause à la suite d'incidents et sensibilité aux signaux faibles (4)

Les accidents successifs de la NASA, en 1986 puis 2003, ont contribué à mettre en avant, notamment avec les travaux de Vaughan (et initialement par Turner, voir partie historique) les questions de remise en cause et de signaux faibles par l'intermédiaire de la situation de prise de décision collective autour du lancement de la navette Challenger (ou du retour de la navette Challenger) et de l'interprétation du comportement des joints par rapport au froid (ou du bouclier thermique par rapport à sa rentrée dans l'atmosphère pour Columbia). Dans ces analyses, l'idée de signaux faibles comporte un caractère rétrospectif et relatif. Rétrospectif dans la mesure où « *le précurseur, comme, dit Canghuilem, est celui dont on ne sait qu'après qu'il venait avant* » (cf citation Morin, chapitre 3) et relatif car il est toujours à considérer d'un certain point de vue plutôt que dans l'absolu. Ainsi comme indiqué dans la partie historique, les avis sont partagés entre ceux qui pensent que des signaux auraient pu être captés et ceux qui pensent que la position omnisciente rétrospective biaise le jugement. La qualité d'écoute des expertises, techniques et organisationnelles portées par les membres de l'organisation (ou des membres extérieurs, voir regards extérieurs) est une indication.

La mise en œuvre à ces moments, en effet, d'un équilibre des pouvoirs des différentes rationalités (ou 'cultures') de l'entreprise (dont la fonction sécurité) et donc d'une animation permettant une 'concertation' et une gestion des controverses adaptées aux enjeux, participe à la construction de la sécurité. Dans le cas d'incidents avérés et bien identifiés par l'entreprise, c'est la capacité de remise en cause de l'organisation et de l'intensité de sa réponse à partir de leur analyse (au-delà des focalisations sur les explications individuelles et

des erreurs), que les possibilités d'ajustements se trouvent. Capacité de remise en cause et ajustement qui sont toujours dans la dépendance bien entendu, des contraintes et ressources de l'entreprise et la capacité réflexive sur son modèle. Ce sont tous ces aspects et problématiques que le retour d'expérience, identifié comme une activité spécifique du management de la sécurité, implique.

Etat de fonctionnement des barrières techniques et humaines de sécurité (3)

Or, analyser les situations incidentelles ou de signaux faibles pour en faire un retour d'expérience et exercer une réflexivité passe par une compréhension de la technologie et des situations de travail sous-jacente aux problèmes rencontrés. La prise en compte des conditions réelles de fonctionnement des collectifs, des régulations autour des règles entre encadrement et opérateurs, entre les opérateurs et agents de maîtrise, entre les services, permettant l'atteinte des objectifs malgré les variabilités et aléas quotidiens, facilite l'objectif d'analyse des incidents. En effet les 'erreurs' ont toujours plus de sens quand elles sont mises en perspective dans leur contexte de travail (technologie, collectif, prescriptions). Ce contexte permet de poser le problème des types de règles et de variabilité autour de la mise en œuvre des barrières de sécurité. Afin d'éviter les risques, un certain nombre de dispositifs, techniques, humains ou organisationnel, sont mis œuvre pour limiter la survenue de scénarios identifiés par les analyses de risque. Par exemple, dans le cas de la NASA étudié par Vaughan, le dispositif de concertation et de décision, échelonné sur plusieurs niveaux peut être envisagé comme une forme de barrière.

On pourrait aussi assimiler la pratique de test de l'étanchéité des joints avant chaque lancement de la navette comme une barrière, ainsi que la redondance des joints, qui constitue un élément technique en termes de barrière. Ainsi associées, ces barrières constituent l'architecture de défense du système. La pertinence d'une architecture repose sur des principes, comme ceux, fondamentaux, d'indépendance et de redondance, qui diminuent les probabilités de survenue et de gravité d'accidents. Pourtant paradoxalement, c'est, selon Vaughan, la confiance dans cette architecture (en particulier la redondance des joints) et dans la conformité aux règles ainsi qu'au respect du cadre formel prescrit de prise de décision, qui a guidé malencontreusement le choix des ingénieurs. Paradoxalement en effet, car l'enseignement de nombreux accidents comme les études en fonctionnement normal, montrent que ce sont plutôt dans les aménagements autour des règles que se nichent les potentialités d'incidents.

Ceux-ci constituent en effet des espaces d'autonomie où l'expertise et les savoirs faire individuels et collectifs des opérateurs s'expriment par rapport aux efforts de rationalisation des ingénieurs et concepteurs. Expression aussi nécessaire à la prise en compte des aléas et des variabilités dans les conditions d'exécutions réelles des activités. Ce paradoxe entre conformité et non-conformité comme source de risques face à la nouveauté par rapport aux règles (pour la gestion des variabilités, des écarts et des surprises) indique l'ambiguïté et la complexité du problème, notamment face à des situations nouvelles. D'un côté les règles permettent de faire face au prévu, de l'autre, elles peuvent inhiber et brider la créativité nécessaire face à l'imprévu. Plutôt que de postuler un strict respect illusoire de procédures (nécessairement limitées), c'est dans la mise en perspective de ces aménagements par rapport à l'ensemble des barrières que le problème doit donc être posé. Il indique aussi l'importance de la robustesse du collectif face à la gestion de ces ambiguïtés. Ce collectif est constitué d'individus dont les régulations dépendent de nombreux paramètres, dont les classes d'âges, les métiers et les expertises, les niveaux et relations hiérarchiques, les liens contractuels (sous-traitance), la nature des tâches etc, qui vont eux mêmes conditionner la coordination, communication et coopération, garant de sa robustesse. Ainsi, des conditions dégradées de l'architecture de sécurité (faible maintenance des dispositifs techniques, manque d'effectifs au sein des collectifs), associées à des contraintes (économiques, de ressources humaines, etc) de l'organisation dans son environnement, contribuent par exemple à affaiblir cette robustesse. Cette dimension illustre la problématique rencontrée dans la mise en œuvre des barrières techniques et humaines de sécurité. De ce point de vue, l'état de fonctionnement de l'architecture de sécurité est un élément central.

Un modèle simple pour une dynamique complexe

Le modèle de sécurité industrielle obtenu est graphiquement représenté (figure 12). Il s'inscrit dans une tradition de modélisation graphique de la sécurité industrielle³⁰⁷.

³⁰⁷ Par exemple Rasmussen, J. Risk management in a dynamic society: a modeling problem. Op cite.

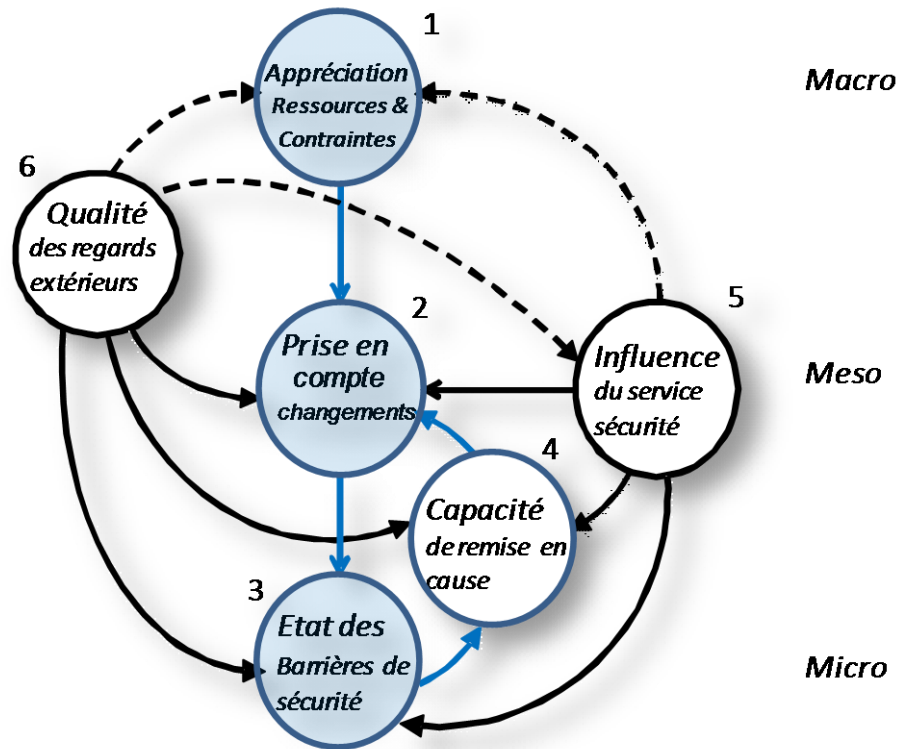


Figure 12. Modèle de sécurité industrielle

Ce modèle se lit comme suit :

- (1) Les ressources et contraintes de l'entreprise ne doivent pas mener, par l'appréciation de ses dirigeants, à des choix stratégiques ou adaptations conduisant à,
- (2) des transformations (plus ou moins contraintes ou plus ou moins subies) ayant des impacts (notamment cumulés) négatifs (non anticipés) sur la sécurité qui viendraient altérer,
- (3) l'état de fonctionnement les barrières techniques et humaines de sécurité prévues en conception, dont les problèmes de mises en œuvre doivent se traduire notamment,
- (4) par une écoute attentive des signaux faibles (portés potentiellement par des 'lanceurs d'alerte') ainsi qu'une capacité de remise en cause à la suite d'incidents.
- (5) Les capacités d'écoute et de remise en cause reposent notamment sur un service sécurité compétent et suffisamment influent, ainsi que par

- (6) des regards extérieurs de qualité que l'organisation est en mesure de mobiliser, en mesure de comprendre et en mesure de tirer les enseignements, qui se traduisent concrètement dans les pratiques.

Les phénomènes d'amplification (rétroaction positive), d'atténuation ou de compensation (rétroaction négative) sont multiples et jamais totalement prévisibles. Par exemple, un service sécurité influent ainsi qu'une stabilité de l'organisation au sein de son marché peuvent contrer une faible qualité de regard extérieur ainsi qu'un retour d'expérience peu développé. Une contrainte de marché forte se répercutant sur le nombre d'employés pour effectuer une quantité de travail équivalente et une faible influence de la fonction sécurité peut être compensée par un regard extérieur efficace et un collectif robuste reposant sur une architecture de sécurité solide. La dynamique qui résulte de l'imbrication de toutes ces dimensions est à spécifier au cas par cas, et à mettre en relation avec les types de dérives, d'incidents ou d'accidents rencontrés dans le fonctionnement normal de l'organisation. Dans tous les cas, c'est à partir d'une évaluation d'ensemble qu'il est possible de donner un avis sur la situation. Ce qui est recherché est une dynamique globale, prenant en compte ces dimensions.

Bien sûr, il ne s'agit pas de réifier ce modèle. Il doit être vu à la manière d'un 'idéal type'³⁰⁸. Il a pour but de sensibiliser le réel afin d'orienter le regard et de servir de support à une évaluation ou jugement d'une situation. Il ne s'agit pas de chercher à 'forcer les données dans le modèle'. Ce que Vaughan par exemple identifie comme le risque de '*forcing fit*'³⁰⁹, inspirée en cela par le positionnement de la théorie fondée ('*grounded theory*') de Glaser et Strauss³¹⁰ qui, en réaction à la contribution sociologique de Parsons³¹¹, met en garde contre le symptôme des 'données qui doivent correspondre au modèle' ('*data that should fit the model*') au dépend d'une approche empirique selon eux plus adéquate du 'modèle qui doit coller aux données' ('*model that should fit the data*'). Tout l'enjeu de l'approche méthodologique consiste à interpréter le fonctionnement d'un système sur la base de toutes ces dimensions et il apparaît, à la lecture, les disciplines qui y sont convoquées. Ce sont les travaux des disciplines qui ont été discutés dans le chapitre trois sous les items

³⁰⁸ Weber, M. 1965. (1904-1917). Essais sur la théorie de la science. Plon.

³⁰⁹ Vaughan, D. Theorizing disaster: Analogy, historical ethnography, and the challenger accident ethnography. Art. Cité.

³¹⁰ Glaser, B.G., Strauss, A.L., The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research. Op. cite.

³¹¹ Pour une interprétation et présentation de l'approche parsonnienne, notamment sur la question de la théorie et de son lien aux données empiriques, voir Bourricaud, F. 1977. L'individualisme institutionnel, essai sur la sociologie de Talcott Parsons. Presses Universitaires de France.

'installations', 'cognition', 'organisation' et 'régulation' (voir les correspondances à titre indicatif dans le tableau 2).

CHAPITRE 5

Un exemple d'évaluation de la sécurité industrielle³¹²

Le but de cette étude de cas est de montrer de manière empirique comment le modèle sert de support à la description, à l'évaluation (et à l'action) dans le domaine de la sécurité industrielle. Cet exemple est à la fois relativement simple et à la fois illustratif. Il est tiré du domaine d'exploitation des silos.

L'expérience d'intervention qui est relatée dans cette partie repose donc :

- **Du point de vue de la modélisation** : sur la mobilisation du modèle hybride proposé, qui permet l'interprétation du fonctionnement normal de cette organisation, en pointant les dimensions pertinentes sur le plan de la sécurité industrielle.
- **Méthodologiquement**, sur la mobilisation de deux regards combinés, l'étude en mode normal et l'investigation approfondie d'un incident³¹³, permettant d'accéder aux '*coupes, sondages et angles d'observations*³¹⁴' privilégiés par le modèle, pour saisir le fonctionnement de l'organisation sous l'angle de la sécurité industrielle.
- **Conceptuellement**, sur la mobilisation de différentes connaissances disciplinaires pour aider à introduire la multidimensionnalité, pour aider à la prise en compte de la complexité telle qu'introduite sous l'angle 'philosophico-épistémologique', en sensibilisant également à la question de l'interaction entre production de connaissance et effet de cette production dans le contexte d'une 'expérimentation sociale'.

³¹² Ce chapitre s'appuie sur le sixième article : Le Coze, JC. 2010. A study about changes and their impact on industrial safety. Publication présentée à la conférence Working On Safety, les 8,9 et 10 septembre 2010 à Røros, Norvège.

³¹³ Ce principe a été initialement introduit et conceptualisé en collaboration avec Michèle Dupré en 2006. Le Coze, JC, Dupré, M. 2006. How to prevent a normal accident in a high reliable organisation ? the art of resilience, a case study in the chemical industry. Proceedings of the second resilience engineering Symposium, Presses de l'Ecole de Mines de Paris, Paris, 2006.

³¹⁴ Bourrier, M. et H. Laroche. Risque et défaillance : les approches organisationnelles. Art. cité.

Mobilisation du modèle

Contraintes et ressources de l'entreprise

Organisation de la coopérative

Les silos sont utilisés par les coopératives agricoles pour stocker les grains des moissons. Les coopératives agricoles sont constituées sur la base d'un apport financier d'un collectif de paysans qui sur une même ère géographique, mutualisent leurs ressources afin de disposer d'une capacité logistique de leur production agricole. L'entité résultant de cette mutualisation, la coopérative, est gérée par un personnel dédié, recruté spécifiquement, et organisé à la manière d'une entreprise industrielle. L'influence des paysans sur son fonctionnement, sa stratégie ou ses orientations est exercée par l'intermédiaire d'un conseil d'administration où siègent des représentants élus. Le directeur de la coopérative rend des comptes régulièrement à ce conseil d'administration très influent. L'entreprise en question compte 250 personnes. Elle exploite 65 silos, répartis en trois secteurs (depuis 2007), dont deux principaux de 25 et 30 silos chacun. Le plus gros de l'effectif est situé dans les fonctions du département d'exploitation (regroupement la fonction production et maintenance), qui accueille près de 80 personnes, dont des responsables de secteurs, de silos et des opérateurs. Le deuxième plus gros département est le service préparation pour lequel travaillent environ 40 personnes, des ingénieurs et des techniciens (avec des fonctions techniques et commerciales). Les autres fonctions se répartissent assez classiquement entre ressources humaines, qualité, sécurité et environnement, magasins (distribution de produits) etc. L'entreprise fonctionne sur un mode décentralisé. Les silos sont répartis géographiquement sur tout un territoire (l'équivalent d'un ou plusieurs départements), et se trouvent parfois jusqu'à trois ou quatre heures de distance en voiture depuis les locaux administratifs, où se trouvent la direction et les autres responsables de services, ainsi que leurs personnels. Cette configuration décentralisée amène des contraintes spécifiques, notamment l'autonomie des opérateurs et des responsables de silos au sein de collectif localisés.

Installations, risques et principes technologiques de base

Sur le plan des installations, les grains restent entreposés, sont travaillés (nettoyés, filtrés) puis redistribués en fonction des périodes de l'année (les cycles des moissons rythmant ces

périodes), vers des acheteurs locaux ou plus éloignés. Leur transport est réalisé de plusieurs manières, par camions, par train ou encore par voie fluviale. L'exploitation de ces silos est plus ou moins compliquée en fonction de la présence ou non de tous ces modes de transports. Elle est également plus ou moins compliquée en fonction de leur architecture, de leur taille et volume ou encore de leur degré ou non d'automatisation. Sur le plan des risques, les silos ont progressivement, à la suite de deux accidents graves en France, l'un en à Metz en 1982 (12 morts), et l'autre à Blaye en 1997 (11 morts), acquis le statut de 'systèmes à risques'. Jusqu'alors non considérés comme tels, les silos ont pourtant toujours entraîné des risques d'incendie et d'explosion importants étant donné le comportement des grains, et surtout de la poussière.

Les explosions de poussières sont les risques les plus redoutables car celles-ci peuvent générer des surpressions très importantes. Elles sont présentes dès que le grain est manipulé, et mise en suspension très facilement. Une source d'énergie extérieure, comme l'échauffement de parties mécaniques d'équipement servant au transport des grains (par exemple une bande transporteuse), peut enflammer les particules de poussières, créer par conséquent un front de flamme et déplacement de molécules qui, en milieu confiné, produit un effet de suppression. Cette surpression entraîne l'éclatement du silo, des projectiles, ainsi qu'une onde de choc. Les risques d'ensevelissement sont grands, ainsi que de dégâts matériels à l'extérieur. Mais l'auto combustion, par fermentation des grains stockés, est également une source de danger, en provoquant des incendies.

Les évolutions technologiques, ponctuelles et plus graduelles dans le temps, comme, depuis une dizaine d'années, l'automatisation de certaines opérations et la présence de plus en plus d'outils informatisés (pour les prises d'échantillons, de mesures) utilisés notamment pour le contrôle continu de la qualité des produits, ont mené à une évolution des pratiques, mais également à une diminution du nombre d'opérateurs silos en exploitation. D'autre part, des modifications d'installations pour obtenir des débits plus élevés de déchargement des grains dans le but de s'adapter aux nouvelles capacités des barges de transport fluvial, ou encore, les modifications de la taille des camions des paysans sur les dernières années, indiquent une augmentation globalement des quantités chargées ou déchargées pour des unités de temps équivalentes.

Réglementation et inspection

Dans ce contexte d'accidents majeurs, une nouvelle réglementation s'est progressivement étoffée, au départ d'orientation plutôt prescriptive portant sur les types d'équipements de sécurité attendus (dans les années quatre vingt à la suite du premier accident, à Metz), comme des équipements adaptés aux atmosphères explosives, elle s'est ouverte à une approche orientée sur le management de la sécurité, suivant en cela les évolutions dans les domaines des installations classées pour la protection de l'environnement (à la fin des années quatre vingt dix et courant des années deux mille). Le dernier aménagement en date, en 2007, porte sur la demande d'une mise en œuvre par l'exploitant d'un retour d'expérience permettant d'identifier les presque accidents. Jusqu'à l'accident de Blaye en 1997, les pratiques d'inspection n'orientaient pas les contrôles sur ces installations, mais les choses ont changé par la suite. Poussés par la réglementation, mais aussi par la perception qu'ils se faisaient de ces systèmes, les inspecteurs ont été de plus en plus attentifs et ont passé plus de temps à les contrôler. Cette nouvelle réglementation a également amené, parmi d'autres éléments (qui seront approfondis ultérieurement), l'entreprise à établir une fonction sécurité et environnement, au début des années 2000.

Population

Le renouvellement à 50% de la population d'exploitation des silos de cette organisation dans les trois dernières années, associé au départ des anciens directeurs (directeur général et directeur d'exploitation, formant un binôme de longue date), ont contribué à de nouveaux modes de fonctionnement et d'arbitrages. Ces renouvellements se sont accompagnés d'une diminution du nombre d'employés en exploitation, pour un même nombre de silos, ce qui n'est pas sans poser un certain nombre de contraintes pour l'organisation du travail au niveau des secteurs pour les responsables métiers du grain en charge de la gestion des ressources humaines localement. Ces derniers points introduisent la question des changements et de leur impact sur la sécurité industrielle, ce qui est maintenant abordé.

Impact des changements sur la sécurité

Les éléments apportés sur les contraintes et les ressources de l'organisation ont permis de faire émerger un ensemble de changements sur les dernières années de nature technique, organisationnels, de population (et ressources humaines) ou encore réglementaires

(entraînant pour ces derniers, des conséquences sur le plan des inspections ainsi que sur le plan de l'organisation de la fonction sécurité dans cette entreprise). Bien entendu, c'est l'interaction de tous ces changements qui est intéressante, sur le plan de la sécurité industrielle. Le tableau suivant synthétise nombre de ces transformations (tableau 3), repérant les changements retenus comme pertinents entre le début des années 2000 et l'année 2007 (date de l'arrivée du nouveau directeur).

Tableau 3. Changements dans les dix dernières années

Avant 2000	A partir de 2007
Un responsable d'exploitation avec une expérience de la production et proche du terrain.	Un nouveau directeur sans expérience d'exploitation et plus éloigné du terrain
Des personnes expertes depuis des années avec des compétences et impliquées dans les silos, et un nombre adéquat de personnel pour l'exploitation.	Une arrivée progressive de jeunes, avec un autre rapport aux silos et à l'entreprise, qui vont devoir monter en compétence et qui demandent un encadrement pour cela, entraînant également une nouvelle interaction avec la hiérarchie dans l'organisation et choix des flux. Un nombre plus limité de personnel, entraînant des difficultés de gestion (absence, congés, etc).
Une proximité des chefs de secteurs par rapport à leurs équipes car des secteurs relativement réduits (moins d'une dizaine de silos) et présence d'une centralisation opérationnelle et décisionnelle.	Une plus grande couverture par les responsables métiers du grain par rapport aux secteurs précédents suite à la réorganisation (entraînant une gestion des flux plus complexe) et une délégation sécurité, en l'absence d'une fonction centralisée d'exploitation.
Une montée progressive dans l'organisation pour les positions d'encadrement.	Des 'sauts' pour certains d'entre eux, passant de magasinier à responsable métier du grain (dans la nouvelle structure) pour les profils prometteurs.
<p>Une circulation de l'information basée sur une distance réduite entre terrain et direction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chaîne hiérarchique réduite • Présence terrain de la direction 	<p>Une circulation de l'information différente, une distance plus grande entre terrain et direction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chaîne hiérarchique allongée (ajout d'un étage) • Moins de présence sur le terrain de la part de la direction
Le contrôle formalisé par l'intermédiaire des audits n'est pas l'axe majeur de la sécurité	Audits en parallèle mis en œuvre par un service sécurité (source de tension mettant en difficulté ce service) ainsi que par responsables métiers du grain
<p>Une pression réglementaire environnementale limitée</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peu d'exposition au regard extérieur de types inspection des installations classées • Peu de demande d'introduction de la sécurité dans les pratiques 	<p>Une réglementation (environnement, sécurité industrielle) omniprésente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un besoin de conformité important afin de répondre aux attentes de l'administration • Une couverture en cas de problèmes

- Une demande accrue de formalisation (source de conflit et sentiment d'ingérence)
-

Parmi tous ces changements, le changement de direction en 2007 et le nouveau choix de structure engagée, consécutivement, par cette nouvelle direction, figure comme majorant sur la conception organisationnelle (les autres évolutions repérées dans le tableau et leurs implications seront discutées par l'intermédiaire des autres dimensions du modèle). Le profil du nouveau directeur contraste en effet avec le précédent. Le directeur d'auparavant, expérimenté dans l'exploitation des silos, d'un profil technique et capable d'une supervision directe des activités opérationnelles, a été remplacé par un directeur moins technique, avec une connaissance beaucoup plus réduite de l'exploitation des silos. D'un abord moins 'paternaliste' que le précédent, ce nouveau directeur a une relation au terrain différente, moins proche (en partie car moins expert), participant à la transition de ce que certains qualifiait de 'culture familiale', (pour témoigner de la présence sur le terrain et d'un rapport chaleureux aux employés), à une autre forme de 'culture', un peu plus distante du terrain et avec une autre relation au personnel. Sans pour autant remettre en cause le changement, c'est plutôt l'appréciation des bons et mauvais côté de chaque profil qui sont bien souvent discutés. La forte implication du nouveau directeur, '*qui ne compte pas ses heures*', est par exemple soulignée par tous comme un point plutôt positif.

Pour palier au mieux à sa nouvelle fonction au regard de son expérience, le nouveau directeur a choisi de reconfigurer la structure de l'organisation, en créant de nouvelles positions, entre lui et les fonctions opérationnelles par secteur (alors au nombre de huit). Faisant monter d'un cran certains employés à des fonctions d'encadrement, il a souhaité se détacher de fonctions opérationnelles pour se consacrer à d'autres tâches (notamment stratégiques et de relation avec les autres coopératives proches, dans des perspectives de fusions à venir), et se retrouver en interaction directe avec seulement trois 'responsables métier du grain' (en charge des questions d'exploitation). Afin d'accompagner cette évolution de structure, il a procédé, avec le directeur des ressources humaines :

- à une description des nouvelles fonctions,
- à la mise en œuvre d'une grille d'audit support aux nouvelles fonctions, avec le double emploi pour cette grille de servir de système de remontée d'information, pour maintenir une vision des opérations,

- à une délégation de pouvoir aux nouveaux directeurs d'exploitation³¹⁵.

Conscient de l'enjeu de la transition, il affirmé un temps qu'avec les mesures d'accompagnement déployées, ce système prouverait son efficacité. Deux implications problématiques pour la sécurité industrielle ont pourtant découlé de cette nouvelle structure. La première est évidemment l'éloignement accru du directeur de l'exploitation réelle des silos, ainsi qu'une absence de centralisation experte au niveau de la direction en ce qui concerne les fonctions d'exploitation. D'autant plus que, malgré des efforts pour élaborer un système de remontée d'information, sans expérience d'exploitation, le directeur se trouve en difficulté pour remettre en cause ou repérer des problèmes non traités ou non remontés. Mais la seconde implication de ce changement de structure est la remise en cause de la centralisation de la fonction sécurité.

Positionnement et influence de la fonction sécurité

Comme indiqué précédemment, l'introduction de la fonction sécurité résulte de plusieurs tendances qui se sont alimentées. La première est l'augmentation des contraintes réglementaires (nouveaux textes orientés sur la sécurité industrielle, en particulier à la suite de Blaye en 1997) traduites par une présence progressivement accrue de l'inspection et une demande de formalisation des pratiques de gestion de la sécurité afin de rendre 'inspectable' la sécurité depuis un regard extérieur. La seconde est l'introduction dans les domaines de la qualité et de l'environnement (moins de la sécurité) de normes de management (ISO 9000 et 14000) qui ont exercé une pression pour la démonstration par l'entreprise de sa maîtrise de la production et de ses impacts environnementaux auprès de ses clients. Or cette vision d'orientation 'formalisée' ou 'procédurale' des pratiques d'exploitation s'est opposée à une vision autonome et experte que les opérationnels avaient d'eux-mêmes, vision partagée par la direction de l'époque. Le système jusqu'alors reposait sur une socialisation forte des opérateurs, par encadrement local des pratiques, et une implication forte de la génération à leur outil de production. La sécurité était alors partie intégrante du métier, plutôt qu'une expertise 'extérieure'.

³¹⁵ Cette délégation survient à la suite d'un contrôle inopiné de l'inspection qui aboutit à l'identification d'une situation non conforme (dépassement d'un seuil de poids maximum lors d'une manipulation). Cet écart a fait l'objet d'une condamnation (une amende) du directeur par le tribunal. A la suite de cet épisode, et sur la base des conseils d'un avocat, il cherche à limiter sa responsabilité et son exposition juridique, en particulier dans le contexte d'éloignement que la nouvelle structure engendre pour lui.

Certains opérateurs rencontrés lors de cette étude travaillaient depuis le début des années 80 sur ‘leur’ silo, avec une appropriation forte des lieux et des installations, engendrée par l’autonomie que la configuration décentralisée du système entraîne³¹⁶. En proposant une formalisation accrue des pratiques, sous forme de procédures, élaborées en partie de l’extérieur, une grande partie des employés, à tous les niveaux, l’a alors vu comme une remise en cause des principes qui avaient fait jusqu’à présent l’identité de métier, la reconnaissance de leur savoir et expertise³¹⁷, ce qui permettait, de plus, au système de reposer sur la confiance. Cette confiance avait un rôle fort dans la configuration décentralisée du système. Les débats portaient notamment sur la part de jugement que les opérateurs seraient alors capables d’exercer si tout devait figurer de manière précise dans les procédures. N’était-ce pas plutôt en effet l’expérience qui était garante d’un bon niveau de sécurité davantage que la procédure en elle-même ? Et celle-ci pouvait-elle être décrétée par des fonctions qui n’avaient jamais été opérationnelles, comme la sécurité ? Ce débat, en réalité toujours latent et porté par la responsable du service qhse (qualité, hygiène, sécurité et environnement), une femme de caractère, fournit des éléments sur la conceptualisation du travail et de la sécurité par les différents membres de l’organisation, mais montre également la place que joue la sécurité dans ces arbitrages.

Auparavant directement associée à la direction d’exploitation par l’ancien directeur, la nouvelle configuration positionne la fonction sécurité entre les nouveaux responsables d’exploitation et le nouveau directeur. Alors que pendant des années, la responsable qhse avait œuvré pour établir une position centrale dans l’organisation (et que celle-ci est encore parfois contestée sur la base d’une revendication d’identité de métiers), cette nouvelle structure la remet définitivement en cause. Ainsi, la question de savoir comment sont arbitrés les différends entre la fonction sécurité et les nouveaux responsables d’exploitation dans la nouvelle structure reste incertaine, en particulier par rapport au nouveau profil de direction, peu expérimenté. C’est ce qu’un incident récent a notamment illustré.

³¹⁶ Une étude a montré une situation comparable dans le domaine maritime avec la présence de cultures de métiers fortes, en opposition avec l’approche par procéduralisation. Antonsen, S. 2009. The relationship between culture and safety on offshore supply vessels. 47. 1118-1128. Safety science.

³¹⁷ Voir par exemple les travaux de Osty, F. 2003. Le désir de métier : engagement, identité et reconnaissance au travail. Presses Universitaires de Rennes.

Remise en cause à la suite d'incidents et sensibilité aux signaux faibles

La chronologie de l'incident est assez simple, un incendie s'est déclaré à la suite d'une auto-combustion de grains de colza dans des cellules d'un silo. Les raisons de cet accident sont assez explicites a posteriori, autant sur les plans techniques que des pratiques :

- Peu ventilé, le grain stocké n'a pas pu se maintenir en dehors des zones d'auto-échauffement.
- Peu surveillé, la montée en température résultante est passée inaperçue.
- Stocké dans un silo qui n'est pas vraiment conçu pour ce type de grain (qui sont les plus dangereux car les plus huileux et les plus difficiles à refroidir) le colza était suivi et travaillé par une nouvelle recrue tout juste formée, qui était de plus envoyée dans divers autres silos comme main d'œuvre d'appoint, lors de manque de personnel.
- Assez mal encadré par le nouveau responsable d'équipe, ces problèmes d'exploitation du silo ne seront pas corrigés, alors même qu'ils sont connus (ce sera un des principaux reproches du directeur au responsable d'équipe que de ne pas lui avoir fait part directement de ces difficultés).

D'autre part, le responsable d'exploitation au-dessus du responsable d'équipe ne joue pas vraiment son rôle. Il interfère dans les attributions de son responsable d'équipe en le contournant fréquemment pour solliciter le jeune opérateur afin de combler les absences sur d'autres silos. Il est assez peu communicant et ne prend pas en compte les avis des responsables d'équipes qui lui reprochent donc son manque de communication et ses prises de décisions unilatérales.

En décalage avec les pratiques de gestion des hommes et des activités de ces homologues responsables d'exploitation, ce nouveau responsable pose de nombreux soucis à la responsable qhse, qui est en conflit fréquent avec cet individu (celui-ci aura bénéficié de la réorganisation en montant de plusieurs crans d'un coup, grâce à une appréciation extrêmement positive de ses qualités par la direction et le responsable des ressources humaines, appuyés en cela par l'évaluation d'un cabinet extérieur). Un des problèmes de base est sa volonté de ne pas se conformer à certaines des injonctions de sécurité (notamment de mise en œuvre de règles de sécurité), tout en ayant le soutien de la direction, qui arbitre bien souvent en sa faveur, considérant que la responsable sécurité en fait trop.

Ainsi, au moment de la survenue de l'incendie, plutôt que de suivre les propositions de la responsable sécurité qui visaient à sécuriser la situation en vidant complètement la cellule du silo, le directeur choisira l'option décrite par le nouveau responsable d'exploitation, beaucoup plus conservatrice, consistant à sauver le grain qui pouvait être sauvé. A posteriori, ce choix est une erreur qui contribue à aggraver la situation. Il illustre bien le point de vue qui était alors favorisé par le directeur. Dans ce climat, le nouveau responsable d'exploitation, prenait des décisions qui n'allaient pas dans le sens des demandes de la responsable qhse. Cet incident démontre la difficulté pour le système de traiter les signaux en provenance de la fonction sécurité, mais également des informations d'autres sources, comme les responsables d'équipes ou de silos, qui sont plus éloignés qu'auparavant. De plus, cet incident est la répétition d'un scénario similaire survenu en 2004, dans un autre secteur de l'entreprise, qui avait été repéré à temps à l'époque et traité. Ce point questionne les capacités d'apprentissage de l'entreprise, sa capacité à tirer profit de ses expériences passées afin de ne pas répéter les mêmes types d'incidents. Cet incident ouvre également sur d'autres questionnements, qui se révèlent aussi à la lumière du fonctionnement normal, comme par exemple la qualité du contrôle par les regards extérieurs, interne et externe, mais également la qualité de la mise en place des barrières.

Qualité des regards extérieurs

Compte tenu du fait que l'entreprise possède 65 silos, il n'est pas envisageable que l'inspection des installations classées soit en mesure d'inspecter régulièrement l'ensemble des installations sur une année (voire plusieurs années), et les regards extérieurs par les autorités de contrôle sont donc relativement ponctuels. Même si ceux-ci ont considérablement augmenté ces dernières années, et ont participé à une augmentation très nette des investissements dans une conception plus sûre des installations, ils resteraient, selon les points de vue des employés de l'entreprise, très orientés selon un angle spécifique. Ils sont ciblés sur des points techniques, comme la qualité d'aspiration (qui a pour but de prévenir la présence de poussières dans les installations et donc de prévenir les risques de mise en suspension), sur des observations en termes de propreté des installations ou sur la traçabilité des procédures. Les accidents dans l'esprit des inspecteurs sont les explosions de poussières, et effectivement les risques technologiques principaux de ces installations. En focalisant sur ces aspects, visuels, plus aisés à évaluer et en rapport direct avec les risques

d'explosion, les données liées au travail réel ne sont pas abordées, et restent à la discrétion du profil de l'inspecteur. Au final, ce regard extérieur ne peut pas servir de point d'appui pour le maintien d'une vision d'ensemble du fonctionnement réel de tous les silos de l'entreprise. Seule l'entreprise a les moyens et est en mesure de répondre à ce besoin.

Ainsi, depuis quelque temps, un audit interne a été confié au service sécurité qui dispose d'une équipe d'employés de l'organisation formés comme auditeurs. A défaut de contrôle extérieur, comme cela est parfois possible dans de gros groupes industriels, cette entreprise doit donc fonctionner avec ses propres ressources. Les difficultés de cet exercice découlent du manque de compétences techniques des auditeurs, qui ne sont pas expérimentés dans l'exploitation des silos (ce qui les amène à utiliser de manière formelle les grilles d'audit, sans capacité de recul leur permettant d'exercer un jugement professionnel sur les situations qu'ils auditent). D'autre part, ce dispositif d'audit par le service qhse, se superpose à l'audit déployé par les responsables métier du grain, à la demande du directeur, suite à la nouvelle organisation. Ce second type d'audit, en parallèle, a pour ambition de servir de support aux responsables métiers du grain afin de s'assurer que la gestion des silos est bien assurée. Cependant, la superposition des deux dispositifs d'audits complexifie l'objectif de contrôle, l'un émanant du service sécurité, l'autre des responsables métier du grain, le statut au final de ces deux outils étant ambiguë. Cette confusion contribue à questionner la place du service sécurité par rapport aux responsables métier du grain. Cette problématique sous-jacente de la mise en place du regard extérieur a été parfaitement soulevée par l'analyse de l'incident qui a montré que la combinaison des deux dispositifs avait rendu l'appréciation de la situation délicate par le directeur qui était confronté à des évaluations quelque peu différentes. Ce dernier point questionne fortement la possibilité pour l'entreprise de garantir un niveau de regard extérieur (interne) adapté aux enjeux des changements qui sont survenus ces dernières années, pour permettre une appréciation du fonctionnement réel des architectures de sécurité déployées sur les silos.

Etat de fonctionnement des barrières techniques et humaines de sécurité

Les barrières conçues pour la prévention des scénarios d'explosion et d'incendie reposent ainsi sur une combinaison de technologies et de pratiques. Les scénarios d'explosion sont prévenus par, dans des proportions variées en fonction des silos :

- une aspiration des poussières permanente (automatisée par l'intermédiaire d'aspirateurs dans une grande partie des silos) et par,
- un nettoyage régulier réalisé manuellement.

Ces barrières sont destinées à la prévention de la présence de poussières en quantité suffisante pour, qu'en cas de mise en suspension de celles-ci, elles ne produisent pas un nuage inflammable. Si tel était le cas, là encore, d'autres mesures de prévention visent l'élimination des sources d'ignition ainsi que la réduction des surpressions en cas d'inflammation des poussières en milieu confiné :

- Interdiction de fumer afin de prévenir l'apport de source d'énergie, et gestion des points chauds (permis de feu).
- Capteurs d'arrêt à la suite de déport de bandes des tapis transporteurs susceptibles d'apporter des sources d'énergie en cas d'échauffement par frottement des bandes sur le métal, utilisation d'appareils certifiés pour atmosphères explosives.
- Events dans les structures qui permettent une réduction de la montée en pression, et découplage des installations.

En ce qui concerne les scénarios d'auto-échauffement du grain stocké, l'architecture de sécurité repose sur un suivi au quotidien des températures dans les silos ainsi que des principes de ventilation pour faire descendre les températures (qui est aussi un objectif de production, pour la qualité du produit). De nouveau, deux options existent en fonction de la conception des silos :

- un relevé automatisé par la présence de sondes de températures reliées directement à la salle de contrôle, qui enregistre et rend compte des évolutions de températures,
- un relevé manuel, qui fait l'objet d'enregistrement dans le contrôle informatique.

La qualité de cette architecture repose évidemment sur une supervision par l'encadrement des diverses pratiques de prévention (i.e. interdiction de fumer, suivi des températures). Si les moyens techniques déployés montrent que l'entreprise a une approche solide sur le plan des analyses des risques industriels et de la conception des installations (même si l'ensemble des 65 silos ne peut être évalué dans le détail), l'incident a aussi montré que certaines dynamiques locales pouvaient être jugées problématiques pour la mise en œuvre des bonnes pratiques de sécurité. Celles-ci reposent sur un ensemble de facteurs, dont la qualité de l'encadrement par le chef d'équipe, ainsi que la qualité de gestion des flux et des employés

par les responsables métiers du grain. L'erreur qui a consisté à laisser pendant trop longtemps du colza dans un silo non adapté, encadré par un jeune non formé et soumis à des conditions de travail inadapté résulte d'au moins trois aspects :

- la difficulté pour les responsables métier du grain et les responsables d'équipe de gérer l'activité étant donné les réductions d'effectifs des dernières années, qui rend les situations de manque de personnel fréquente.
- le manque d'accompagnement, de formation à la prise de poste des fonctions de la nouvelle structure (responsable métier du grain, responsable d'équipe) par des personnes, pour certaines d'entre elles, non expérimentées, mais également la charge de travail que représente la formation et prise en charge d'une nouvelle génération d'employés (renouvelant à 50% les effectifs).
- la difficulté pour les jeunes opérateurs silos de jouer le rôle assumé par les employés plus expérimentés dans le passé dans la résistance qu'ils opposaient aux choix parfois contraints (mais inappropriés) par les responsables métiers du grain dans les options de stockage des produits en rapport avec les flux de produits prévus et les caractéristiques des installations.

Ces observations montrent que les barrières de sécurité, en particulier celles reposant sur des pratiques, sont aujourd'hui, à la suite d'un certain nombre de changements, remises en question sur le plan de la qualité de leur mise en œuvre, même si ce constat ne peut s'appliquer à l'identique pour tous les secteurs de l'entreprise.

Discussion

Comme cet exemple l'illustre, l'évaluation de la sécurité industrielle telle que proposée repose à la fois sur des capacités descriptives et sur des capacités de jugement à caractère normatif. Ainsi il a été montré dans cette étude de cas comment diverses évolutions (internes et externes à l'entreprise) ont altéré certaines de ses capacités de gestion de la sécurité industrielle, dont témoignent les difficultés du service sécurité à faire valoir son regard, l'état de mise en œuvre de certaines pratiques faisant partie de l'architecture de sécurité, les problèmes du regard extérieur ainsi que la faible capacité d'écoute des signaux par la direction. Le manque d'appréciation de l'impact du changement de structure organisationnelle, couplée aux tensions engendrées par le renouvellement de génération, le

nombre plus limité de personnel, ainsi que la nomination d'employés à de nouveaux postes sans véritable programme d'accompagnement (responsable métier du grain, responsables d'équipes), a participé à l'affaiblissement de pratiques (constitutive de l'architecture de sécurité) contribuant par le passé au maintien de la sécurité sur le plan opérationnel.

Le résultat obtenu par le déploiement de cette approche est très hybride, il fait appel à de nombreuses sources de connaissances, réparties dans plusieurs disciplines, qui ont été introduites dans le chapitre rétrospectif (chapitre 2) :

- techniques (compréhension des phénomènes d'auto-combustion, de poussières, de ventilation et d'aspiration ainsi que d'automatisation, constituant les barrières, qui sont impliqués dans les activités de l'entreprise ainsi que dans l'accident),
- ergonomiques (place de 'l'erreur' et cognition d'un opérateur dans l'accident et l'impact de la conception de son poste ainsi que de sa situation de travail, dont des problématiques de conception),
- gestionnaire (bilan sur les dispositifs dédiés à la sécurité en place - audits, analyses de risques, retour d'expérience- changement de leadership et cognition des 'erreurs' de la direction et responsable métiers du grain, impact de la nouvelle structure organisationnelle),
- sociologique (prise en compte de la socialisation, de l'identité de métier et reconnaissance spécifique dans l'univers décentralisé et agricole des silos, jeux de pouvoirs autour de l'interaction entre services qhse et nouveau responsable d'exploitation par rapport à la direction),
- ou encore réglementaire (prise en compte de l'évolution de l'orientation prescriptive ou par objectif des textes, impact du poids de la responsabilité suite à contrôle de l'inspection) ou d'action publique (évolution de la perception des risques 'silos' par les inspecteurs, capacité de couverture limitée de l'inspection par rapport à l'ensemble des silos).

Ce résultat ne se concentre pas sur un seul de ces aspects mais les intègre dans une vision synthétique. Certes, toutes ces disciplines ont ici été utilisées à des degrés très divers dans cet exemple (les dimensions réglementaires et d'action publique sont abordées mais pas approfondies), mais les connaissances de ces domaines ont néanmoins été indispensables pour envisager le cas sous l'angle du modèle de sécurité industrielle. Elles ont permis de

sensibiliser à de nombreuses dimensions, tout en étant en mesure de les approfondir quand cela s'est avéré nécessaire, et lorsque cela était possible (par rapport notamment à l'accès aux données et au temps de collecte). Le résultat ressemble à ce qui se fait a posteriori pour les accidents majeurs, mais cette fois appliqué à une situation de fonctionnement normal (incluant une analyse approfondie d'incident). Il a sa propre cohérence interne par rapport à l'objectif d'évaluation, tout en déployant simultanément plusieurs registres en tension (descriptif/normatif ; mode normal/incident ; multi/interdisciplinarité, synchronique/diachronique) et permettant un accès à ces '*coupes, sondages et angles d'observations*' nécessaires à la saisie de la dynamique du système, orienté par le modèle. En particulier, la combinaison des deux approches, l'étude du mode normal et de l'étude de l'incident, contribue grandement à générer les types de données recherchés. Quelques éléments de discussion sont donc maintenant proposés sur ce thème.

En 'mode normal' il est possible de s'entretenir avec et d'observer les acteurs et collectifs au travail dans l'organisation, et en situation. Elle permet de comprendre les types d'interactions en place, les relations entre les services ainsi que la place de la direction et de son comité. C'est aussi l'occasion de comprendre la manière dont la sécurité a été technologiquement pensée par rapport aux scénarios à risques (ce qui requiert une compréhension et une analyse des risques technologiques), mais aussi la part de l'automatisation dans les procédés (et les conditions 'ergonomiques' d'exploitation), la manière d'aborder l'élaboration et la mise à jour des procédures qui sont au cœur des questions de sécurité.

Au-delà de la technique, cela permet également de comprendre comment la sécurité a été pensée cette fois sur le plan organisationnel, à savoir comment les analyses de risques sont organisées, avec quelle fréquence, de même pour les audits, le retour d'expérience ou encore la gestion des modifications. Ce dernier point introduit bien souvent la place et l'influence du service sécurité, dans ses interactions avec les autres services et la direction. Toutes ces questions sont orientées sur la base du modèle présenté dans le chapitre précédent, afin de saisir comment ses différents éléments interagissent dans le cas étudié. A partir de cette prise de connaissance du fonctionnement concret et réel de l'organisation, il devient intéressant d'aborder les problématiques de changements. Repérer quelles sont les évolutions passées, en cours ou à venir, les évolutions internes ou externes, qui vont venir modifier les conditions de mise en œuvre de la sécurité amène à une saisie dynamique de l'organisation.

Dans l'approche post-incidentelle, les enjeux de responsabilités et de fautes peuvent entraver les échanges, et peuvent aboutir, avec les acteurs de direction ou d'encadrement notamment, à des entretiens sans 'relief'. Par prudence, certains interlocuteurs sont tentés de ne pas trop en dévoiler, limitant d'autant leur exposition à la détermination de fautes. Ce raisonnement s'applique en fait à tout acteur, la direction en premier lieu mais les acteurs opérationnels y sont aussi souvent confrontés. Lorsque ceux-ci sont directement impliqués dans les événements accidentels (et toujours en mesure de les relater), leur réaction peut être de ne pas trop en dire, de masquer de nombreux détails qui ont néanmoins leur importance. Même s'il existe des façons de contourner ces biais en abordant les entretiens avec de nombreuses précautions ainsi qu'en croisant les données (entre acteurs mais aussi à partir des documents et enregistrements), ils sont toujours en arrière plan, et ne peuvent être complètement écartés. Malgré tout, cette approche possède des avantages, en particulier à la suite des incidents ou accidents non majeurs.

En effet, dans l'étude en mode normal, il est difficile pour les membres de l'organisation de bien identifier ce qui peut contribuer à diminuer ou améliorer le niveau de sécurité. Ce que montre au contraire parfaitement le retour d'expérience (rétrospectivement), c'est justement comment un ensemble de décisions, de changements ainsi que de problèmes technologiques configurent, selon un réseau de causalités complexes sous-jacent aux événements, le système pour l'accident. Ce regard rétrospectif dévoile aussi des 'zones d'ombres' parce que certains problèmes ne sont pas toujours simples à discuter dans l'étude du mode normal (comme des tensions entre individus arbitrées par la direction à la faveur de l'un plutôt que de l'autre).

Pour toutes ces raisons, il est très intéressant de mener sur un même cas, à des moments différents, ces deux types d'investigations (en mobilisant les différents regards disciplinaires). Le regard en mode normal montre comment le système tient, malgré les aléas rencontrés à tous les niveaux. Il peut donner le sentiment d'une capacité de l'organisation à faire face, malgré tout. Le regard par l'analyse d'incidents ou d'accidents (non majeurs) indique, sur le même cas, comment des dynamiques à l'œuvre dans l'organisation ont contribué à la configurer de manière propice à un événement. Ces deux modes d'entrée se rencontrent pour enrichir et apporter des données et regards contrastés pour l'exercice d'évaluation de la sécurité industrielle, sur la base du modèle élaboré.

Le résultat final représente clairement une forme d'agrégation hybride. Cet exercice rejoint alors ce que Pestre³¹⁸ remarque à propos des stratégies scientifiques à déployer, selon lui, face à la '*complexité intrinsèque du monde*' (et qui se rapproche alors dans une certaine mesure des conséquences qu'entraînent la notion de 'style' qui a été décrite dans le chapitre 3) '*Le risque est bien celui de l'éclatement, de la perte de la (sacro-sainte) cohérence. Mais tourner le dos à la complexité intrinsèque du monde n'est pas la solution, nous en convenons tous – et peut être vaut-il mieux des gammes d'images construites et d'a priori différents mais permettant de meilleures prises qu'une épure méthodologiquement imparable mais par trop partielle et infidèle à la variété des situations et des valeurs*'.

Ouverture, au-delà de l'évaluation, vers l'action

Par ailleurs, ce qui peut (ou doit ?) interroger, au-delà, c'est le résultat que mon interprétation produit dans la réalité, c'est-à-dire concrètement sur le mode d'action des membres de l'organisation, et ainsi sur le niveau de sécurité. De ce point de vue, c'est à une forme 'd'expérimentation sociale' à laquelle cette intervention participe et dans laquelle je m'engage. En me livrant en effet à cet effort d'interprétation de la situation et faisant part aux membres de l'organisation de celui-ci, c'est aussi à une transformation de leur représentation à laquelle je contribue directement. Leurs attentes sont aussi fortement teintées d'intérêts opérationnels et la présentation de cette interprétation seule ne peut garantir l'atteinte de l'objectif d'action, de transformation. Le succès de l'intervention, de cette 'expérimentation sociale', repose par conséquent sur la capacité, certes, à montrer la réalité peut-être différemment et à en débattre, mais aussi donc et surtout à suggérer des recommandations, qui permettront à l'organisation de maintenir ou de renforcer la sécurité industrielle, face aux changements. Ces recommandations s'inscrivent en cohérence avec l'évaluation et les interprétations proposées, ainsi que les échanges qu'elles ont engendré. Cette étape repose à ce moment sur une interaction forte entre propositions d'améliorations depuis un point de vue externe et possibilités par l'organisation, d'un point de vue interne, de se les approprier, de les traduire de manière autonome afin que celles-ci soient mises en œuvre³¹⁹. Cette étape est bien souvent négligée, comme cela a été rappelé par plusieurs

³¹⁸ Pestre, D. 2003. Controverses. L'analyse de controverses dans l'étude des sciences depuis trente ans entre outil méthodologique et objet de l'histoire des sciences. dans Lecourt, D. 2003 (ed). Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences. quatrième édition. Presses Universitaires de France.

³¹⁹ En dehors du champ de la sécurité industrielle, les interrogations autour des 'savoirs actionnables' ont déjà exploré cette problématique, voir par exemple, parmi une assez riche littérature, Les articles de synthèses de David. David, A. 2000 . la recherche intervention. Cadre de général pour la recherche en management ? dans David, A., Hatchuel, A., Laufer, R. Les nouvelles fondations des sciences de gestion. Op. cit ; David, A. scientificité et actionnabilité des connaissances en sciences

auteurs (dont Vaughan) à la suite de l'accident de la navette Columbia, *'les actions que les observateurs externes considèrent comme très importantes peuvent être difficiles à mettre en œuvre sur le plan opérationnel ou politique, et les actions que les membres de l'organisation considèrent légitimes ne sont pas forcément très efficaces'*³²⁰.

Les interprétations fournies ont fait l'objet d'échanges mais ont été retenues comme pertinentes par les membres de la direction, et les pistes de recommandations proposées ouvrent sur quatre axes, par ordre de priorité et d'impact, selon moi, sur la gestion de la sécurité du système. Ces recommandations et pistes sont en cours d'appropriation par l'organisation.

- Renforcer la position de la fonction sécurité dans les arbitrages du comité de direction (ce qui implique de repenser les modalités d'interactions entre le directeur, le responsable des ressources humaines et la responsable qualité, sécurité et environnement), faire en sorte que celle-ci trouve une place de nouveau centralisée dans la nouvelle organisation, tout en cherchant à mieux comprendre le poids des identités de métiers dans les questions de sécurité industrielle et les arbitrages (notamment autour des règles de sécurité), qui ne sont par ailleurs pas vécues à l'identique dans l'ensemble des secteurs et territoire de l'entreprise,
- valoriser les 'bonnes' pratiques (responsable métiers du grain, responsable d'équipes) sur le plan non technique en capitalisant les expertises des responsables métiers du grain expérimentés (rencontrés lors de cette étude et qui ont fait part de leurs approches de la fonction) et la centralisation d'une fonction d'exploitation pour maintenir une vision d'ensemble experte sur les activités (cette option avait semble-t-il été proposée dans le passé mais jamais mise en application, probablement pour des questions de coûts et de recrutement),
- la clarification du statut des audits et faire en sorte de hiérarchiser les risques (explosion de poussières, incendie dû à des auto-combustions, les risques d'accidents au travail, la propreté externe des silos, etc) tout en s'assurant que les audits ne seront pas des audits formels mais des démarches intégrant les questions de situations de travail,

de gestion : renversons la perspective !, dans Avenier, MJ., Schmitt, C. 2007. (dir). La construction des savoirs pour l'action. Lharmattan. Pour une autre synthèse proche de ce questionnement, mais sous l'angle sociologique, voir Minguet, G. 2001. Taxinomie de modèle sociologiques d'intervention, dans Vrancken, D., Kutu, O (eds) 2001. La sociologie et l'intervention. Enjeux et perspectives. De Boeck Université.

³²⁰ Farjoun, M., Starbuck, H.W., 2005. Lessons from the Columbia disaster. In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.

- renforcer le retour d'expérience (tel que demandé par la réglementation de 2007) et tirer partie des événements pour questionner les dimensions organisationnelles sous-jacente aux accidents, ce qui implique la mise en œuvre d'une démarche de remontée des incidents et presque accident au-delà de ce que l'entreprise a déjà mis en œuvre.

Ces quelques recommandations se basent sur les interprétations offertes par l'usage du modèle, mais seul le suivi et l'observation de leur mise en œuvre réelle pourra permettre de juger de leur pertinence, une fois traduites dans le quotidien de l'entreprise, transformée par les pratiques.

Conclusion

Conclusion

Les enjeux dans le domaine de la sécurité industrielle sont grands. L'exemple de l'accident de la plateforme offshore de BP DeepWater Horizon en 2010, qui a une nouvelle fois révélé la possibilité d'accidents d'ampleur dans des domaines que l'on pouvait penser en pointe en sécurité industrielle, nous le rappelle³²¹. Chaque nouvelle filière technologique semble s'accompagner de son ou de ses accidents emblématiques, comme le remarque le philosophe Virilio³²², dans une critique de 'l'emballement' de la technique, du Titanic en passant maintenant aujourd'hui, par Deep Water Horizon. Ce nouvel accident dans le domaine de l'exploration pétrolière en eaux profondes démontre combien une vision naïve et trop distante des contraintes du fonctionnement réel de ces couplages technologiques et sociaux mène à fréquemment sous-estimer la possibilité de ces événements. La citation de Latour exprime parfaitement pour l'aéronautique ce qui vaut pour tous les autres systèmes à risque *'Voler est une propriété d'association d'entités, prises comme un tout, comprenant les aéroports et les avions, les bases de lancement et les comptoirs de billets. Les Airbus ne volent pas, Air-France vole (...). Les boeings 747 ne volent pas, les compagnies aériennes volent'*³²³.

De nombreux domaines à risques sont concernés par ces questions d'accidents majeurs à la fréquence d'occurrence faible (nucléaire, transport ferroviaire, transport aérien, réseaux de distribution d'énergie, etc). Les développements en cours dans les domaines des nanotechnologies sont-ils les prochains?³²⁴ Ces nouveaux horizons technologiques, une fois en phase de production industrielle, seront peut-être, de la même manière que les technologies à risques actuelles, susceptibles d'engendrer des scénarios d'ampleur. Ils seront alors entre les mains d'organisations qui auront pour objectif de produire en sécurité, tout en s'insérant et s'adaptant à l'accélération des changements qui caractérisent leur environnement et le monde actuel³²⁵, et qui leur demande d'inventer des modes de fonctionnement tenant ensemble de nombreuses finalités contradictoires. Les demandes de

³²¹ Deep Water, The gulf oil disaster and the future of offshore drilling. Report to the president. National commission . 2011. Disponible à l'adresse suivante <http://www.oilspillcommission.gov/final-report>

³²² Virilio, P. 2003. L'accident originel. Editions Galilée.

³²³ Latour, B. L'espoir de Pandore. Pour une vision réaliste de l'activité scientifique. Op cité. p 237.

³²⁴ Bensaude Vincent, B. 2003. Faut-il avoir peur de la chimie ? La découverte.

capacité d'évaluation sont et seront donc importantes, autant du côté des pouvoirs publics que des industriels eux-mêmes. En guise de conclusion, je voudrais donc revenir sur les apports de mes travaux ainsi qu'ouvrir sur les chantiers empiriques (et méthodologiques) ainsi que théoriques (et philosophiques) qu'ils appellent. En effet au cours de ces cinq chapitres, de nombreux thèmes et problèmes ont été abordés, certains plus superficiellement que d'autres. Ces derniers méritent dans le futur de plus amples développements. Mais dans un premier temps, je reviens sur les apports de ces travaux dans le domaine de la sécurité industrielle.

Apport de ces recherches

Premier apport : un usage philosophique de la complexité

Le premier apport de ces recherches est de montrer l'intérêt d'un traitement du problème de la sécurité industrielle (et des accidents majeurs) par l'intermédiaire d'une approche à caractère philosophique de la complexité, telle qu'enseignée par les investigations de Morin. Rejoignant un philosophe comme Serres dans une réflexion d'avant-garde sur la remise en cause des dualismes de la nature et de la culture ainsi que du sujet et de l'objet, ce traitement de la complexité offre une perspective de recherche qui vise une stratégie cognitive de connaissance³²⁶. Ancrée dans les avancées scientifiques et philosophique de la seconde moitié du XXème siècle, cette (ces) pensée(s)³²⁷ réinterroge(nt) et relativise(nt) à cette occasion les 'piliers classiques' des sciences tels que le déterminisme, le réductionnisme, la causalité linéaire et l'objectivité, tout en participant, avec d'autres, à l'apparition dans le paysage conceptuel contemporain de notions de substitutions, alternatives ou concurrentes à ces piliers, comme celles d'émergence et de constructivisme.

L'introduction de cette (ou ces) pensée(s) fournit ainsi un arrière plan philosophique et épistémologique qui fonde les bases d'une conceptualisation des accidents majeurs et de la

³²⁵ Cette thèse de l'accélération comme caractéristique de la modernité tardive est soutenue, entre autre, dans Rosa, H. 2010 (2005). Accélération. La découverte.

³²⁶ Ces œuvres sont associées aux efforts conduits depuis des années par certains chercheurs pour réduire la fracture entre les deux cultures (des 'sciences dures' et 'sciences douces'), décrite et popularisée par Snow, P. 1959. The two cultures. Oxford University Press.

³²⁷ Malgré la grande proximité des deux projets intellectuels de Morin et Serres, il est important d'insister sur la distinction entre les deux, des différences existent évidemment, qui ne peuvent être explorées ici. Serres n'hésite pas à dire par exemple, dans un ouvrage d'entretiens sur le thème de la complexité dont le chapitre d'introduction est consacré à Morin et

sécurité industrielle. Cet usage spécifique de la notion de complexité se distingue d'autres usages que l'on retrouve en sociologie, gestion ou ergonomie. Ces disciplines ont en effet toutes fait de la complexité une catégorie de référence et de manière toujours propre à leurs objets (ou projets) dans le domaine de la sécurité industrielle (et les accidents majeurs):

- sous l'angle des installations techniques³²⁸
- sous l'angle de la cognition (et situations de travail de pilotes, opérateurs)³²⁹
- sous l'angle de l'organisation³³⁰,
- sous l'angle des 'macro-systèmes techniques' ou de la régulation³³¹

L'apport de ces recherches consiste à dégager la spécificité des implications d'une approche de la complexité

- sous l'angle philosophique et épistémologique.

Approcher la complexité sous l'angle philosophique et épistémologique revient à se dégager des utilisations précédentes. Si la complexité est une catégorie centrale pour la sécurité, mais cette fois philosophiquement, il convient d'adopter d'autres postures de recherche. Je suggère là trois principales implications, la suggestion d'un 'style', le retour de l'évènement et l'intrication des valeurs cognitives et morales entraînant la nécessité d'une réflexivité pour le chercheur.

La mobilisation d'un 'style'

Plutôt que d'envisager la compréhension des accidents majeurs (ou de la sécurité industrielle) sous l'angle d'une seule discipline qui viendrait apporter un éclairage spécifique, comme par exemple, l'éclairage de l'ergonomie, de la sociologie ou encore l'éclairage des sciences pour l'ingénieur etc, un autre regard est en conséquence privilégié et

dont le chapitre de fin à Serres, que '*Je n'aime pas beaucoup le mot de complexité (...) c'est je crois un faux concept philosophique*' dans Benkirane, R. La complexité, vertiges et promesses. Op. cit. p 388.

³²⁸ La référence à Perrow est évidemment incontournable. Perrow, C. Normal accident. Op. cit.

³²⁹ Je renvoie aux travaux des ergonomes, en particulier de l'ergonomie cognitive, avec par exemple Amalberti, R. La conduite des systèmes à risque. Op. cit. en particulier chapitre 4.

³³⁰ De très nombreux auteurs peuvent être ici convoqués, en sociologie, Vaughan, D. The dark side of organisation. Art. cit., ou en gestion, Starbuck Starbuck H. W., Farjoun M. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Art. cit., Weick,

³³¹ Avec par exemple Evan, M, W., Manion, M. 2002. Minding the machines. Preventing technological disasters. Op. cit, Giddens, A. Les conséquences de la modernité. Op. cit.

expérimenté. Ce regard a pour ambition de chercher à cadrer le problème de manière indépendante d'une affiliation disciplinaire établie, tout en créant des passerelles et points d'articulation entre les disciplines. L'image de la *'dépose par hélicoptère'* empruntée à Serres, expose je crois très simplement et de manière convaincante cette orientation de recherche que j'ai aussi proposé de caractériser comme un *'style'* face à la situation contemporaine des savoirs, utilisant en cela une lecture d'historiens et philosophes des sciences.

Les appels favorables à cette perspective dans le champ des accidents industriels (et de la sécurité industrielle) datent au moins des années soixante-dix *'l'étude de la nature et de l'origine des catastrophes est le type d'investigation qui est naturellement multi disciplinaire et la coopération entre des psychologues et sociologues, épidémiologues, ingénieurs et gestionnaires est nécessaire pour comprendre les liens compliqués entre les différents types et niveaux d'événement qui contribuent à la genèse des accidents.'*³³². Il ne s'agit donc pas de s'enorgueillir d'une grande originalité, d'autres travaux ont déjà montré la voie, mais ne sont pas si nombreux, et sont pour la plupart anglo-saxons. Ce choix de positionnement se veut ici modeste, je n'ai pas l'ambition de constituer une discipline à part entière, mais de fortement souligner la nécessité de cette orientation. Ce positionnement est particulièrement exigeant et risqué. Comme cela a été rappelé, les coûts cognitifs, sociaux et institutionnels des tentatives multi, inter ou transdisciplinaires existent. Cependant, il me semble que l'expérience se devait (et se doit) d'être tentée devant les enjeux de ces questions aujourd'hui. Et, opérer de la sorte, revient finalement à faire ce que l'ergonomie a par exemple été en mesure de faire depuis la seconde moitié du siècle dernier pour affirmer son indépendance et sa cohérence, c'est-à-dire, construire son identité sur un projet et à cette occasion s'émanciper de la tutelle des disciplines connexes (comme la psychologie, la biologie, etc) qui alimentaient alors (et toujours) sa réflexion et sa pratique³³³. L'exemple des sciences de gestion aurait pu aussi être mobilisé³³⁴.

³³² Turner, B, A. Man made disasters. The failure of foresight. Op cité. p 178.

³³³ Voir sur ce point par exemple les chapitres d'introduction au traité d'ergonomie dirigé par Falzon. Falzon, P. 2005 (dir). Traité d'ergonomie. Presses universitaires de France, et en particulier le chapitre 3. Leplat, J., de Montmollin, M. Les voisinages disciplinaires de l'ergonomie. Dans ce chapitre les auteurs distinguent deux approches à l'extrême d'un continuum *'selon que l'ergonomie met l'accent sur les emprunts aux disciplines voisines et sur les enrichissements qu'elles procurent ou sur l'articulation des apports de celles-ci au service des fins qu'elle vise (...) les positions entre ces deux positions sont naturellement nombreuses'*.

³³⁴ Pour en prendre connaissance, se référer aux discussions contenues dans les ouvrages suivants : Martinet, AC. 1990. Epistémologies et sciences de gestion. Economica ; David, A., Hautchuel, A., Laufer, R. Les nouvelles fondations des sciences de gestion. Eléments d'épistémologie de la recherche en management. Op. cit..

Entre biais rétrospectif et renaissance de l'évènement

Une autre implication est le retour de l'évènement, et son lien avec une causalité complexe, dans une culture qui a été façonnée par des décennies d'emprise du déterminisme et la recherche de lois comme définition même de la scientificité³³⁵ (physiques, mais aussi de l'histoire), insérées dans une philosophie positiviste, comme le rappelle Dosse *'Tout l'effort du positivisme consiste à refouler la force disruptive de l'évènement pour le pacifier dans un ordre établi'*³³⁶. Cette idée d'ordre et de lois s'amenuisant, elle donne place à l'incertitude, à un monde incertain. La conséquence pour l'observateur est qu'il doit rester modeste face à l'émergence, à l'inattendu dans l'évaluation en mode normal, les liens de causes à effets complexes, générateurs d'effets pervers, pouvant à tout moment le surprendre. *'Ainsi dévia l'histoire, romaine et universelle, à la vue du nez de Cléopâtre, dont César et Antoine apprécèrent tour à tour le galbe. Des causes à forces quasi nulle ou des actes dérisoires aujourd'hui, devenus décisifs demain, produiront des effets à ébranler existences singulières et empires mondiaux (...) une infime mutation peut entraîner l'émergence d'une espèce vivante dont le nombre occupera le globe'*³³⁷ Et à l'inverse, son regard rétrospectif sur les accidents industriels dont la part de travail historique est inévitable, doit par conséquent toujours tenter d'en tenir compte pour porter son jugement. *'Pouvons nous, de même, former quelque idée de l'état des choses au 15 juillet 1789, quand la Bastille, déjà prise, n'annonçait pas encore la révolution française ? Hommes de l'Ancien Régime, Turgot, Necker, Louis XVI ne prévoyaient rien de tel. Et maintenant, nous disons, à l'aise, qu'ils auraient dû deviner, au moins un peu, vers quelle rupture ils avançaient. Rien ne va jamais où l'on croit.'*³³⁸.

La réflexivité du chercheur sur l'intrication des valeurs cognitives et morales

Une dernière implication retenue est l'interrogation sur l'intrication des valeurs cognitives et morales de toute production scientifique. Elle entraîne la nécessité d'une réflexivité, que le chercheur ne peut plus écarter. Elle relativise, dans une optique constructiviste, sa position d'extériorité. Cette prise de conscience est assez récente chez les scientifiques, comme Serres l'illustre remarquablement par l'intermédiaire du souvenir d'un échange avec Monod,

³³⁵ Les débats virulents autour de la remise en cause du déterminisme au début des années 80, en sont les traces. Amsterdamski, S. 1990. La querelle du déterminisme. Gallimard (avec les contributions de Morin, Thom, Priogogine, Atlan, etc).

³³⁶ Dosse, F. Renaissance de l'évènement. Un défi pour l'historien : entre sphinx et phénix. Op. cit. p 29.

³³⁷ Serres, M. Rameaux. Op. cit. p 106.

³³⁸ Serres, M. Récits d'humanisme. Op. Cité. p 132.

qui déclarait à la fin de sa vie *‘J’ai ri longtemps des problèmes de conscience des physiciens parce que j’étais biologiste à l’Institut Pasteur ; en créant et proposant des remèdes, je travaillais toujours avec une bonne conscience, alors que les physiciens avaient pu verser du côté des armes, de la violence et de la guerre ; or, maintenant, je vois bien que la vague démographique du tiers monde n’aurait pu se former sans notre intervention ; je me pose donc autant de problèmes que s’en posaient les physiciens pour la bombe atomique ; la bombe démographique sera peut-être plus dangereuse’*³³⁹. Cette dimension est évidemment de premier plan pour le chercheur en sécurité industrielle qui a pour but de produire des modèles servant d’appui, dans la mesure du possible, à la prévention des risques technologiques majeurs.

Maintenant, quels sont les résultats de la mise en œuvre, dans un premier temps, méthodologique et théorique, de ce positionnement et de ces implications?

Deuxième apport : la production d’un modèle hybride d’évaluation de la sécurité industrielle, polarisant des ‘tensions’

Le deuxième apport de ces recherches est la production d’un modèle hybride d’évaluation de la sécurité industrielle, jusqu’alors absent de la littérature. Il polarise mais tente de faire tenir ensemble de manière problématisée différents types de ‘tensions’, au nombre de trois, qui sont maintenant rappelées.

La tension entre multi et interdisciplinarité

Porter un regard sur différentes disciplines à des fins d’articulation dans un objectif spécifique nécessite une tentative d’assimilation d’un grand nombre de modèles, de théories, de cas ainsi que de méthodologies. Ma tentative appliquée au domaine de la sécurité industrielle m’a orienté vers divers courants de recherches qu’il est possible d’identifier de manière générique aux sciences pour l’ingénieur, à l’ergonomie, à la sociologie, à la gestion, au droit ou encore aux sciences politiques. De manière générique en effet, car au sein de chacune de ces disciplines, seules quelques spécialités s’avèrent pertinentes. Une tension s’est instaurée néanmoins pour rester en capacité d’embrasser l’ensemble des sources pertinentes (qui ont été regroupés en ‘installation’, ‘cognition’, ‘organisation’, ‘régulation’),

³³⁹ Serres, M. Eclaircissements. Entretiens avec Bruno Latour. Op. cité. p 31.

tout en cherchant à les relier, les articuler afin d'obtenir un cadre cohérent. Cette tension est caractéristique du 'style' décrit précédemment. Pour Morin, c'est pleinement la '*tragédie de la complexité*', où '*nous sommes placés sans cesse devant l'alternative entre, d'une part, la clôture de l'objet de connaissance, qui mutile ses solidarités avec les autres objets ainsi qu'avec son propre environnement (...), et, d'autre part, la dissolution des contours et frontières qui noie tout objet et nous conduit à la superficialité*'³⁴⁰.

La nécessité d'élaborer un cadre, un modèle ayant pour but de contenir ces différentes sources et de les organiser s'est avérée indispensable au cours de mes études empiriques marquant du même coup l'ambition d'une transition du multidisciplinaire vers l'interdisciplinaire. Comme cela a été décrit, c'est par l'intermédiaire de la combinaison de deux modèles à caractère générique que celui-ci a pu prendre forme³⁴¹. Six dimensions principales sont reliées de manière dynamique, incluant les contraintes et ressources de l'organisation, les changements et leur impact sur l'architecture de sécurité, la sensibilité aux signaux, l'influence de la fonction sécurité ainsi que la qualité des regards extérieurs. Il permet de montrer que différents éclairages disciplinaires sont nécessaires pour apprécier une situation à chaque fois spécifique. Par rapport aux modèles actuellement proposés dans le domaine de la sécurité industrielle, il revendique un pluralisme théorique (et méthodologique), qui doit contribuer à l'objectif final d'évaluation. Chacun des points qui sont considérés dans cette proposition de modèle cadre fait donc référence à des apports spécifiques, et cette lisibilité contribue également à situer, dans un effort collectif qui rassemblerait plusieurs chercheurs porteurs d'ancrages disciplinaires distincts sur l'étude d'un même cas empirique, les contributions des uns et des autres, tout en maintenant leur spécialité.

La tension entre mode normal et analyse d'incident

Ce modèle a aussi pour singularité de convier à la manipulation de deux approches qui ont été bien souvent distinguées voire opposées dans la littérature : l'étude en mode normal et l'analyse d'accidents. Même si les arguments sont convaincants des deux bords pour légitimer l'intérêt et les spécificités de ces deux options, cette frontière n'est pas infranchissable pour la pratique du chercheur, bien au contraire. Un auteur comme Weick

³⁴⁰ Morin, E. La méthode, la connaissance de la connaissance. Op cité. p 29

³⁴¹ Ce modèle s'inscrit par conséquent tout à fait dans l'intention de plusieurs auteurs de rompre avec les présupposés 'classiques' de la sécurité et de proposer des modèles (ou paradigmes) alternatifs. Gilbert, C., Amalberti, R., Laroche, H., Pariès, J. 2007. Errors and failures : towards a new safety paradigm. Journal of risk research. Vol 10 n°7, 959-975.

n'a par exemple jamais eu de problèmes pour passer de l'une à l'autre, depuis ses premiers travaux sur le sujet. Il a étudié des accidents comme Tenerife, Mann Gulch ou encore Columbia³⁴², mais a aussi proposé des modèles basés sur le fonctionnement normal en contribuant aux réflexions 'HRO'. Il a travaillé ainsi sur la notion de culture de fiabilité ('*culture of reliability*') ou encore de '*collective mindfulness*'³⁴³. Il utilise ainsi cette dernière grille, élaborée dans l'objectif de produire un modèle de sécurité quelque peu normatif, au cas de l'accident de la navette Columbia³⁴⁴. Il part donc d'un modèle établi sur la base d'un raisonnement sur le mode normal pour l'appliquer sur une analyse d'accident. La richesse produite par les passages d'un mode à l'autre, sur le même cas, est au fondement du modèle hybride d'évaluation et constitue de ce fait une seconde forme de tension.

La tension entre description et normativité

En élaborant cette proposition, je m'inscris, enfin, dans cet 'entre deux' des recherches qui tentent de concilier une perspective descriptive tout en maintenant une capacité normative (comprenant l'évaluation, et puis dans un deuxième temps et dans certains cas, de prescription ou d'action). L'élaboration du modèle avait en effet aussi pour ambition de m'éloigner des principes d'audits figés par des principes normatifs simplistes passant à côté du réel³⁴⁵. Cette position génère une troisième tension car il est très difficile de trouver un positionnement intermédiaire juste, qui n'est qu'un 'idéal' impossible à atteindre. Elle requiert aussi une implication forte dans les opérations de restitution, de traduction et de recommandation. Elle demande une relation forte, un engagement avec ceux qui sont à la fois objets et sujets de la recherche, qui réagissent aux interprétations dans des domaines à risques où la sensibilité est grande, et balisée par un formatage particulier propres aux populations (ingénieurs, gestionnaires) et aux modes de pilotage de ces systèmes (notamment audits, indicateurs). La remise en cause de l'extériorité du chercheur comme la

³⁴² Weick, K. E. 1990. The Vulnerable System: An Analysis of the Tenerife Air Disaster. *Journal of Management*, 16, n°3: 571-593. Weick, K., 1993. The collapse of sensemaking in organisation. *Administrative Science Quarterly* 38, 628-652., 2005

³⁴³ Weick, K. 1987. Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review* 29, no. 2. 112-127; Weick, K., Sutcliff, K.M., Obstfeld, D., 1999. Organising for high reliability: processes of collective mindfulness. *Research in Organisational Behavior* 21, 81-123., Weick, K., Sutcliffe, K. 2007. *Managing the Unexpected*. San Francisco: Jossey-Bass ;

³⁴⁴ Weick, K. E. (2005). Making sense of blurred images: Mindful organizing in mission STS-107. In W. H. Starbuck and M. Farjoun (Eds.), *Organization at the Limit: Lessons from the Columbia Disaster* (pp. 159-177). Malden, MA: Blackwell Publishing.

³⁴⁵ Pour une critique de l'audit, comme déconnecté du réel, voir Power, M. 1997. p 140. *The audit society*. Oxford University Press, par exemple '*les images de maîtrise de pollutions et autres dérivés (...) sont construites par un processus d'audit qui s'isole nécessairement de la complexité organisationnelle dans le but de rendre les choses 'auditables' et produire des certificats de confort*'. (ma traduction, p 140).

reconnaissance des imbrications à la fois cognitive et morale de toute production scientifique sont de nature à amener une meilleure appréciation de cette étape encore bien souvent en retrait, voire non problématisée du tout.

Maintenant, quels sont les résultats empiriques de mes recherches ?

Troisième apport : Deux études de cas au cœur de la dynamique des accidents et de la sécurité industrielle

Le troisième apport de ces recherches consiste à illustrer concrètement le ‘style’ dont il a été question dans cette synthèse par l’intermédiaire de cas empiriques. Les deux études de cas présentées dans ce document sont bien différentes. L’une est réalisée à la suite d’un accident très grave, l’autre est réalisée en mode normal (tout en incluant l’étude d’un incident sérieux). L’une a été réalisée il y a quelques années, l’autre quelques mois de cela. L’une concerne un univers à risque avec une longue tradition de sécurité industrielle et des produits reconnus comme très dangereux (la nitroglycérine), l’autre avec une tradition de sécurité industrielle beaucoup plus récente, et des installations seulement depuis peu perçues comme à risque (les silos).

L’une est réalisée dans un site centralisé, l’autre est menée dans une organisation de type décentralisée. L’une est demandée par un tiers extérieur (le ministère), l’autre est une participation volontaire de l’entreprise. Je pourrais ainsi multiplier les différences à la fois sur le plan des organisations, des installations et du contexte ainsi que des spécificités méthodologiques propres aux deux cas. Est-ce à dire que ces deux cas ne sont pas comparables ? Je crois au contraire, que malgré les différences, le modèle de sécurité industrielle élaboré permet d’envisager des passerelles entre les deux, et indique de nombreuses similitudes intéressantes. Dans les deux cas en effet, indépendamment de leurs spécificités, je peux faire référence à des dynamiques, à des mouvements, à des changements se rapportant aux dimensions constitutives du modèle de sécurité industrielle. Ceux-ci sont suffisamment similaires pour les rapprocher, si je les considère d’un point de vue générique.

Ainsi dans les deux cas, les difficultés du service sécurité sont très claires. L’un a perdu son appui informel siégeant au comité de direction et se retrouve démuné pour faire remonter les messages de la réalité de terrain en haut lieu, l’autre se retrouve dans l’impossibilité de faire

valoir son point de vue face à un nouveau directeur qui privilégie une nouvelle recrue dans le cadre de sa réorganisation nouvellement impulsée. Dans les deux cas également, des changements de directeurs ont eu lieu, tous deux sans grande expérience opérationnelle qui doivent dès lors réorganiser leur système pour y palier. L'un opte pour une stratégie de dépendance beaucoup plus grande à l'égard du responsable production (à la défaveur du responsable sécurité), l'autre opte pour un changement de structure organisationnelle qui nécessite la montée de personnel à de nouvelles positions. Ces deux options contribuent à une gestion beaucoup plus distante des activités réelles que leurs deux prédécesseurs. Dans les deux cas, la qualité des regards extérieurs est fortement posée. L'un n'a pas eu de visite par l'inspection (experte dans le domaine de la pyrotechnie) depuis de nombreuses années et a cessé les audits croisés entre ses sites depuis quelques temps, l'autre ne peut pas compter sur l'inspection pour couvrir l'ensemble de ses 65 silos et a des difficultés dans la mise en œuvre de ces audits internes (pour cause de superposition de dispositifs de contrôle). Enfin et pour terminer sur cette illustration de points communs choisis, dans les deux cas, des écarts de suivi des règles de sécurité sont identifiés. Pour l'un, un opérateur expérimenté s'écarte (entre autre) de la répartition prescrite des rôles et responsabilités pour faire face à une situation de manque d'effectif, dans l'autre un jeune employé peu expérimenté manque de relever les températures de grains dans un contexte d'encadrement plutôt distant et des conditions de travail compliquées.

Je reconnais malgré tout qu'avec tous ces points communs le trait est forcé. Dans toutes ces similitudes sur les thèmes clés du modèle, je constate aussi tellement de nuances qui font que, par exemple, la perte d'influence du service sécurité repose sur différents 'mécanismes', ou encore que les cas d'écarts à la règle sont de différente nature, etc. Ce qui montre toujours la singularité des cas, même dans un effort de montée en généralité comme avec le modèle proposé, même si celui-ci constitue un important repère. Si les éléments du modèle sont peut-être nécessaires, ils ne sont pas toujours suffisants, et c'est ce qui fait la complexité de la sécurité industrielle (et des accidents).³⁴⁶ Et puis évidemment, dans l'un, les nombreux mouvements repérés a posteriori conduisent à un accident très grave, dans l'autre, ce n'est pas le cas, malgré un incident sérieux. Ce dernier point indique que dans l'un, leurs

³⁴⁶ Comme Serres le précise 'on appelle 'condition nécessaire' ce sans quoi un phénomène n'existerait pas. Par exemple s'il n'avait pas eu de père et mère, tel fils n'existerait pas ; maigre découverte. Tout au contraire, la condition suffisante épuiserait absolument l'existence entière et tous les détails de cet enfant : la couleur de ses cheveux, de ses yeux, le dessin de ses mains, son profil, ses maladies, finalement son destin et sa singularité. La condition suffisante épuise les questions. Qui ne la voit inaccessible ? Or, lesdites théories ne donnent jamais que des conditions nécessaires pour une œuvre donnée, sans jamais accéder à la suffisance.' Serres, M. 2010. Jules Vernes. L'enchantement du monde (conversations avec Jean-Paul Dekiss). Le Pommier. p 145.

agrégations ont entraîné un effet pervers d'une plus grande intensité que dans l'autre. C'est la technologie, les types d'installations, la dangerosité des procédés et surtout le type de scénarios en relation avec tous ces mouvements qui l'expliquent en grande partie. Dans le premier cas, il s'agit de scénarios de risque d'explosions à très grande cinétique au sein d'un site avec du personnel présent à proximité dans un environnement très restreint, dans le second cas, il s'agit d'un incendie de grains de colza à cinétique lente dans un silo à l'air libre avec très peu (voir quasiment pas) de personnel alentour. Ce dernier point confirme l'importance de prendre en compte de manière simultanée, combinée et articulée, les questions d'ordre technique et les questions d'ordre social. Sans ce lien, ni la description, ni l'évaluation n'ont de prise pertinente sur le problème de la sécurité industrielle. Ce point démontre aussi l'importance de mettre en œuvre un programme empirique et théorique de comparaison encore plus approfondi dans le futur pour avancer dans la qualité des évaluations, en capitalisant les cas. La possibilité d'étalonner les paramètres, comme l'intensité, le nombre, la fréquence et le type de changements par rapport à telle ou telle dimension du modèle de sécurité industrielle est un objectif important. Je reviendrai sur ce point dans la partie consacrée aux suites de ces recherches.

Mais ce dernier point pose également la question de savoir si l'application du modèle a permis de faire tenir ensemble de manière satisfaisante les tensions contenues dans celui-ci. Chacune des études de cas est une configuration spécifique à l'intersection de tensions sur les axes de la multi ou interdisciplinarité, l'étude du mode normal et/ou d'un accident et les finalités de description et d'évaluation (voire d'action), en 'proportion' distincte. Le positionnement décrit s'est-il avéré empiriquement concluant ou non (en particulier en rapport avec la tension entre multi et interdisciplinarité qui est probablement la plus exigeante des trois) ? Si elles montrent la possibilité de procéder selon le 'style' qui a été défini, en combinant les différents regards, le résultat est évidemment de nature à frustrer chacun des tenants des différentes disciplines mobilisées car l'objectif que ce travail s'est donné ne correspond véritablement à aucune, prise isolément. Dans les deux cas en effet il a fallu successivement emprunter (mais aussi parfois laisser dans l'ombre en fonction des spécificités des données de terrain propres à chaque cas), des connaissances, concepts et modèles qui proviennent de divers horizons, tout en cherchant à obtenir une vision d'ensemble dynamique cohérente répondant à la finalité d'évaluation. Cette question doit demeurer un axe d'approfondissement dans le futur, ce passage du multidisciplinaire à l'interdisciplinaire se faisant en marge des circuits académiques traditionnels, étant donné

son caractère innovant et hors des sentiers battus. Ceci permet la transition sur la suite, sur les chantiers qu'appellent ces recherches. Ces chantiers sont regroupés entre problèmes empiriques (et méthodologiques) et problèmes plutôt théoriques (et épistémologiques).

Les chantiers à venir

Ces premiers résultats de recherches sur le thème de la sécurité industrielle et des accidents ne font qu'ouvrir sur une série de questionnements, de besoins d'approfondissements dans les domaines empiriques et théoriques. Dans cette dernière partie de la conclusion, je voudrais indiquer succinctement quelles sont les orientations à venir dans la continuité de ces recherches.

Sur le plan empirique (et méthodologique) : constituer une bibliothèque de cas

Un axe important des recherches dans ce domaine est évidemment d'accumuler des études empiriques afin de pouvoir apprécier les différentes dynamiques auxquelles sont soumises les organisations à risque, sur la base du modèle proposé. La qualité de l'évaluation reposera aussi sur la possibilité de documenter une 'bibliothèque de cas' à laquelle se reporter pour consolider l'élaboration d'un jugement fondé. Certaines régularités pourront peut-être apparaître. Certaines configurations ou combinaisons spécifiques s'avéreront peut-être plus problématiques que d'autres de manière plus précise grâce à cette accumulation de données empiriques. Comme ces deux cas l'ont bien montré, l'univers des installations classées pour la protection de l'environnement est vaste, et se côtoient dans cette très vaste catégorie, des systèmes centralisés ou décentralisés, très ouverts ou plutôt fermés, exploitant des procédés à cinétique lente ou rapide, très automatisés ou peu automatisés, etc. Entre un dépôt pétrolier, une usine de la chimie fine, une entreprise stockant des grains dans des silos, une raffinerie ou une entreprise de transport gazier, les contraintes 'structurelles', technologiques et organisationnelles, sont très contrastées.

Bien que l'accident soit toujours latent dans les systèmes complexes et qu'il faut en conséquence comme cela a été répété mainte fois déjà, rester très modeste, de nombreux progrès sont envisageables dans ce domaine. Seule une approche empirique (combinée à des développements théoriques) pourra permettre d'avancer sur ce point. Idéalement, elle

pourrait être le fruit de la collaboration de plusieurs spécialistes de leur discipline, qui viendraient se caler sur la trame proposée par le modèle. Des travaux sont déjà en cours, et ont pour ambition ainsi de rendre compte de la diversité des installations classées. La méthodologie de cette approche nécessitera également d'être davantage formalisée afin que son usage puisse être transmis et diffusé, un travail qui est également en cours (cet aspect méthodologique a été quelque peu mis en retrait dans cette synthèse).

Bien sûr, souscrire à cette idée consiste à s'inscrire dans ce que je propose d'appeler ici 'l'hypothèse forte'. Elle repose sur l'idée, pour l'évaluation de la sécurité industrielle, qu'il est possible d'inférer de la dynamique d'un système un certain niveau de risque, une probabilité plus grande d'avoir un accident majeur. Cette proposition est bien contenue dans la citation suivante, *'la probabilité qu'une technologie telle que la navette spatiale subisse des échecs varie dans le temps comme une propriété de l'organisation. De la même manière que la probabilité de défaillance de composants techniques tels que les joints ou les tuiles est plus élevée dans des conditions météo particulières, les systèmes technologiques deviennent plus vulnérables quand ils sont gérés par des organisations qui ont vécu de longues périodes de succès, un grand turnover et des réductions d'effectifs, ou n'ont pas été en mesure d'apprendre de leur expérience'*³⁴⁷. Elle s'oppose à l'hypothèse faible, qui est formulée, sans surprise, par Perrow *'Si nous faisons une expérience de pensée dans laquelle nous allons dans une usine sans problème mais imaginons qu'elle vient de subir un accident, nous serions amené à conclure qu'un accident était sur le point de survenir ('waiting to happen')'*³⁴⁸. Selon ce dernier point de vue, il est impossible de discriminer le mode sûr du mode non sûr (ou encore le 'pathologique' du 'normal'). C'est une hypothèse faible pour l'évaluation de la sécurité industrielle selon laquelle elle n'est pas en mesure d'anticiper un accident.

Sur le plan théorique (et philosophique)

Les développements théoriques concernent bien entendu dans un premier temps la qualité des articulations disciplinaires qui ont déjà été proposées ici, tout en continuant à identifier des articulations (des disciplines) qui seraient pour le moment absentes du modèle mais qui pourraient se révéler pertinentes. Dans le prolongement de ce point, le modèle de sécurité

³⁴⁷ Starbuck H. W., Farjoun M. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Art. cit. p. 360

³⁴⁸ Perrow, C. 1999. Normal accident. Second edition. Princeton University Press. p 319.

industrielle sera peut-être amené à évoluer, soit par l'incorporation de nouvelles dimensions (à la suite d'études de cas ou d'apports disciplinaires complémentaires ou de spécialités développées dans les disciplines déjà mobilisées), soit par déclinaisons spécifiques aux différents types d'installations à risques, et nécessiteront peut être des aménagements du modèle en conséquence.

Mais les emplois de différentes expressions dans les chapitres de cette synthèse feront également l'objet de clarifications conceptuelles afin qu'elles soient mobilisées dans des sens toujours appropriés et mieux circonscrits. Je pense en particulier aux notions d'émergence et de constructivisme. Je peux lire régulièrement que '*la sécurité (ou un accident) est une propriété émergente*' ou encore '*que la sécurité (ou un accident) est socialement construite*'. Or, en fonction de l'angle choisi, la notion d'émergence peut prendre plusieurs significations (comme je l'ai montré pour la notion de complexité). En sociologie par exemple, elle est utilisée à la fois par les tenants d'une approche individualiste avec une définition évidemment différente (prônant en particulier les effets d'agrégation) ainsi que par les tenants d'une approche plus holiste (insistant sur l'émergence de structures sociales indépendantes des individus et les contraignants). C'est aussi, comme on l'a vu, une notion introduite en philosophie pour s'opposer à la fois à l'approche réductionniste et à la fois introduire le retour de l'événement³⁴⁹. La notion d'émergence met l'accent alors respectivement dans ces deux exemples (sociologie, philosophie) sur des propriétés soit synchroniques soit diachroniques. La combinaison des deux à la fois est souvent implicite, mais cela nécessite discussion.

Une situation similaire est rencontrée pour le constructivisme. Je lis souvent que '*la sécurité est socialement construite*', ou que '*les modèles d'accidents sont des construits plutôt que de 'vrais' modèles*' etc...La notion de 'constructivisme' désigne d'abord une opposition épistémologique et philosophique au réalisme. Le constructivisme peut alors être biologique, cognitif ou social. Il s'inscrit de fait dans des écoles de pensées un peu différentes qui ne communiquent pas nécessairement entre elles. L'approche d'inspiration biologique ou cognitiviste n'est pas complètement similaire au constructivisme social, même si elle partage évidemment certains traits. Le constructivisme est ensuite un terme sociologique d'opposition au naturalisme, c'est-à-dire à la part biologique du comportement de l'homme. Plutôt que de chercher les déterminants biologiques du comportement, il est postulé que

³⁴⁹ Dont un ouvrage récent confirme bien l'actualité Bessin, M., Bidard, C., Grossetti, M. 2010. (ed) Bifurcations. Les sciences sociales faces aux ruptures et à l'événement. La découverte ; en plus de l'ouvrage de l'historien Dosse, déjà cité. Dosse, F. La renaissance de l'événement. Op. cit.

pour comprendre l'homme, il faut au contraire insister sur la construction sociale de la réalité, sur l'institutionnalisation qui génère les 'structures' indépendantes de l'homme qui agissent sur/en lui. Celles-ci contraignent les individus en société. Ces deux usages distincts, philosophiques et sociologiques, montrent l'intérêt d'une clarification.

Une recherche en 'mode 2', au carrefour de disciplines scientifiques

Tous ces apports et orientations des chantiers à venir dessinent les contours d'une recherche en sécurité industrielle qui a pour vocation d'inventer un espace en 'mode 2'³⁵⁰, finalisé, multi et interdisciplinaire où différents spécialistes sont en mesure de collaborer afin de participer à améliorer la prévention des risques technologiques majeurs liant en un continuum les thèmes de la compréhension (description), de l'évaluation et de la transformation de ces systèmes complexes à risques. Il s'agit d'un enjeu ambitieux mais important imbriquant les dimensions empirique, méthodologique, théorique et épistémologique, et auquel j'espère pouvoir participer et contribuer, en compagnie d'autres chercheurs, qui ont déjà parcouru ce '*no man's land*' de tiers instruits³⁵¹, et de nouveaux qui viendront s'y joindre.

³⁵⁰ Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., Trow, M. The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies, Op. cit. ; Nowotny, H., Scott, P., Gibbons, M. Repenser la science. Op. cit.

³⁵¹ Serres, M. Le tiers instruit. Op. cit.

Références

- Amalberti, R., Fuchs, C., Gilbert, C (dir), 2003. Risques, erreurs et défaillances, approche interdisciplinaire, actes de la première séance du séminaire 'le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations dans les activités à hauts risques, CNRS-ministère de la Recherche, Grenoble, publication de la MSH-Alpes, 2001.
- Amalberti R. 2001. The paradoxes of almost totally safe transportation systems, *Safety Science*, 37, 109-126.
- Amalberti, 2001, La conduite des systèmes à risques. Presses universitaires de France
- Amalberti, R., Theureau, J., . 1987. Modèles dans le travail...
- Amsterdamski, S. 1990. La querelle du déterminisme. Gallimard.
- Andler, 2002. Processus cognitifs. In Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002a. Philosophie des sciences. Volume 1. Folio essai.
- Antonsen, S. 2009b. The relationship between culture and safety on offshore supply vessels. *Safety science*.vol. 47, n°8, pp. 1118-1128.
- Antonsen, S. 2009a. The relationship between culture and safety on offshore supply vessels.47. 1118-1128. *Safety science*.
- Aggeri F., Labatut J. 2008. La gestion au prisme de ses instruments. Une généalogie des approches par les instruments en gestion, Conférence de l'AIMS, Sophia-Antipolis, 28-30 mai, 19p.
- Aron, R. 1967. Les étapes de la pensée sociologiques. Gallimard.
- Baker panel. 2007. The report of the BP U.S. refineries independent safety review panel.
- Barnard, C. 1938. The function of the executive. Harvard university press.
- Benkirane, R. 2003. Complexité, vertiges et promesses. Dix huit histoires de sciences. entretiens avec Edgar Morin, Ilya Prigogine, Francisco Varela... Editions du pommier.
- Bensaude-Vincent, B. 2009. Les vertiges de la technoscience. Façonner le monde atome par atome. La découverte.
- Beck. 2001 (1984). La société du risque. Editions de la découverte
- Beck, U. 1998. Politics of risk society, dans Franklin, J. (ed.), 1998. The politics of risk society, cambridge, polity press.
- Beck, U., Giddens, A., Lash, S. 1994. Reflexive modernization : politics, tradition and aesthetics in the modern social order. Cambridge. Polity Press.

- Bedau, M., Humphreys, P. 2008. *Emergence: Contemporary Readings in Science and Philosophy*, (eds), MIT Press.
- Bensaude-Vincent, B. 2009. *Les vertiges de la technoscience. Façonner le monde atome par atome. La découverte.*
- Bensaude Vincent, B. 2003. *Faut-il avoir peur de la chimie ? La découverte.*
- Bergson, H. 1913. *L'évolution créatrice.* Disponible à l'adresse suivante www.classiques.uqac.ac.
- Besnier, JM. 2009. *Demain, les posthumains.* Hachette.
- Boltanski, L. 2009. *De la critique. Précis de sociologie de l'émancipation.* Gallimard.
- Bonnaud, L. 2005. L'évolution de la figure de l'inspecteur des installations classées depuis les années 1970, *Politix*, vol. 24, n° 69, p. 131-161 ;
- Borraz, O., Guirandon, V. 2008. *Politiques publiques. La France dans la gouvernance européenne.* Presses de Sciences Po.
- Borraz, O., Gilbert, C. 2008. *Quand l'état prend des risques*, dans Borraz, O. ; Guirandon, V. *Politiques Publiques. La France dans la gouvernance européenne.*
- Boudon, R. 2002. *Y a t-il encore une sociologie ?* Odile Jacob.
- Boudon, R. 1984. *La place du désordre. Critique des théories du changement social.* Presses universitaires de France
- Boudon, R. 1979. *La Logique du social,* Hachette;
- Bourricaud, F. 1977. *L'individualisme institutionnel, essai sur la sociologie de Talcott Parsons.* Presses Universitaires de France.
- Bourrier, M. 2007. *Risques et Organisations*, in *Face au Risque*, Claudine Burton-jeangros, Christian Grosse et Valérie November (Eds.), *L'Equinoxe*, Collection de sciences humaines, Genève, Georg Editeur :
- Bourrier, M. 2003. *Facteurs Organisationnels: Du neuf avec du vieux, Réalités industrielles*, *Revue Annales des Mines*, n° spécial Sciences et génie des activités à risque, Mai, 19-22.
- Bourrier, M. (eds), 2001. *Organiser la fiabilité.* L'harmattan.
- Bourrier, M. 1997. *Elements for designing self-correcting organizations: examples from nuclear power plants*, in Hale, A., Baram, M (eds) *safety management and the challenge of organizational change.* Elsevier.
- Bourrier, M. et H. Laroche. 2001. « *Risque et défaillance : les approches organisationnelles* », dans R. Amalberti, C. Fuchs et C. Gilbert (dir.), *Risques, erreurs et défaillances : approche interdisciplinaire*, Grenoble, Publications de la MSH-Alpes,
- Bunge, M. 2003. *Emergence and convergence.* University of Toronto Press.
- Cassé, M., Morin, E. 2003. *Enfants du ciel : entre vide, lumière, matière.* Odile Jacob.

- Ceruti, M. 1994 (1986). Constraints and possibilities. The evolution of knowledge and the knowledge of evolution. Routledge.
- Claverie, B. 2010. Pluri-, inter-, transdisciplinarité: ou le réel décomposé en réseaux de savoir. Projectique. 2010/1 (n°4).
- Cometti, JP. 2010. Qu'est ce que le pragmatisme ? Gallimard.
- Coppens, Y., Picq, P. (dir) 2002. Aux origines de l'humanité. 2 volumes
- Crandall, B., Klein, G., Hoffman, R, B. Working. Minds: A Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis. Cambridge, MA: The MIT Press, 2006.
- Crombie, A. 1996. Styles et traditions de la science occidentale. Alliage. 26. Dans Braunstein, JF (textes réunis par) 2008. L'histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses. Vrin.
- Crozier, M., Friedberg, E. 1977. L'acteur et le système. Seuil
- Crozier, M. 1963. Le phénomène bureaucratique. Seuil.
- Cusset, F. 2003. French theory. Foucault, Derrida, Deleuze, & Cie et les mutations de la vie intellectuelle aux Etats-Unis. La découverte.
- Daniel, JY. 2006. (dir) Sciences de la terre et de l'univers. Vuibert*
- David, A. 2007. Scientificité et actionnabilité des connaissances en sciences de gestion : renversons la perspective !, dans Avenier, MJ., Schmitt, C. 2007. (dir).
- David, A. 2000. la recherche intervention. Cadre de général pour la recherche en management ? dans David, A., Hatchuel, A., Laufer, R. Les nouvelles fondations des sciences de gestion.
- David, A., Hautchuel, A., Laufer, R. 2001. Les nouvelles fondations des sciences de gestion. Eléments d'épistémologie de la recherche en management.
- Decrop, G., Gilbert, C. 1993. L'usage des politiques de transition : le cas des risques majeurs. Politique et management public. Vol 11. n°2.
- Deep Water, The gulf oil disaster and the future of offshore drilling. Report to the president. National commission . 2011. Disponible à l'adresse suivante <http://www.oilspillcommission.gov/final-report>
- Dosse, F. 2010. La renaissance de l'événement. Un défi pour l'historien : entre sphinx et phénix. Le nœud gordien. Presses Universitaires de France.
- Douglas, M., & Wildavsky, A. B. 1982. Risk and Culture: An essay on the selection of technical and environmental dangers. Berkeley: University of California Press.
- Dupré, M., Etienne, J., Le Coze, J-C 2009. L'interaction régulateur régule: considerations a partir du cas d'une entreprise Seveso II seuil haut, Annales des Mines: Gérer et comprendre, 97: 16-27.

- Dupuy JP. 2004. Quand les technologies convergeront, *Revue du MAUSS* 1/2004 (n° 23), p. 408-417 ;
- Dupuy, JP. 1981. Ordres et désordres. Enquête sur un nouveau paradigme. Seuil.
- Evan, M, W., Manion, M. 2002. Minding the machines. Preventing technological disasters. Prentice hall ;
- Fagot Largeault, A. 2002. L'émergence. dans Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002b. Philosophie des sciences. Volume 2. Folio essai.
- Farjoun, M., Starbuck, W, H., 2005, Lessons from the Columbia disaster. In In: Starbuck, H.W.,Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing
- Farjoun, 2005. History and policy at the space shuttle program. In: Starbuck, H.W.,Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.
- Fassin, M., Bidard, C., Grossetti, M. 2010. (ed) Bifurcations. Les sciences sociales faces aux ruptures et à l'événement. La découverte.
- Faverge, JM. 1970. L'homme agent d'infirmité et de *fiabilité* du processus industriel, *Ergonomics*, Vol. 13, n° 3, 301-327.
- Feenberg, A. 1999. Questioning technology. Routledge.
- Ferrarese,E. 2007. Niklas Luhmann. Une introduction. Agora.
- Feyerabend, P., K . 1975. Contre la méthode. Seuil.
- Fischhoff, B. (1975). Hindsight≠foresight: The effect of outcome knowledge on judgment under uncertainty. *Journal of xperimental Psychology: Human Perception and Performance*, 104, 288–299.
- Fleck, L. 2008 (1935) Observation scientifique et perception en général. Dans Braunstein, JF (textes réunis par) 2008. L'histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses. Vrin
- Friedberg, H. 1993. Le pouvoir et la règle. Seuil.
- Gardner, H. 1985. Histoire de la révolution cognitive. Payot.
- Gell Mann, S. 1995. Le quark et le jaguar. Flammarion.
- Gibbons, M., Limoges, C., Notowny., Schwartzman, S., Scott, P., Trow, M. 1994. The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies, Sage, Londres;
- Giddens, A. 1993. (1991). Les conséquences de la modernité. L'harmattan
- Giddens, A. 1987 (1984). La constitution de la société. Presses universitaires de France.

- Gilbert, C. 2008. Les risques collectifs : objet d'une rencontre problématique entre chercheurs et acteurs. *Sociologie pratique*. n° 16. 81-93.
- Gilbert, C. 1995, Objets 'flous' et action publique : à propos des 'risques majeurs', Grenoble : C.E.R.A.T. – I.E.P.
- Gilbert, C., Amalberti, R., Laroche, H., Pariès, J. 2007. Errors and failures : towards a new safety paradigm. *Journal of risk research*. Vol 10 n°7, 959-975.
- Gilbert, C., Caille, F., Lemieux, C. 1998. Des objets à géométrie très variable. Entretien avec Claude Gilbert. *Politix*. Vol 11, n°44 pp 28-39.
- Girin, J. 2000. Management et complexité : comment importer en gestion un concept polysémique. Dans David, A., Hautchuel, A., Laufer, R. 2000. Les nouvelles fondations des sciences de gestion. *Eléments d'épistémologie de la recherche en management*. Fnege
- Glaser, B.G., Strauss, A.L., 1967. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine de Gruyter.
- Glendon A.I., Stanton, N.A., 2000. Perspectives on safety culture. *Safety Science* **34**, 193–214;
- Gould, S, J. 2003 (2001). *Le renard et le hérisson*. Seuil.
- Gouldner, A. 1954. *Patterns of industrial bureaucracy*;
- Gras, A. 1993. *Grandeur et dépendence. Sociologie des macro systems techniques*. Presses Universitaires de France.
- Guarnieri, F. 2003. *Acquis, tendances et perspectives d'une science des dangers*. *Annales des mines*. Mai 2003.
- Guldenmund, F.W., 2000. The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science* **34**, 215-257;
- Hacking, A. 2008. (1992) *Style pour historiens et philosophes*. Dans Braunstein, JF (textes réunis par) 2008. *L'histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses*. Vrin.
- Hacking, I. 1999 (1996) *entre science et réalité. La construction sociale de quoi ? La découverte*.
- Hale, A. 2006. *Method in your madness: system in your safety*. Afscheidsrede. TU Delft
- Hale, A.R. 2003a. *Safety management in production, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* **13** pp. 185–201.
- Hale, A.R., 2001. *Culture's confusions*. *Safety Science* **34**, 1–14 (Editorial for the special issue on safety culture and safety climate).
- Hale A.R 1999. *Assessment of safety management systems*. Paper to 2nd International conference on ergonomics, Occupational Safety and Hygiene. Braga. 27-28 May 1999.

- Hale, A. R., Glendon, A.I. 1987. *Individual Behavior in the Control of Danger*, Elsevier, Amsterdam.
- Haukelid, .2008. [Theories of \(safety\) culture revisited—An anthropological approach](#). *Safety Science*, Volume 46, Issue 3, March 2008, Pages 413-426.
- Hempel, K. 1972. (1966) *Eléments d'épistémologie*. Armand colin.
- Heidegger. 1956. *Essais et conférence*. Gallimard.
- Heisenberg, S. 1972 (1969) *Le tout et la partie*. Flammarion.
- Heylinghen, F., Cilliers, P., Gershenson, C., 2007. *Complexity and philosophy*. In Bogg, J., Geyer, R., (eds) *Complexity, Science and Society*. Radcliff, Oxford.
- Hollnagel, E. 2004. *Barriers and accident prevention*. Ashgate.
- Hollnagel, E. 1998. *Cognitive reliability and error analysis method: CREAM*. Elsevier.
- Hollnagel, E. 1993. *Human reliability analysis: Context and control*. London: Academic Press;
- Hollnagel, E., Woods, D.D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering. Concepts and precepts*. Hampshire, England : Ashgate.
- Hood, C., Rothstein, H., Baldwin, R., Rees, J., Spackman, M. 1999. Where risk society meets the regulatory state: exploring variations in risk regulation regimes. *Risk management*, 1 (1). pp. 21-34.
- Hopkins, A. (ed) 2009. *Learning from high reliability organisations*. CCH.
- Hopkins, A. 2008. *Failure to learn: the BP Texas City refinery disaster*. CCH;
- Hopkins, A., 2006a. What are we to make of safe behaviour programs? *Safety Science*. Volume 44. Issue 7, Pages 583-597.
- Hopkins, A. 2006b. Studying organisational cultures and their effects on safety. *Safety science* (44) 875-889;
- Hopkins, A., 2005. *Safety, Culture and Risk*. CCH;
- Hopkins, A., 2001. Was Three Miles Island a normal accident? *Journal of contingencies and crisis management*. Volume 9. Number 2.
- Hopkins, A., 2000. *Lessons Learnt from Longford. The Esso Gas Plant Explosion*. CCH ;
- Hughes, T. 1989. *American genesis. A century of invention and technological enthusiasm*. Pinguin.
- Hughes, T. 1998. *Rescuing Prometheus. Four monumental projects that changes the modern world*. Vintage books;
- Hughes, T. 2005. *Human built world. How to think about technology and culture*. University of Chicago press.

- Hudson, P. 2007. Implementing a safety culture in a major multi-national. *Safety science*. 45. 697-722.
- Hutter, B. 2006. Risk, regulation and management. In *Risk in social science*. Taylor Goody, P., Zinn, J, O. (eds) Oxford university press.
- Hutter, B. M. 2001. Is enforced self-regulation a form of risk taking?: The case of railway health and safety. *International journal of the sociology of law*, 29 (4);
- Jacob, P. 1980. De Vienne à Cambridge. L'héritage du positivisme logique. Gallimard.
- Jervis, R. (1997). *System effects: Complexity in political and social life*. Princeton: Princeton University Press.
- Johnson, W.G., 1973. The Management Oversight and Risk Tree – MORT including Systems Developed by the Idaho Operations Office and Aerojet Nuclear Company. Available from: www.nri.eu.com, the website of the Noordwisk Risk Initiative.
- Kervern, JY, Rubise, 1991. L'archipel du danger. *Economica*
- Kervern, JY. 1995. Eléments fondamentaux des cyndiniques. *Economica*.
- Klein, G. 2004. *Streetlights and Shadows. Searching for the keys to adaptive decision making*. The MIT Press.
- Klein, G. 1997, *Sources of power*. The MIT Press.
- Kirwan, B., Hale, A., Hopkins, A. 2002. *Changing regulation: controlling risks in society*. Pergamon.
- Kuhn, T. 1962. *La structure des révolutions scientifiques*. Flammarion.
- Lacoumes, P. 1987. De l'atteinte à la prévention des risques industriels. Réglementation des installations classées et développement d'une 'magistrature technique' dans Dourlens, C., Galland, JP., Theys, J., Vidal-nauquet, PA. *Conquête de la sécurité, gestion des risques*. L'harmattan.
- The Ladbroke grove rail inquiry.2001. Parts 1 &2. The Rt Hon Lord Cullen PC. HSE Books, disponibles à <http://www.rail-reg.gov.uk/upload/pdf/incident-ladbrokegrove-lgri1-optim.pdf>
- Lahire, B (ed). 2004. *A quoi sert la sociologie ? La découverte*.
- Lakatos, I. Musgrave, A. 1970. *Criticism and the Growth of knowledge*.
- Lagadec, P. 2003. Risques, crises et gouvernance : ruptures d'horizons, ruptures de paradigmes. *Annales des mines*. Mai 2003
- Lagadec, P. 1991. *La gestion des risques*. Mc Graw Hill
- Lagadec, P. 1981. *Le risque technologique majeur. Politique, risque et processus de développement*. Pergamon press.
- Lagadec, P. 1979. Faire face aux risques technologiques. *La recherche*. n°105. 1146-1153.

- Larms Ringdhal, L., 2009., Analysis of safety functions and barriers in accidents. Safety science (47) 353-363.
- Latour, 1982, Pasteur. La découverte ;
- Latour, 1987, La science en action. La découverte.
- Latour, B. 1991. Nous n'avons jamais été modernes. La découverte;
- Latour, 1992, Aramis ou l'amour des techniques. La découverte ;
- Latour, B. 1999. L'espoir de Pandore. Pour une vision réaliste de sciences. La découverte.
- Latour, B. Woolgar, S. 1978. La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques. La découverte ;
- Laurent, A. 2003. Sécurité des procédés chimiques. Connaissances de base et méthodes d'analyses de risques. Lavoisier Editions Tec & Doc;
- La Porte, T. 1980. Design and management of nearly error free safety, in Sills, D. (ed) Social science aspects of the accident at the three mile island. Colorado: Westview press.
- La Porte, T. 1975. [Organized Social Complexity As An Analytical Problem: An Introduction And Explication](http://www.polisci.berkeley.edu/faculty/bio/emeriti/LaPorte,T/publications.asp) in T. R. La Porte, ed., Organized Social Complexity: Challenge to Politics and Policy, Princeton University Press, 1975. available at <http://www.polisci.berkeley.edu/faculty/bio/emeriti/LaPorte,T/publications.asp>
- La Porte, T., Consolini, P.M. 1991. Working in Practice but Not in Theory: Theoretical Challenge of High Reliability, Journal of Public Administration Research and Theory, 1:19-47.
- Le Moigne, JL. 2007. Les épistémologies constructivistes. Que sais-je. Presses Universitaires de France.
- Le Moigne, JL. 1995. Les épistémologies constructivistes. Que sais-je. Presses Universitaires de France
- Le Moigne, J-L. 1999. La modélisation des systèmes complexes. Dunod.
- Leplat, J. 2006. La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. Piste. Volume 8. n°1.
- Leplat, J. 2003b. Quelles évolutions en ergonomie ? Conférence introductive. 38^{ème} congrès de la Self. Paris.
- Leplat, J. 2003a. La modélisation en ergonomie à travers son histoire. In: Sperandio, J.-C., Wolf, M. (Eds.), Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie, Le travail humain, Presses Universitaires de France,
- Leplat, J. 1996. Quelques aspects de la complexité en ergonomie. Dans Daniellou, F. (ed) l'ergonomie en quête de ces principes. Octarès.
- Leplat, J. 1986. L'analyse du travail. Revue de psychologie appliquée, 31(1), 9-27.

- Leplat, J. 1985, Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail - Éditions : A. Colin ;
- Leplat, J., de Montmollin, M. 2005. Les voisinages disciplinaires de l'ergonomie. Falzon, P. 2005 (dir). *Traité d'ergonomie*. Presses universitaires de France.
- Leplat, J. , De Terssac, G. (dir.) 1990. Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes. Toulouse, Octarès Éditions.
- Leveson, N., 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, 237–270.
- Leveson, N., Cutcher-gershenfeld, J., Carroll, J.S., Barrett, B., Brown, A., Dulac, N., Marais, K., 2005. Systems approaches to safety: NASA and the space shuttle disasters. In: Starbuck, W.H., Farjoun, M. (Eds.), *Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster*. Blackwell Publishing.
- Llory, M. 1996. *Le coût du silence*. L'harmattan ;
- Llory, M. 1999. *L'accident de Three miles Island*. L'harmattan.
- Luhmann, N. 1995 (1984) *Social systems*. Stanford University Press.
- Luminet, JP. 2004. Qui a inventé le big bang ? dans Einstein, l'homme qui a inventé l'univers. Hors série. Ciel et espace. Septembre 2004.
- Lyotard, JF. 1978. *La condition postmoderne*. Les éditions de minuit.
- Magne, L., Vasseur, D. 2006. *Risques industriels : complexité, incertitudes et décisions*. Dunod,
- Martinais, E., Chantelauve, G. 2009. Identification et analyse des risques en entreprise : de l'approche déterministe à l'approche probabiliste, dans Brillhac J.-F., Favro K. (dir.), *Planifier le risque industriel*, Paris, Victoires éditions, p. 30-42.
- Martinet, AC. 1990. *Epistémologies et sciences de gestion*. Economica
- Mayer, P., 2007. Organisation détraquée. *Revue française de gestion* (33) 69-84.
- Mayer, P., 2003. *Challenger. Les ratages de la décision*. Presses Universitaires de France ;
- Merle, I. 2010. *La fiabilité à l'épreuve du feu. La prévention des risques d'accidents majeurs dans une usine Seveso II*. Thèse de doctorat. Institut d'étude de sciences politiques de Paris ;
- Michaud, C., Thoenig, C. 2001 ; *Stratégie et sociologie de l'entreprise*. Paris. Village mondial. Disponible sous une version d'auteur et intitulé 'le management cognitif', aux archives ouvertes suivantes <http://halshs.archives-ouvertes.fr/>
- Mitchell, M. 2009. *Complexity. A guided tour*. Oxford University Press.*
- Minguet, G. 2001. Taxinomie de modèle sociologiques d'intervention, dans Vrancken, D., Kutty, O (eds) 2001. *La sociologie et l'intervention. Enjeux et perspectives*. De Boeck Université.
- Moray, N. 2000. Culture, politics and ergonomics. *Ergonomics*. vol.43. n°7. 858-868.

- Moray, N. 1994. Error reduction as a system problem, in Bogner, M, S (ed) Human error in medicine. Erlbaum;
- Morin, E., 2007 Complexité restreinte, complexité générale, in Le Moigne, J-L, Morin, E. Intelligence de la complexité: épistémologie et pragmatique. Colloque de Cerisy. Edition de l'Aube.
- Morin, E (journée thématiques conçues et animées par). 1998. Relier les connaissances. Le défi du XXIème siècle. Seuil ;
- Morin, E. 2004. La méthode 6. Ethique. Seuil.
- Morin, E., 1994. Sociologie. Seconde édition. Editions du seuil (coll point). Paris.
- Morin, E., 1990a. Articuler les disciplines. Actes du colloque du CNRS.
- Morin, E. 1990b. Science avec conscience. Seuil.
- Morin, 1990c. Introduction à la pensée complexe. Seuil ; Morin, E., 1991. La méthode – tome IV, Les idées, leur habitat, leur vie, leur mœurs, leur organisation. Ed du seuil (coll point). Paris.
- Morin, E., 1986. La méthode – tome III, La connaissance de la connaissance. Ed du seuil (coll point). Paris.
- Morin, E., 1980. La méthode – tome II, La vie de la vie. Ed du seuil (coll point). Paris.
- Morin, E., 1977. La méthode – tome I, La nature de la nature. Ed du seuil (coll point). Paris.
- Morin, E. 1976. Pour une crisologie. Communications. n° 25, n°1, p 149-163.
- Morin, E., 1973. La nature humaine, le paradigme perdu. Ed du seuil (coll point). Paris.
- Morin, E. 1972. Le retour de l'évènement. Communication. Vol 18. n°1. 6-20.
- Morin, E. 1972. L'évènement sphinx. Communication. Vol 18. n°1. p 173-192.
- Morin, E., Cyrulnik, B. 2003. Dialogue sur la nature humaine. Seuil.
- Morin, E., Piatelli-Palmarini, M. 1974. L'unité de l'homme. 3 volumes. Seuil.
- Neisser, U. 1967. Cognitive psychology Appleton-Century-Crofts New York
- Nowotny, H., Scott, P., Gibbons, M., 2003 (2001). Repenser la science. Belin.
- Ocasio, W. 2005. The opacity of risk : language and the culture of safety in NASA'S space shuttle program. In In Starbuck H. W., Farjoun M. 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell publishing.
- Osty, F. 2003. Le désir de métier : engagement, identité et reconnaissance au travail. Presses Universitaires de Rennes.
- Parrochia, D. 1998. La conception technologique. Lavoisier.
- Pastoreau, M. 2010. Les couleurs de nos souvenirs. Seuil

- Perin, C. 2004. *Shouldering risks. The culture of control in the nuclear power industry.* Princeton University Press;
- Perrow, C., 1984. *Normal Accidents*, first ed. Princeton University Press, Princeton.
- Pestre, D. 2003. Controverses. L'analyse de controverses dans l'étude des sciences depuis trente ans entre outil méthodologique et objet de l'histoire des sciences. dans Lecourt, D. 2003 (ed). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences.* quatrième édition. Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. 1967. *L'épistémologie génétique. Que sais-je.* Presses universitaires de France.
- Planchette, G., Nicolet, J.L., Valancogne, J. 2002. *Et si les risques m'étaient comptés !* Editions Octarès. Voir la postface de Kervern, resituant ce travail dans le sillage cindyniques.
- Prigogine, I., Stengers, I. 1978. *La nouvelle alliance.* Seuil.
- Putnam, H. 2002. *Fait/valeur, la fin d'un dogme et autres essais. L'éclat.*
- Putnam, H. 1984 (1981). *Raison, vérité et histoire.* Editions de minuit.
- Rasmussen, J. 1997. Risk management in a dynamic society: a modeling problem. *Safety Science* 1997; 27:183–213.
- Rasmussen, J., 1986. *Information Processing and Human–Machine Interaction.* North-Holland, Amsterdam.
- Rasmussen, J., Svedung, I., 2000. *Proactive risk management in a dynamic society.* Swedish rescue service agency. Karlstad;
- Rasmussen, J., Duncan, K., Leplat, J., 1987. *New Technology and Human Error.* Wiley; Goodstein, L.P., Andersen, H.B., & Olsen, S.E. (Eds.) *Tasks, Errors, and Mental Models.* London: Taylor and Francis.
- Rasmussen J., Lind M. 1981. *Coping with complexity.* Riso Report, Roskilde, Riso National laboratory.
- Reason, J. 2008. *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries.* Ashgate.
- Reason, J. 1998. Achieving a safe culture: Theory and practice. *James Work & Stress* 12:33, 293-306.
- Reason, J. 1997. *Managing the risk of organisational accidents.* Ashgate;
- Reason, J. et Mycielska, K.. 1982. *Absent-minded? The psychology of mental lapses and everyday errors.* Englewood Cliffs (NJ) : Prentice Hall;
- Report of the presidential commission on the Space Shuttle Challenger Accident June 6th, 1986 Washington, D.C.
- Reynaud, J.D. 1995. *Le conflit, la négociation et la règle.* Octarès.

- Richter, A., Koch, C., 2004. Integration, differentiation and ambiguity in safety cultures. *Safety Science* 42, 703–722. ;
- Rijpma, J., 2003. From deadlock to dead end: the normal accident-high reliability debate revisited. *Journal of contingencies and crisis management*. Volume 11. Number 1. March 2003.
- Roberts, K. 1993. (Ed) *New challenges in understanding organisations*. Mc Millan
- Rochlin, G. Defining 'high reliability organizations in practice: a taxonomic prologue in Roberts, K. 1993. (Ed) *New challenges in understanding organisations*. Mc Millan
- Rochlin, G. I., La Porte, T. R., Roberts, K. H. 1987 "The Self-Designing High-Reliability Organization: Aircraft Carrier Flight Operations at Sea." *Naval War College Review* 40, no. 4. 76-90.
- Roe, E. and Schulman, P. (2008). *High Reliability Management: Organizations On The Edge*. Palo Alto; Stanford University Press.
- Rolina, G. 2009. *Sûreté nucléaire et facteurs humains. La fabrique française de l'expertise*. Presses des Mines.
- Rorty, R. 1979. *Philosophy and the mirror of nature*. Princeton University Press.
- Rosa, H. 2010 (2005). *Accélération. La découverte*.
- Rothstein, H. 2003. [Neglected Risk Regulation: The institutional attenuation phenomenon](#). *Health, Risk and Society*, 5 (1): 85-103;
- Ruse, M., 2007. *L'apparition de l'homme était elle inévitable? Les dossier de la recherche*. Mai-Juillet 2007.
- Sagan, S. 1993. *The limits of safety*. Princeton University Press.
- Saint-Sernain, B. 2007. *Le rationalisme qui vient*. Gallimard.
- Schulman, 1993. *The analysis of high reliability organizations: a comparative framework in Roberts, K. 1993. (Ed) New challenges in understanding organisations*. Mc Millan
- Simon, H. 1984. 'Il devient tout aussi passionnant de rechercher les processus de pensée que de découvrir le mouvement des planètes. Commentaires et réponses par H.A. Simon.' Disponibles dans la série 'les introuvables' de Simon, à l'adresse www.mcxapc.org
- Simon, H., March, J. G. 1958. *Organizations*. John Wiley and sons, New York
- Segrestin, D. 2004. *Les chantiers du manager*. Armand Colin.
- Serres, M. 2010. *Jules Vernes. L'enchantement du monde (conversations avec Jean-Paul Dekiss)*. Le Pommier.
- Serres, M. 2006. *Récits d'humanisme*. Le Pommier.
- Serres, M. 2004. *Rameaux*. Le Pommier.
- Serres, M. 2003. *L'incandescent*. 2003. Le Pommier.

- Serres, M. 2001. *Hominsecence*. Le Pommier; Serres, M. 2003. *L'incandescent*. Le Pommier.
- Serres, M. 1990. *Le contrat naturel*. Flammarion.
- Serres, M. 1987. *Statues*. Flammarion.
- Serres, M. 1981. *Le parasite*. Hachette.
- Serres, M. 1977. *Hermès IV. La distribution*. Editions de minuit.
- Serres, M, Latour, B. 1992. *Eclaircissements*. Flammarion.
- Shrivastava, P. 1986. *Bhopal: anatomy of a crisis*. Sage publications
- Shrivastava, S., Sonpar, K., Pazzaglia, F. 2009. Normal accident theory versus high reliability theory : a resolution and call for an open systems view of accidents. *Human relations*. Volume 62 (9): 1357-1390
- Sklet, S. 2006. Safety barriers: definition, classification, and performance, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19, pp. 494–506;
- Sills, D. 1980. *Social science aspects of the accident at the three mile island*. Colorado: Westview press.
- Simon, H. 1962. 'The architecture of complexity', *Proceedings of the American Philosophical Society* 106, pp. 467--482. Available at <http://ecoplexity.org/files/uploads/Simon.pdf>
- Snook, S.A., 2000. *Friendly Fire, The Accidental Shootdown of US Black Hawks Over Northern Irak*. Princeton University Press;
- Snook, S., Connor, J, C. 2005. *The Price of Progress: Structurally Induced Inaction*. in *Organization at the Limit: Lessons from the Columbia Disaster*, edited by M. Farjoun and W. Starbuck, 178-201. Blackwell;
- Snow, P, S. 1959. *The two cultures*. Oxford university press.
- Sperandio, J.-C. 2003. *Modèles et formalismes, ou le fond et la forme*. In: Sperandio J.-C., Wolf M. *Formalismes de mode'lisaton pour l'analyse du travail et l'ergonomie*. Le travail humain. Presses Universitaires de France ;
- Starbuck H. W., Farjoun M. (eds) 2005. *Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster*. Blackwell publishing.
- Starbuck H. W., Milliken, 1988a. Executives' perceptual filters: What they notice and how they make sense, pp. 35-65 in D. C. Hambrick (ed.), *The Executive Effect: Concepts and Methods for Studying Top Managers*; JAI Press.
- Starbuck H. W., Milliken, 1988b. Challenger: Changing the odds until something breaks, *Journal of Management Studies*, 25: 319-340, 1988.

- Swain, D. 1963. A method for performing *human factor reliability* analysis, Sandia Corporation : SCR-685.
- Taleb, N. 2007. The black Swan. The impact of the highly improbable. Pinguins books.
- Taylor-Gooby, P., Zinn, J, O. (eds) 2006. Risk in social sciences. Oxford University Press;
- Terressac De, G. 1992. Autonomie dans le travail. Presses universitaires de France.
- The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster, Cullen, The Honourable Lord, HM Stationery Office, 1990.
- Turner, B, A. 1978. Man-made disaster. The Failure of Foresight. Butterworth-Heinmann.
- Urry, J. 2005. The complexity turn. Theory, culture and society, 22(5).
- Vaughan, D. 2005. System effects: on slippery slopes, repeating negative patterns, and learning from mistakes? In Starbuck H. W., Farjoun M. 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell publishing.
- Vaughan, D., 2004. Theorizing disaster: Analogy, historical ethnography, and the challenger accident ethnography. Ethnography 5 (3), 315–347
- Vaughan, D. 1999. The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster. Annual Review of Sociology. 25. 271-305.
- Vaughan, D. 1997. The Trickle-Down Effect: policy decisions, risky work and the Challenger tragedy. California Management Review 39:80-102
- Vaughan, D., 1996. The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA. University of Chicago Press, Chicago.
- Vaughan, D., 1992. Theory elaboration: the heuristic of case analysis. In: Ragin, C., Becker, H. (Eds.), What is a Case? Exploring the Foundations of Social Enquiry. University, New York, Cambridge.,
- Vaughan, D. 1990. Autonomy, Interdependence, and Social Control: *NASA* and the Space Shuttle. Challenger, 35 Administrative Science Quarterly: 225-257
- Vaughan, D. 1986. Uncoupling: turning point in intimate relationships. Vintage.
- Vaughan, D. 1983. Controlling unlawful organizational behaviour. The University of Chicago Press.
- Vergnioux, A. 2003. L'explication dans les sciences. De Boeck Université.
- Vicente, K. 2004. The human factor. Routledge.
- Visser, JP. 1998. Development of HSE management in oil and gas exploration and production. In Hale, A., Baram, M. (eds). Safety management. The challenge of change. Pergamon.
- Virilio, P. 2003. L'accident originel. Editions Galilée

- Von Glasersfeld, E. 1995. *Radical constructivism. A way of knowing and learning*. Taylor and Francis.
- Villemeur, A. 1988. *Sûreté de fonctionnement de systems industriels*. Eyrolles, coll. Collection de la direction des études et recherches d'Électricité de France.
- Vinck, D. 2000. *Pratiques de l'interdisciplinarité. Mutations des sciences, de l'industrie et de l'enseignement*. Presses Universitaires de Grenoble.
- Walter, F. 2008. *Catastrophes, une histoire culturelle XVI^e-XXI^e*. Seuil.
- Waring, A., Glendon, A.I., 1998. *Managing risk, critical issues for survival and success into the 21st century*. Thompson learning.
- Watzlawick, P. (ed) 1988. *L'invention de la réalité*. Seuil.
- Weaver, W. 1948. Science and complexity. *American scientist*. 36: 536. Available at <http://www.ceptualinstitute.com/genre/weaver/weaver-1947b.htm>
- Weber, M. 1919. *Le savant et le politique*.
- Weber, M. 1965. (1904-1917). *Essais sur la théorie de la science*. Plon.
- Weick, K. E. 2005. Making sense of blurred images: Mindful organizing in mission STS-107. In W. H. Starbuck and M. Farjoun (Eds.), *Organization at the Limit: Lessons from the Columbia Disaster*
- Weick, K., 1993. The collapse of sensemaking in organisation. *Administrative Science Quarterly* 38, 628–652., 2005
- Weick, K. E. 1990. The Vulnerable System: An Analysis of the Tenerife Air Disaster. *Journal of Management* , 16, n°3: 571-593.
- Weick, K. 1987. Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review* 29, no. 2. 112-127;
- Weick, K.* 1969. *The Social Psychology of Organizing*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Weick, K., Sutcliffe, K. 2007. *Managing the Unexpected*. San Francisco: Jossey-Bass ;
- Weick, K., Sutcliff, K.M., Obstfeld, D., 1999. Organising for high reliability: processes of collective mindfulness. *Research in Organisational Behavior* 21, 81–123.,
- Whithead, A. N. 1935. *La science et le monde moderne*. Editions du rocher.
- Wildavsky, A. 1988. Searching for safety. Transaction Publishers et Weick, K., 1993. The collapse of sensemaking in organisation. *Administrative Science Quarterly* 38, 628–652.
- Wilson, E. O. 1998. *Consilience. The unity of knowledge*. Abacus.
- Woods, D. 1988. Coping with complexity : the psychology of human behaviour in complex systems. Dans Goodstein L.P., Andersen H.B., Olsen S.E., 1988. *Tasks, Errors and Mental models*. London, Taylor & Francis.

Wynne, B. 2005. Reflexing complexity. Post genomic knowledge and reductionist returns in public science. *Theory, culture and society*, 22(5):67-94.

Zinn, J. O. 2008. (ed). *Social theories of risk and uncertainty. An introduction*. Blackwell Publishing.

Liste des articles

Article 1

Le Coze, JC. 2010. Accident in a french dynamite factory : an example of an organisational investigation. *Safety Science*. 48. 80-90.

Article 2

Le Coze, JC. 2008. Disasters and organisations: from lessons learnt to theorising. *Safety Science*. 46. 132-149.

Article 3

Le Coze, JC. 2008. Complexity and learning from accidents. dans *Learning from Accidents: an anthology based on thoughts and ideas from young research fellows*. Swedish Rescue Services Agency.

Article 4

Le Coze, JC. 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and current safety auditing? *Safety science* (43) 613-638.

Article 5

Le Coze, JC. A proposition of hybrid model of industrial safety. En cours de révision pour publication dans *Safety Science*.

Article 6

Le Coze, JC. 2010. A study about changes and their impact on industrial safety. Publication présentée à la conférence *Working On Safety*, les 8,9 et 10 septembre 2010 à Røros, Norvège. Retenu par le comité scientifique de la conférence pour publication dans le journal en ligne 'Safety Science Monitor'.

Article 1

Le Coze, JC. 2010. Accident in a french dynamite factory : an example of an organisational investigation. *Safety Science*. 48. 80-90.



Accident in a French dynamite factory: An example of an organisational investigation

Jean-christophe Le Coze *

Direction des Risques Industriels, Institut National de l'Environnement Industriels et des Risques, Parc Technologique ALATA, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 December 2007

Received in revised form 25 June 2009

Accepted 30 June 2009

Keywords:

Explosion

Accident investigation

Organisational models

ABSTRACT

The 27th of March 2003, an explosion caused the death of four employees in a Nitrochimie pyrotechnic plant, at Billy Berclau, in the north of France. Following the accident, the ministry of Ecology and Sustainable Development appointed INERIS to perform an investigation. According to the terms of reference, the investigation would cover technical (origins of the explosion, extent of damages) as well as organisational issues, as defined by SEVESO II safety management system requirements. This paper has a threefold purpose. It intends first to illustrate with an empirical case the current trend in safety auditing and accident investigation, targeting organisational factors, alongside human factors. There are not so many published cases of accidents analysed with an organisational perspective. Secondly, it shows that it is possible to investigate organisational dimensions (through articulation of safety engineering, safety management and human and social sciences) within reasonable time frames and a reasonable amount of resources. By focusing on key actors and asking appropriate questions related to key dimensions, investigating organisational accidents might not necessarily imply spending much more resources than other steps such as damage assessment, chronological construction or identification of technical scenarios, although there are also some prerequisite conditions needed to achieve this. Finally this paper should be seen as a technical communication beyond the pyrotechnic industry.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Brief description of the circumstances of the accident

1.1. The accident

Early in the morning of the 27th of March 2003, at 6:16 a.m, an explosion occurred in Nitrochimie pyrotechnic plant. Four people died as a direct consequence of the explosion. Two operators in the cell (cells are production areas protected by thick barricades) were killed. They were working on the equipment that exploded. A third person, a maintenance operator, was hit by the blast as he walked back from a visit in a nearby cell, on the other side of the central barricade separating two production areas. He happened to pass just at this time, in front of the walking passage built within the barricades between the two areas. Had he passed a few seconds earlier or later he would probably have not been hit, as the operators that he left behind him were physically unharmed by the explosion, protected by the barricades of their cell. The fourth operator killed by the explosion, who was in charge of collecting pyrotechnic wastes generated by the process of packaging cartridges, was leaving the cell when the explosion occurred. He was driving a small vehicle designed for the task, and used for circulating between the cells.

1.2. Layout of pyrotechnic part of the plant and cell

The factory is divided in two main parts. The explosion occurred in the pyrotechnic part of the plant. The other part of the plant includes administrative offices and is removed from the second part where the dangerous activities are carried out. The pyrotechnic area, as mentioned, is designed through a cell engineering principle. The cells are surrounded by barricades about 5 m high, providing protection against explosion, by diverting a blast. Explosions can be generated by highly hazardous and sensitive Nitroglycerine. Nitroglycerine is processed to produce sticks of dynamite. These sticks are used for various purposes but mainly in mining. It is the main source of risk of the plant. The Nitroglycerine is produced in the plant, through chemical reactions, by mixing various products under specific conditions. There is a range of different dynamites, according to the purposes of their use. Recipes change according to the type of product wanted, and can be processed by manual or semi automated (more recent in the history of the plant and with higher capacity) machines. For all dynamites, nitro glycerine is produced as a paste or powder. For the paste, it is then processed through a machine equipped with a die and transformed into a stick thanks to an automatic system, called Rollex, cutting and rolling the paste in a specific paper (see Fig. 1).

* Tel.: +33 344556204; fax: +33 344556295.

E-mail address: jean-christophe.lecoze@inres.if.

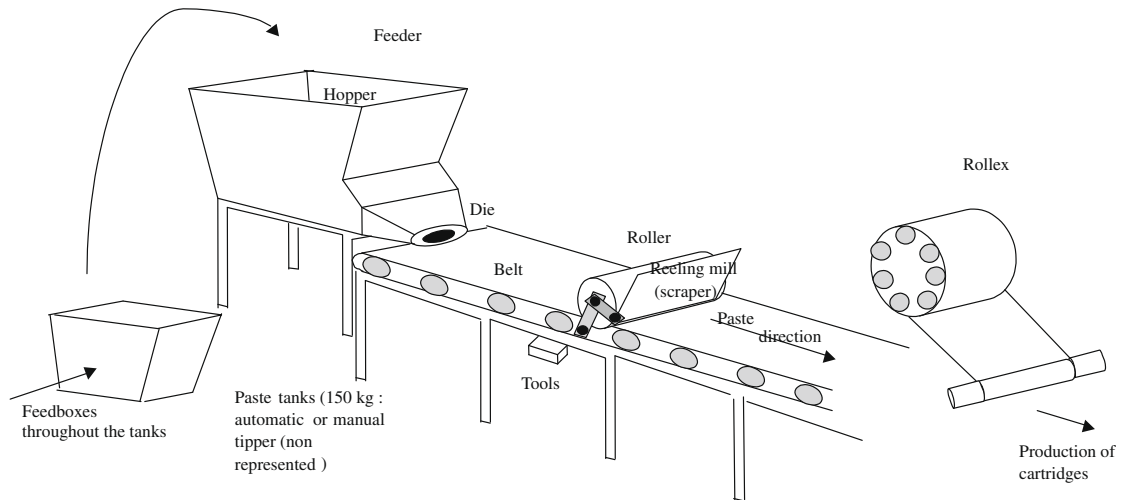


Fig. 1. The Rollex machine and the feeder.

The pyrotechnic part of the plant is, therefore, made of many cells dedicated to the many steps of production (see Fig. 2), as follows:

1. Production of nitroglycerine paste (manual production: cells 43, 43b, 44, 44b, automatic production: cells not shown on the figure).
2. Storage of feedboxes of nitroglycerine (according to production needs, working on a buffer principle) (powder in cell 45 – paste in cells 49, 51, 53, 54, 55 and 86).
3. Processing of nitroglycerine paste (Rollex machines) (cell 50) and explosive powder (cells 46 and 47).
4. Packaging of sticks (cell 52).

1.3. Technical findings

The main conclusion of the technical analysis is that the most likely scenario is an explosion of the paste in the feeder. The ignition source has most probably been provided by the release of energy through mechanical friction within the feeder, by the presence of a foreign object. This foreign object could have been introduced in several ways:

- By the operator himself during the cleaning of the machine in the morning. In a video, the main operator can be seen throwing a bit of paste collected in a little box meant for collecting spare pieces of equipment.
- By the fall of an object from the feedbox when used (the feedboxes have moving parts).
- By being introduced in the paste during previous steps (during production of the paste, during transportation, or from the shop-floor to the inlet during the night).
- By being already present in the feeder before the paste was put in.

The next sections provide an introduction to the investigation methodology and a summary of the outcomes of the organisational investigation.

2. Methodological introduction

2.1. Modelling issues

Modelling issues have been introduced in a previous paper while discussing rationales behind investigating accidents (Le Coze, 2008a). According to the framework suggested in this paper,

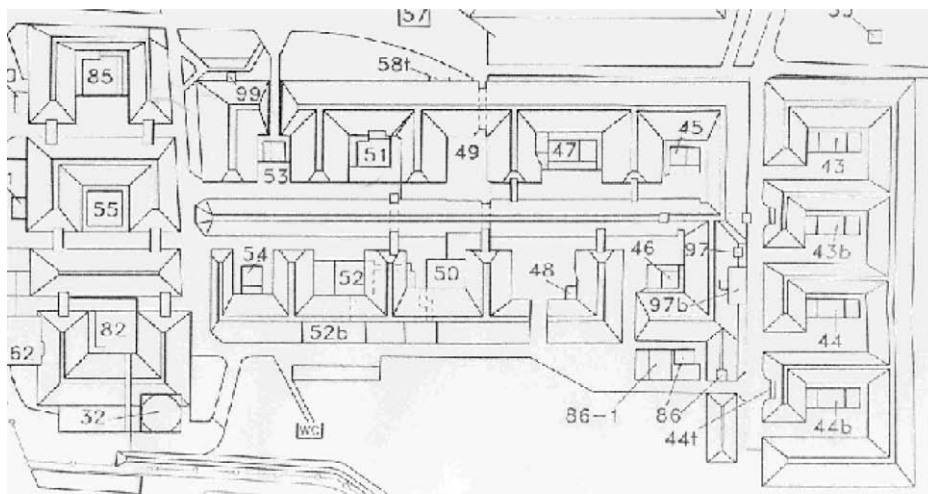


Fig. 2. Layout of the pyrotechnic part of the plant.

this accident investigation, given the time constraints and resources available, was half way between a normative (or prescriptive approach) and a more descriptive (or theorising) approach. One of the main goals, as written in the terms of reference of our investigation, was to provide “lessons” that were relevant for the company and then the industry. A prescriptive dimension was, therefore, included. It proved not to be an easy task to manage both descriptive and normative purposes, given the nature of the models used for interpreting the data. Descriptive models indeed remain rather theoretical models for laymen with no background in human and social sciences.¹ For dealing with this issue, the report provided a 20-page introduction sensitising readers to the models supporting the investigation. These pages introduced the main theoretical influences in the literature of risks and organisations. It introduced also the methodological approach followed (from barrier analysis to organisational investigation).

Introducing background models was also a way to admit the constraints that these models would put on the investigators and investigative process, especially given the time constraints. This is a perspective that has been well addressed by social scientists (i.e. Vaughan, 2004) when revising commission findings. Investigators are indeed greatly influenced by their models, according to the expression, “*you find what you are looking for*”. This issue is well known now, and has been discussed in the literature, for example with the ideas of “stop rules” (Rasmussen et al., 1994) and “selection rules” (Hopkins, 2000, p. 134). Our stop and selection rules were linked with our available models, and to INERIS’s position within the French system. The decision, for example, to include the regulatory level (exploring the regulations, and the inspection practices) was made on the basis of previous investigations pointing out this important dimension. It was also influenced by INERIS’s involvement in supporting authorities for regulation, methods and training courses design for control authorities. INERIS was, therefore, in a position to initiate some changes at this level and to learn from the investigation.² Another aspect is that an investigation can never provide a definite interpretation of the events. The report, therefore, stressed that complementary approaches could always reveal in the future other dimensions, and could probably also modify some of the interpretations provided in the report.

The framework used for organising data was inspired and adapted from a work by Waring and Glendon (1998) combining several perspectives on organisations. It contains three levels to be articulated (environment of the organisation; culture, power and cognitive dimensions; safety management). This framework introduces other dimensions than the safety management system whilst at the same time keeping the safety management perspective visible such as described in the terms of reference of the investigation. This framework provided one way of presenting the accident. There could be others, as Hopkins commented (2005, p. 29) “*One of the main challenges facing authors is how to organise the material to be presented*”. It strongly depends on the purpose of the report, but also the potential readers and the underlying models in use.

¹ This problem of introducing theoretical insights from research for practical purposes in investigation has been addressed at cognitive levels through “folk models” (Dekker and Hollnagel, 2004). A similar type of issue could be described here.

² This raises the question of the independence of the investigation, given that INERIS is part of the prevention system in France. INERIS position is, therefore, nothing like an independent body dedicated specifically for investigating accidents. The status of INERIS, funded by both the industry and the ministries provides however an interesting position for investigating, as long as neutral statements and ethical rules, based also on clear reference to models, are provided.

2.2. Data collected

We interviewed about 30 persons over a 2–3 months period. These persons worked in the plant (operators, safety managers, managers) but were also “outside” the plant, within the company, such as corporate staff. Inspectors from control authorities (several authorities such as pyrotechnic authorities, occupational health and safety authorities and environmental safety authorities) performing (or having performed) inspections in the plant were also interviewed. The timing of the interviews was organised according to the steps followed in our investigation process, from chronology through technical and organisational analysis. We sometimes saw people twice, to complement data when coming back to specific issues. We had access to documents of various kinds (risk analysis, regulatory statements, procedures, accident analysis reports, etc.). The collaboration of the company was full in this respect, and helped the investigation process greatly to meet its time constraints. We performed the investigation within 6 months, from interviewing to writing final report.

2.3. Steps followed

The steps of the investigation were as follows³:

Step 1. Working on a detailed chronology to provide as reliable information as possible regarding the behaviours of operators and managers during the hours before the accident and immediately before the accident,

Step 2. Identifying and analysing the barriers; this step helps to anchor the technical analysis with the preventive measures, including safety practices (identified as “human barriers”) and technical barriers,

Step 3. Investigating safety management system activities and their level of compliance with good practices from the industry (a structural perspective).

Step 4. Looking at dimensions such as (safety) culture, political processes and power, decision making and cognition.

Step 5. Investigating the environment of the company (market and economy, regulations, history of the company and technology) in order to get a better idea of the constraints and resources the actors of the organisation had.

In the next part we provide a summary of the outcomes obtained through the steps that we followed (except step 1, for which results have been introduced in the previous section).

3. Identification and analysis of the barriers

3.1. Principles behind the identification of the barriers

Following the assumptions made regarding the technical side of the accident, two dimensions, associated with two questions, appeared relevant for organising the barriers identification:

1. One dimension was the probability of the event: **why, despite many safety measures preventing an explosion from happening, did this one occur?** It raises questions about the presence of foreign objects, and questions about the explosion in the case of a foreign object in the feeder, questioning the way risks were assessed and preventive measures managed.
2. The other dimension is the severity of the event that is strongly linked with the presence of several people around the process at the time of the explosion. A principle in pyrotechnic plants

³ These steps overlapped during the course of the investigation.

Table 1
Barriers identified for preventing accident.

<p><i>Barriers meant to decrease the probability of having foreign objects in the feeder</i></p> <p>B1. Wearing clothes without pockets</p> <p>B2. Description and implementation of safe practices for operating machines</p> <p>B3. Description and implementation of safe practices for mixing ingredients while preparing paste (preventing introducing foreign objects in the nitroglycerine process before being stored and then introduced into the feeder)</p> <p>B4. Fastening objects that could potentially fall for example from the cell ceiling into the feeder</p> <p>B5. Fastening inlet stand (preventing it from falling into the feeder)</p> <p>B6. Fastening wheel reflector on feedboxes (preventing from falling in feeder)</p> <p>B7. Suppressing empty spaces in the feedboxes where foreign objects could get in (i.e. small stones when transporting feedboxes on paths)</p> <p>B8. Cleaning practices in the cells after shifts</p> <p>B9. Sifting the ingredients while preparing paste (in manual mixers)</p> <p>B10. Ensuring with providers the quality of their foreign objects prevention policy in products</p> <p>B11. Checking visually the quality of bags when received (bags in bad conditions indicate higher probability of introduction of foreign objects during transport from providers)</p> <p>B12. Cleaning the paths where feedboxes are transported</p> <p>B13. Use of lids to cover feedboxes during transports</p> <p><i>Barriers meant to decrease the probability of having an explosion if foreign objects are present in the feeder</i></p> <p>B14. Paste meeting safety standards (such as product composition)</p> <p>B15. 10 mm space between screws in the feeder</p> <p>B16. 10 mm space between bottom of feeder and screws</p> <p>B17. System stopping the screws in case of increase of pressure</p> <p><i>Barriers meant to decrease the severity in case of an explosion</i></p> <p>B18. Barricade and cells design</p> <p>B19. Time spent in cell not above 10% (reducing operators exposure to risks)</p> <p>B20. Safe walking itineraries limiting exposure to risks</p> <p>B21. Working plan followed</p> <p>B22. Threshold of maximum product quantity in the cell for reducing severity in case of explosion</p> <p>B23. Mitigation measures (emergency responses)</p> <p>B24. Land use planning around plant (exposure of inhabitants)</p>
--

being to limit as much as possible the exposure of workers, a question was, therefore: **why so many people died as a result of the explosion although everything was conceived and designed in theory to reduce the exposure of operators?**

3.2. Identifying and investigating the barriers

3.2.1. A list of barriers defining the defence in depth

Based on these two questions, 24 barriers were identified. The principles followed to identify them were a description of the installations through observation of similar machines, interviews with operators and engineers as well as available documents. Table 1 provides a list of the barriers identified, classified under three main items in direct relation with the two questions raised:

- Barriers meant to decrease the probability of having foreign objects in the feeder.
- Barriers meant to decrease the probability of having an explosion due to foreign objects present in the feeder.
- Barriers meant to decrease the severity in case of an explosion.

A graphic way of representing this is the following picture (Fig. 3).

3.2.2. Investigating barriers: main results

These barriers create the “defence in depth” of the system against foreign objects, release of energy and against exposure of personnel, plant and environment, to an explosion. Studying them in detail provided a way of penetrating the organisation at a first level of investigation that was very useful. It was helpful to describe precisely the many discrepancies between the way the “ideal system” was thought, designed, and the reality of practices.

- **Procedures describing safe practices for starting production were not applied.** For some of these practices, it appeared that they could hardly be followed given the context of the morning of the accident:

- The main operator diverted from practices described in procedures in order to be able to cope with the morning situation (he indeed performed on his own most of the operations for which he should have been supported by a second operator in normal conditions. This support was theoretically intended for him to concentrate on his specific and crucial operations).
- The automatic system meant to transport feedboxes from storage (cell 49) to cell 50 (see Fig. 2) was out of order and safe practices associated with it could not be applied (one of these practices consisted in closing a gate so that people could not circulate when producing, but also in removing operators from dangerous activities by automating feeding).
- Conveyor belt guards were not in place, although they should have been, as a safety measure.
- Operator behaviour consisting in throwing a bit of paste into the feeder straight away, after collecting it on the side of the machine where a box was installed, was strongly against safe principles of pyrotechnic practices.⁴ This practice surprised the operators who viewed the video, as the main operator was a highly qualified and trained operator, one of the most experienced on site.
- Co-ordination between the main operator and second operator lacked specificity regarding the scenario that they faced. There were abnormal situations described, but nothing like this one. Given that this specific situation was not described, the two operators improvised. The fact that the second operator was around not doing much while the main operator was dealing with the situation appeared to be contrary to a practice of reducing the exposure of operators.

⁴ A video of the cell and the activities of the morning were available, as the installation was operated from the next cell, therefore, protecting the operators and decreasing considerably their time of exposure to dangerous activities (this point is further developed later).

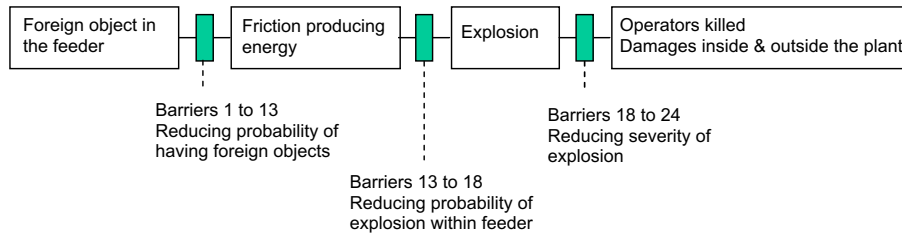


Fig. 3. Twenty-four barriers preventing and mitigating an explosion scenario.

• **Procedures regarding circulation were not applied, but here again, for some of them, it would have been difficult to comply:**

- Walking on routes that reduced exposure within the pyrotechnic part of the plant appeared to be rather difficult given the presence of several cells producing simultaneously.⁵ Indeed, when many cells are producing, safe principles of walking around the pyrotechnic plant by avoiding passing in front of a cell become impossible. There will always be an exposed walking route, leaving few choices for operators, and each of them is potentially dangerous. This situation was due to an increase of production,⁶ but also to the new safety studies that had been done allowing the two cells to produce simultaneously.
- The maintenance operator was circulating within the pyrotechnic plant without the front line manager being aware, as prescribed in procedures. He had visited cell 47 where operators of this cell had themselves changed a piece of equipment, which was also outside the prescribed practices. Operators were not allowed to perform maintenance and were required to ask a maintenance operator to do it. The fact that they did it was partly due to a telephone not working in the cell 47 so it was quite difficult for them to get in touch either with line management or maintenance. As a result, informal practices developed.

• **Procedures meant to decrease the probability of having foreign objects in the installations** (such as cleaning, fixing moving parts, suppressing empty spaces, number of available lids to cover feedboxes) were not fully complied with. It appeared through the interviews that doubts were also raised about having enough lids for each inlet. The level of implementation of the maintenance programme for securing moving parts and filling holes in the feedboxes was also questioned by operators during interviews.

• **Procedure for reducing time exposure to high risk activity to 10%** during a shift could rarely be attained for many reasons (on the day of the accident, time exposure of maximum 10% was almost reached before even starting production):

- Breakdowns happen frequently so that operators need to stay around the machines to sort out their problems (by calling maintenance or themselves finding solutions), thereby increasing their exposure time.
 - Paste was often not of good quality⁷ because the machine in cell 50 was not a priority as it produced less than 20% of the site's sticks. A new fully automatic machine produced 80% of sticks and quality adjustments made by operators to nitroglycerine paste were made to match the latter, and not the former (less important in terms of production).
 - The constraint to produce a certain amount of cartridges given all the problems faced (breakdowns, thick paste not going through the feeder easily, leading to dismantlement of the die) put pressure on the operators, and does not favour safe practices. This went against a strong principle aimed at reducing stressful conditions for operators manipulating highly dangerous products (this principle is found in the pyrotechnic work regulation of 1979, requiring specifically that no production pressure, such as being paid according to quantity processed, should be implemented). However, in this situation, each time that problems were faced, the need to reach the daily production quota brought conditions closer to what was explicitly to be avoided, namely time-pressure leading potentially to unsafe practices.
 - The presence of the operator collecting waste at the beginning of the shift appears to increase rather than decrease time exposure to personnel.
- **Quantity of nitroglycerine stored in the cell was supposed not to exceed a certain threshold.** Due to the morning activity but also due to deeper storage issues that will be discussed later, this maximum was not respected (there was 580 kg of product instead of 220 kg maximum). Part of the job of the assistant operator is to check on these levels. The morning of the accident, this was not done.

As a result of this step, it appeared that many of the barriers designed for safety were out of their intended envelope. Many of the practices such as described in procedures (specific practices for starting production in the morning, operator presence according to planning, circulation in the pyrotechnic area, maximum quantity of paste stored in cell, maintenance operation known by management, etc.) were not followed. If each of these many safe practices had been followed, the specific circumstances of the morning would have not have come together, and the accident probably avoided or at least its consequences reduced significantly. But at the same time, some of these practices were local adaptations which provided ways of coping with the specific events of the morning. These informal practices developed for reasons, and could not be produced at an individual level by considering opera-

⁵ This situation entailing the possibility of simultaneous activity was a change brought short recently following structural modifications to the central barricades. These were raised to a higher level and, therefore, a new safety case in 2002 was performed by the site for taking into account this change. The result of this new study was that the new configuration allowed for simultaneous production on both side of this central barricade. The previous safety case of 1993 did not allow of simultaneous functioning. The problem is that this new study was not yet assessed and approved by the various administrations. This point will be discussed in more detail in the next section.

⁶ The day of the accident, an increase of activity was also due to the decision to use a product sent back from Ireland (where another site of the company could not produce it). However, no risk analysis was performed although regulation asks for risk analysis to be carried out in case of significant changes. This point will not be discussed further but was discussed in the regulatory part of the report. We concluded that it was indeed difficult to judge, given the criteria, if a specific study was necessary, but with hindsight it looked like a risk analysis would have probably shown the irrelevance of the situation in terms of safety, especially regarding the itineraries but also the quantity of product stored in cells due to the simultaneous activities.

⁷ By quality, is meant here the quality in regard to the ability to go easily through the die of the feeder. Safety criteria of the paste and customer satisfaction (in this sense, quality of the paste) were not impacted by these problems of going or not going easily through the die. It was an internal production problem.

tors without their working context. The specific events of the morning were related to wider issues linked with the organisational configuration of the plant. The fact that many activities happened at the same time that day and that many people were exposed to the explosion resulted from a specific organisational configuration and dynamic following trends stretching over several years.

4. Organisational dimensions

The next three steps consisted, therefore, in collecting more information regarding this organisational configuration, with the help of several perspectives. The conclusions are organised in three parts (a graphical representation is then provided, in the last part of the paper). The first one introduces the changes that the company and the plant faced in the last 10 years including the description of the complex relationship between the plant management and control authorities. This provides the background for understanding the organisational dynamic behind the accident. It is a core part of the analysis, providing key data for the other parts. A second angle is the cultural side of the organisation (including plant and company). The third and last aspect of this accident, looking at the case with a more normative perspective, through safety management, also provided interesting insights into the way safety was designed, prescribed and managed. All these dimensions are very much intertwined. The organisational (sub)cultures of the company have been modified through the changes of the past years and result also from safety management implementation which itself has been shaped by pyrotechnic regulations and the relationship with control authorities.

4.1. A history of transformations

4.1.1. General trend in the past years

The aim of this part is to extract from the history of the company and the plant some key moments that help to define the general trend, including technical as much as organisational aspects, that shaped the plant working conditions before the accident. This part is important as accidents are generally much more understandable in the light of history. We identified a number of main events such as the drop from 170 employees to 84 in the last 10 years due, first to the reduction of one activity in 1991, bringing down the number of employees from 170 to 117, then second by implementing new automated equipment. Automation meant that retiring employees would not be replaced. A machine called “Tellex” was installed in 1989 replacing manual activities and producing higher quantities of paste. In the mid 1990s another new machine, called EGC, produced 80% of the cartridges (this point has been mentioned earlier in the barriers analysis), making the other machines less a priority than this one. Other technical changes involved many safety and production oriented objectives. The design of an automatic transport of paste between storage cells and production cells was meant to achieve both safety and production purposes. The installation of a control room with a video system for operating from a distance (and protected by barricades) was meant to be a safety improvement. All these contributed to modernising the plant and helped it to reach, in theory at least, a higher level of overall safety design for employees and the environment of the plant. Apart from these technological changes, major organisational ones also happened. A new site manager was appointed in 1998 when the previous one retired, and 3 years after, in 2001, the company merged support activities (such as sales and buying department, human resources) of the two French Nitrochimie sites (the first one is Billy Berclau, and the second one is St. Martin de Crau, located in the south of France). The new man-

ager would consequently supervise the two sites, instead of a manager for each site. As a consequence, he divided his time between the two plants. Following this new appointment some decisions were also taken to change the safety approach of the plant (i.e. activities such as housekeeping and learning from experience). Some organisational changes at corporate levels were also made creating indirect impacts at the plant level in terms of safety. Regarding past accidents, the plant suffered a fatal accident in 1987, during work on a pipe, an operation that did not involve explosive substances. Some of these changes are now discussed as they provide a very interesting organisational angle.

4.1.2. Focus of some retrospectively relevant changes

The interest in extracting these changes is also to introduce power issues and decision making processes, both showing how an organisation is shaped by individuals with the power to do so but also how decisions for these changes (that are resulting from collective processes), made sense at the time for insiders. Asking about the rationale behind some decisions certainly implies understanding better the cultures within which these decisions were taken. As mentioned previously when introducing the intertwined nature of the many dimensions of the case, an analytical distinction between the power and decision making aspects and the culture here seems useful but also raises questions. It is closely related to contemporary questions for which some elements of answers are found in Antonsen (2008) or Le Coze (2008b).

4.1.2.1. *Company's decisions.* In theory, the decision to modernise the plant with new technology created a safer system, as people in principle would be removed from the dangerous parts of the installations during their working hours.⁸ In practice, this was not the case in all cells due to various problems such as described in this accident through the barriers analysis (i.e. quality of the paste). A result of introducing more mechanical installations was also the increase of the probability of having foreign objects and thereby increasing the risk of explosion⁹ (one of the main risks of the plant). Instead, these technical modifications created a sense of safety at corporate levels, but also in the plant. Investments made in safety through more automation were seen as producing (wrongly because of real production circumstances discovered throughout this case) a safer plant. The decision to replace the experienced director of the plant who retired, by an inexperienced director and to allocate this new director, 2 years later, to the management of two sites instead of just one, was a decision which had many organisational impacts. The leadership on site changed considerably because the previous director was an experienced engineer of the industry who was regularly on site to monitor practices and to interact directly with workers. The change to the new director was important. He was not in the plant as much and, therefore, not able to assess production and safety practices, given that he had no knowledge of them, despite

⁸ It was also a sign that the company was economically in a position to do so. This company was in fact well positioned in the market, and one of the two or three first producers in Europe, owned by a family and not by financial stakeholders. Its position in the market was not critical and there was no outside pressure from it. However, limited visibility of the market (mining companies needs can vary according to weather conditions and also according to geological feature requiring different types of sticks) but also constraints from security management at national level (which requires that transport times of pyrotechnic product do not exceed 24 h on the road, therefore requiring a network of storage to allow for logistics of products) created strong local constraints and did not facilitate production planning within the plant. This led to problems such as met on the day of the accident.

⁹ During a presentation of this investigation, a person from the audience and from the pyrotechnic industry said that this was a known issue and that consequently, some companies did not change their installations for these types of more mechanical ones. Another reason for automation in the site, apart from decreasing exposure time, was to reduce the occupational health and chronic risk of having operators directly manipulating the paste for many years.

a technical background. The fact that he spent only half of his time at Billy Berclau, as he was also in charge of St. Martin de Crau, did not help him to get to know the site and the practices. The rationale behind the decision to have only one director for two sites was that it provided a better approach for managing them administratively (especially in regard to the increase in environmental safety demands). The other reason was to better manage the two sites because social tensions existed between them.

Another important change at corporate level created a situation where the safety department of Billy Berclau did not have what he described to us as its “red phone”. Following the replacement of the technical expert at corporate level (this change was a consequence of the decision to have one director for two sites), the safety department lost its ability to make strong safety statements at high level. This connection had allowed the safety department, which was not involved at these levels of decisions, to make comments through this previous individual, who then made clear some of the problems faced on site with regards to safety. The modification at corporate level of this informal and powerful network created indirectly a much more difficult situation for the safety department. Safety people could not count anymore on this individual to get their message through, up to the top management. Safety became even more strongly decentralised. Loosing this informal and trusted link with top level management isolated the department even more from strategic decisions.

Finally as we move closer to the day of the accident, the decision to produce the Superdopex coming from Ireland, creating an increase of constraints on the plant appeared to be highly questionable in retrospect. It is clear that this decision created significant pressure at shop floor level the day of the accident, pressures that were obviously not foreseen by top management. The consequences were described in previous parts of the paper (i.e. the problem of increase of quantity produced, problems of respecting safe travel routes, etc.). The fact that this decision was taken can be linked to the poor level of knowledge at higher level about the state of the plant with regard to safety. This can be directly associated with the various changes that affected the flow of information (decentralisation of safety department, allocating an inexperienced manager on two sites instead of one). We turn now to plant level decisions.

4.1.2.2. Plant's decisions. Several decisions of changes at plant levels are worth indicating: a new safety strategy on site (including new “safety culture” principles, no subcontracting for safety cases, new learning from experience configuration), a lack of notification to control authorities following changes in technical layout, the exposure to risk of another individual and the early start the day of the accident (creating many problems the morning of the accident). These are briefly commented in turn.

Following the replacement of the old director, a new strategy regarding safety was slowly introduced. This concerned practices of leadership and management and was based on a principle of “safety is everyone's concern”. The strategy consisted in having people sharing the safety goals, by introducing them into their practices. One of the associated and tangible measures taken along with the implementation of the new “safety culture” vision consisted in stopping the activity of monitoring performed by the agent who was part of the safety department. This measure was consistent with the idea of having people made more responsible for safety matters, and not relying on external safety monitoring to adjust their level of practices. The decision not to subcontract safety cases diverted the safety department from operational activities through the administrative work that it implied. From the plant perspective, a sub-contracting strategy would have not allowed people to be part of the risk assessment process as much. The change consisting in stopping learning from experience based

on safety department did not look positive with hindsight. This followed complaints from the production service. The context of this decision must be understood in the light of the change of leadership and also linked to the fact that the management of the plant, because of the low level of presence of the new director, came into the hands of the production manager. His influence grew as he became the person on whom the director could rely on, and resulted in a decision such as this one.

Another relevant decision was to not transmit a safety case to the pyrotechnic inspector. The site was subject to a specific pyrotechnic regulation included as a work regulation, the 1979 regulation,¹⁰ specifying prescriptive safety measures. The site was also subject to the environmental regulations (major hazard prevention). The site had, therefore, in theory the visits of three inspectorates: occupational work inspectors, pyrotechnic inspectors and environmental safety inspectors. In practice, however, it seemed mainly to be performed by pyrotechnic inspectors.¹¹ When a safety case is produced by a pyrotechnic plant under the 1979 regulations, it is transmitted by the work inspectors to the pyrotechnic inspectors who assess it and then inform the work inspectors of their evaluation. The work inspectors must also transmit the safety case to the environmental inspectors. In practice the environmental inspectors, because of the specialised nature of pyrotechnic activities and regulation, also ask for the opinion of the pyrotechnic inspectors. Knowing this situation, the safety department of the site in charge of the safety cases usually sends the reports directly to the three inspectors, so that safety cases get validation quicker. The study of 2002 regarding the impact of the structural changes (higher barricades) was only sent to the environmental inspector, instead of the three inspectors (as it was usually done by the management of the plant). This was different than usual. The fact that the site had a lot of safety cases to perform on the account of the environmental regulations is an element of explanation. Indeed, following 2000, the pyrotechnic site became liable to produce safety cases specifically dedicated to environmental issues. These safety cases are based on different principles from the 1979 regulations. Whereas the 1979 regulation was applied for both issues (work and environmental regulations) before 2000, the new regulation required the site to produce new safety cases specifically dedicated to external safety and also to provide a global perspective including both regulations. But safety thresholds and distances in the 1979 regulation and in environmental regulations are not the same. They do not match straight away, and work needs to be done to find out about the way to do it. This requires discussions with the various inspections, but contains also uncertainties about how to proceed (contributing to divert even more the safety department from its operational activities). Confusion resulted, altering the traditional validation process such as practiced. Cases where modifications are made and accepted without sanctions in retrospect by authorities (granted sometimes that further risk analysis is performed) do exist. Given the mismatch

¹⁰ When this regulation was implemented, the number of accident in the following years within the industry considerably decreased. This regulation, therefore, had a strong impact and is recognised among the pyrotechnic professionals as a reference to be followed for safety.

¹¹ Pyrotechnic inspectors performed seven inspections following the 1979 regulation implementation (in 1981, 83, 86, 2 in 87 due to a fatal accident, 1992). The last one was done in 1997. The outcomes of the inspections in general provided positive as well as negative comments regarding management of safety. The inspectors acknowledged the constant efforts put into safety by the company: investments in automation to remove people from dangerous activities, sensitising campaigns and learning from experience activities following increase in foreign objects on site. However, more negative comments were made with regards to the stability of the personnel not helping safety practices to be maintained, the fact that not many incidents were declared to the inspectors but also that excess quantity of paste stored were also noticed during inspections. It is noteworthy to stress the gap of 5 years between the last two visits, and also the fact that no inspection had been done for 6 years before this accident. This questioned the level of control by authorities.

between the need for changes in plants and the duration of a validation process by authorities, situations of this kind are bound to happen and do happen. The evolving and overlapping regulative contexts of the plant provided another ingredient for this.

The decision to have an operator dedicated specifically to waste collection instead of having operators doing it themselves after their shift is an example of moving away from a principle of exposure reduction by allocating someone to a specific task within the pyrotechnic plant. This is interesting as it provides another example that technological safety improvements can always be reduced by organisational measures. Finally, the decision to start the production earlier the day of the accident created the specific circumstances of the morning. These changes in production seemed to be regular decisions, made for coping with production needs and constraints (see Note 8). It was strongly dependent upon the production increase of the last weeks.

4.2. Influence of (sub)cultures

The (safety) cultural dimension has been debated extensively in the past years in the literature, in anthropology and sociology, but also in safety science, with the concept of safety culture (Hale, 2001). Culture can be understood as an emergent property resulting from people interacting within social and institutional contexts, shaping values, norms and cognitive processes of individuals. It is as such a very difficult topic. It is always complicated to identify and understand precisely how brains and thoughts can be modelled so that the world is perceived and interpreted in specific manners by individuals. This implies a strong historical perspective because only history and time can shape the specific ways in which (group of) individuals in organisations develop these values, norms and interpretative frameworks. It is believed in relation with what has been written in the field (i.e. Hopkins, 2005, 2006) that it is more fruitful to see how an organisational culture influences safety rather than to study a safety culture on its own within an organisational culture. The possibilities of several organisational sub-cultures existing rather a single one is also acknowledged based on, for example, functional, geographical or hierarchical divisions of organisations but also professional identities. In this respect, two sub-cultures were discussed, a shop floor culture and a corporate culture.

The first cultural dimension was linked with the site's long history of a 100 years. Over time, operators developed habits and practices adapted to technologies. Some operators incorporated practices that might not be adequate following the changes in technology, especially new automated and mechanical ones. The behaviour of the operator videotaped on the morning of the accident, consisting in throwing the bit of paste into the feeder is one of them. Apart from being understandable through the pressures imposed on the day of the accident given the difficulties in starting up the activities, the cultural approach is also very complementary. Many operators during interviews described what they called "pratiques à l'ancienne" ("old practices") that were in use in the plant allowing them to deal with situations. "Old practices" meant that these were not anymore the official practices, but were nevertheless in use sometimes as they were remembered by operators with many years of experience. This created tensions between old operators and young ones, who tended not to rely on these past practices.

The second subculture discussed was based on descriptions provided by a book (celebrating the 100 years of the company) describing major evolutions, with changes made following the retirement of directors in the mid 1990s. As the book explains, management style evolved from a centralised vision to a more collective approach. This was partly due to the change of background of directors, shifting from an engineering background to a more

business one, creating new type of leadership. This was an important change in the way decision making would be influenced and performed at these levels. A new sub-culture developed at these levels (a specific corporate culture). Given the circumstances of the accident and the many decisions taken at this level (including appointment of new director, decentralisation of safety management, increase of production when recycling paste, etc.), it is interesting to correlate them with this cultural evolution at corporate levels. It is also interesting to see some of the organisational changes at the site level as the translation of this new corporate culture through the new director representing this new style of management, pointing at "trickle down" effects (Vaughan, 1997).

4.3. Some safety management (structural) insights

Safety management analysis reveals interesting aspects of the organisation complementary to decision making processes, power and cultural dimensions. As already mentioned now, it would be difficult to distinguish these intertwined facets, and safety management is an integral part of the understanding of organisation behaviour. First, it translates how the company formally approaches safety, and is, therefore, an indication of its maturity. Secondly, this formal side of the organisation participates in concretely shaping practices on site. Risk analysis, learning from experience, management of change, training and auditing were analysed in this respect.

4.3.1. Risk analysis

The risk analysis process was performed under the prescriptive rules of the pyrotechnic regulations of 1979. In this regulation, risk analysis consists in applying calculations according to thresholds and principles of probabilities linked with types of pyrotechnic activities. The new regulation that came in with the SEVESO II 1996 directive, translated into the French system in 2000, is of a different nature. This regulation is based on safety management system principles that differ from the prescriptive of the previous regulation. While the 1979 pyrotechnic regulations indicated everything that needed to be done for maintaining safety, the safety management principles implied autonomy on the part of the company. This was a quite new approach for this industry. The translation of the pyrotechnic regulations within this new one was not supported by any official guidance. On top of this, a barrier approach was required to be integrated into practices.¹² The purpose of identifying all barriers is to define in a simplified manner what contribute to ensuring the prevention of identified accident sequences. In their approach, they retained the last barrier to be introduced in the safety management assurance system. This restrictive identification and visibility of the barriers revealed a minimalist perspective on risk analysis and safety management principles. It would have been highly relevant in the case of foreign objects, as it is difficult to identify all their sources. With the barrier approach, foreign objects could have been located throughout the layers of defence. How many barriers were bypassed would have been a good indication of safety. However, this type of approach is different compared to the prescriptive 1979 regulation. We also noted that the risk analysis was not performed according to practices found in other industries. The fact that no operators and no line managers participated in the risk analysis working group was not favourable to the risk awareness of both groups, but also meant that

¹² This was the result of an inspection by the environmental inspector in 2002 that revealed a lack of thoroughness in the principles applied from safety management. It was also interesting to compare the type of inspection performed by the two inspectors. Their different experiences of the pyrotechnic activities produced very different type of inspection and outcomes.

during risk analysis, assumptions regarding practices were not challenged by operators' experience.

4.3.2. Learning from experience

The company learned regularly from outside accidents. There is, due to the dangerous nature of the pyrotechnic activities in general, a strong network of designers of pyrotechnic installations and companies, exchanging information on safety issues. In the past this network was activated to improve machines following accident investigations, but also following spontaneous collaboration between designers and industry for enhancing safety performance of equipment through risk analysis. An accident occurred a few months before this one in Germany involving a similar machine. It was concluded that a foreign object was at the heart of the accident. But efforts to get more information by contacting the German firm directly were unsuccessful. A risk analysis of this machine was, therefore, performed. During a meeting held in January 2003, it was decided to replace the screws made of steel by composite screws that would reduce the likelihood of an explosion in case of a foreign object in the feeder (the most likely scenario). Unfortunately, no deadline was decided for this action. The explosion happened before the improvement could be implemented. The internal learning from experience also revealed significant activity around the presence of foreign objects. Twenty-three investigations were performed in the previous 3 years in order to analyse and to take corrective actions after various foreign objects were found in different parts of the processes (six in 2002, 12 in 2001, four in 2000). A specific learning from experience programme was implemented around the mid 1990s following an increase in the presence of foreign objects¹³ found in the various steps of the process.¹⁴ However, as described, the safety department was not involved anymore. This practice of having someone for animating the learning from experience is considered as a good practice given that the human and organisational dimension will always challenge practices and managers. If there is nobody to ensure fairness of the investigative process, this can strongly limit the ability of the analysis to go beyond technical and individual problems. This point was clearly raised by the safety manager during our interviews. He found that this decision was a rather inappropriate one regarding the credibility and also power of the safety department.

4.3.3. Management of change and training

We have indicated previously that many changes occurred before the accident throughout the life time of the plant: some more technical and other more organisational, some more recent, some older, some internal, some external; all of them having a specific impact on safety on site. Some of these changes were followed by measures aimed at anticipating the impact of these changes, such as the removal of the safety agent in charge of the control of machine cleaning for which a "take five" method was about to be implemented.¹⁵ Some were not followed by a same effort of anticipation about their potential impact, such as the changes made at corporate levels. Changes in the production of the plant in the days preceding the accident were also not followed by decisions to assess their impact on safety at the shop floor level. It was clear in this case that technical changes seemed to be far better approached than organisational changes, due probably to the technological background of personnel¹⁶ but also on the lack of methods in this area.

¹³ We have indicated that pyrotechnic inspectors identified this activity of learning from experience as a positive aspect of the organisation.

¹⁴ There is a correlation between the implementation of new mechanical installations and the increase in foreign objects in the site as indicated earlier.

¹⁵ "Take five" practices consist in requiring from operators that they take the time to think about what they are about to do. This integrates assessing safety before doing anything. This has been commented on in Hopkins (2005, pp. 18–19).

¹⁶ The company had, however, a programme for training managers in management of change, but nothing specifically dedicated to major hazard prevention.

Safety training was a compulsory requirement of the 1979 regulation. In this regulation, operators were to be trained regularly on the safety principles of the pyrotechnic installations, and also the maximum threshold of paste in cells, etc. The investigation showed that there was a lack of clarity regarding operators' history of training and assessment. It was difficult to trace back the training history of individuals and, therefore, difficult to know who needed refresher training. The relationship between training and risk analysis were not very clear. There existed detailed processes of quality training with criteria against which individuals could be assessed, but nothing equivalent was available for safety. As training and especially refresher training was a core principle for maintaining a good level of safety practices in the plant, this situation could be considered as inadequate according to what it would have been possible to do.¹⁷

4.3.4. Auditing and indicators

The auditing of the systems was ensured by cross auditing between the two French Nitrochimie sites. This practice, however, disappeared in recent years and was considered by the safety department as an important change with negative impact. The safety indicators chosen by the company were occupational health and safety indicators. These had been excellent for the past 4 years. They contributed to the impression that the safety level of the plant was good. This indicates, as pointed out by previous investigations of major accidents (Hopkins, 2000), that occupational health and safety indicators do not give reliable information for major hazard prevention. The indicators concerning foreign objects were showing a constant rate throughout the year and an action was planned in 2003. This indicator issue contributed, along with other factors (i.e. flow of information between decentralised safety department and corporate, image of a safer plant through automation, inexperienced manager dividing his time between two plants, cross auditing not performed anymore, safety department diverted from operational activities, etc.), to creating a considerable gap between the sharp and the blunt end. These factors lessened risk awareness at management levels. Consequently, some decisions were taken by management without envisioning their potential consequences on safety practices. Although such a cognitive gap is natural in any organisation, its size in regard to safety will vary. In this case it appeared to be high.

5. Graphical representation (Fig. 4)

It is believed that there is relationship between an accident and a configuration of an organisation resulting from historical trends, created by incremental changes at different levels of a system.¹⁸

The intensity of the effects of these changes on safety is linked with the quality of the implementation of the main management processes such as management of change, learning from experience or risk analysis. The quality of these processes is in turn dependent on decision making linked with power issues but also with cultural and cognitive dimensions. A major accident is, therefore, to be understood as a systemic event linking the environment of the organisation, the organisation features and individuals' prac-

¹⁷ This point had also been pointed out by pyrotechnic inspectors. The fact that the company had a very low turnover in operators (due to local conditions of employments) did not help. Routines would be created, and polyvalence was, therefore, necessary for people to remain alert about hazards, and not to become complacent about the handling of highly dangerous products.

¹⁸ For example Farjoun and Starbuck (2005, p. 360) "The likelihood that a technology, such as the shuttle technology, will experience failure varies over time as a function of the organization's properties. Just as hardware components such as O-rings or tiles become more likely to fail under particular temporal and weather conditions, technological systems become more vulnerable when they are managed by organizations that have experienced long period of success, have had considerable personnel turnover and downsizing, or have been unable to learn from their experience."

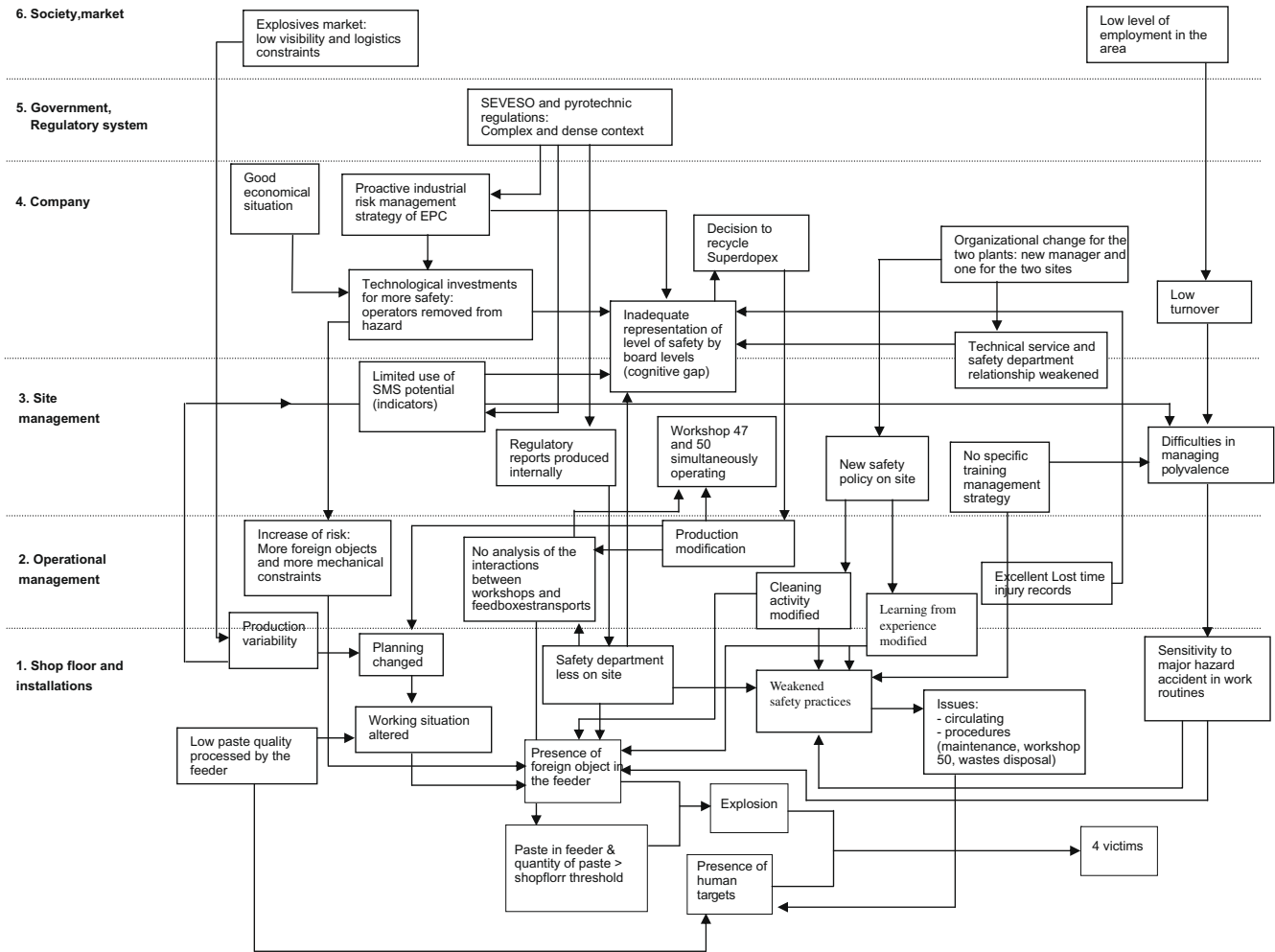


Fig. 4. A graphical representation of the accident.

tices (Vaughan, 1999). The relevance of graphical representations is to provide a support for indicating this global but also complex nature of accidents. These types of graphical approaches in accidents have been advocated by Rasmussen and Svedung (2000), and can be found in Hopkins (2000, 2005) but also in Snook (2000). They have limits (some of are discussed in Hollnagel, 2004, pp. 123–124). In the report we nevertheless also provided a graphical representation illustrating in a systemic manner, and articulating the several insights provided throughout the report. This graphic is presented in Fig. 4. The figure can appear complex at first, but with the reading of the previous sections and a little effort, the overall result introduces the main elements such as we have understood them following the investigation. It is, however, a highly simplified approach, reducing the complexities introduced by the narrative model, but has also its virtue, especially for communication purposes.

6. Conclusions

This paper has provided a summary of the findings of an investigation, demonstrating the importance of articulating safety engineering, safety management and social sciences for investigating and interpreting accidents. It describes how the methodological steps followed helped to build a systemic approach to describe the event. By targeting key actors in the organisation (operators, production and maintenance manager, safety department, etc.)

and in the environment of the organisation (corporate actors, regulators, market constraints), it demonstrates that it is possible to produce organisational insights with the expenditure of a reasonable amount of time and resources. Starting with the identification of the barriers based on the most probable scenarios, it then investigated these barriers (technical as well as those linked with safety practices) in order to understand their status on the day of the accident. Next, articulations between the environment of the organisation (market, regulations), the organisation and individuals (culture, power, safety management activities-structure) generated valuable data regarding the genesis of the accident.

Acknowledgements

I would like to thank John Kingston, Bill Hoyle and an anonymous reviewer for their reviews of the paper.

References

Antonsen, S., 2008. Safety culture and the issue of power. *Safety Science*.
 Dekker, S., Hollnagel, E., 2004. Human factors and folk models. *Cognition Technology and Work* 6, 79–86.
 Farjoun, M., Starbuck, W.H., 2005. Lessons from the Columbia disaster. In: Farjoun, M., Starbuck, W.H. (Eds.), *Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster*. Blackwell Publishing.
 Hale, A.R., 2001. Culture's confusions. Editorial for the Special issue on safety culture and safety climate. *Safety Science* 34, 1–14.
 Hollnagel, E., 2004. *Barriers and Prevention*. Ashgate.
 Hopkins, A., 2000. *Lessons Learnt From Longford. The Esso Gas Plant Explosion*. CCH.

- Hopkins, A., 2005. Safety, Culture and Risk. CCH.
- Hopkins, A., 2006. Studying organisational cultures and their effects on safety. *Safety Science* 44, 875–889.
- Le Coze, J.C., 2008a. Organisations and disasters: from lessons learnt to theorising. *Safety Science* 46, 132–149.
- Le Coze, J.C., 2008b. Texas city: weak signals or sheer power? In: 3rd International Symposium on Resilience Engineering – Antibes-Juans Les Pins, 2008.
- Rasmussen, J., Svedung, I., 2000. Proactive Risk Management in a Dynamic Society. Swedish Rescue Service Agency, Karlstad.
- Rasmussen, J., Petersen, M., Goodstein, L., 1994. Cognitive System Engineering. Wiley-Interscience Publication, New York.
- Snook, S.A., 2000. Friendly fire, the accidental shutdown of US black hawks over northern Iraq. Princeton University Press.
- Vaughan, D., 1997. The Challenger Launch Decision: Risky Technology Culture, and Deviance at NASA. University of Chicago Press, Chicago.
- Vaughan, D., 1999. The dark side of organizations: mistake, misconduct, and disaster. *Annual Review of Sociology* 25, 271–305.
- Vaughan, D., 2004. Theorizing disaster: analogy, historical ethnography, and the challenger accident. *Ethnography* 5 (3), 313–345.
- Waring, A., Glendon, A.I., 1998. Managing Risk, Critical Issues for Survival and Success into the 21st Century. International Thomson Business Press, London.

Article 2

Le Coze, JC. 2008. Disasters and organisations: from lessons learnt to theorising. *Safety Science*. 46. 132-149.

Disasters and organisations: From lessons learnt to theorising

Jean-christophe Le Coze *

*Direction des Risques Industriels, Institut National de l'Environnement Industriels et des Risques,
Parc Technologique ALATA, B.P. no. 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France*

Received 11 May 2005; received in revised form 2 November 2006; accepted 15 December 2006

Abstract

The aim of this paper is to discuss the organisational dimension in accident investigations and to suggest a way of organising the various approaches according to their purposes, underlying modelling rationale and models. Indeed, several methods and models exist today for treating the organisational dimension of accidents. In this paper, they have been classified in three main types: research with theorising purposes, commissions set up for investigating major accidents and structured root cause analysis methods. The modelling and theorising rationales of these various approaches are introduced and discussed. They are classified according to their depth as well as their position in reference with their more normative or descriptive nature, and with a “model that should fit the data” principle extracted from the human and social science theorising and interpreting process.

A suggested graphical classification helps locating these current modelling techniques and models. It serves the purpose of identifying what are the limits and advantages of each, for various type of actors (e.g. safety managers, inspector of hazardous installations, professional investigators, researchers). A discussion then insists on the need for being very sensitive to the gap between the more normative (or prescriptive) and the more descriptive perspectives in the process of learning from the organisational side of accidents.

© 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Accident; Investigation; Organisation; Modelling; Models; Theories; Theorising; Methods

1. Investigating organisations

Organisational studies of disasters have been published from social scientists like [Vaughan \(1996\)](#) and [Snook \(2000\)](#) with a research perspective but also from reports of accident investigation commissions set up after disasters like the [Columbia Accident Investigation Board \(2003\)](#), the 11th of September 2001 attacks (2004)¹ or the [Ladbroke Grove Rail Inquiry \(2001\)](#) with a recommendation perspective.

* Tel.: +33 3 44 55 62 04; fax: +33 3 44 55 62 95.

E-mail address: jean-christophe.lecoze@ineris.fr

¹ Although not about a traditional industrial disaster, the report still remains an in depth inquiry into a system in charge of preventing potential risks, with methods, activities and network of actors and institutions coordinated to perform risk management activities. We have ([Le Coze and Dechy, 2005](#)), based on the 11th of September attacks report ([Rapport de la commission d'enquête, 2004](#)), tried to show the similarities and the relevance of system safety concepts for security.

These works along with an experience at INERIS on an in depth accident investigation (Le Coze et al., 2005) and other organisational investigations on a smaller scale, led to questioning of the investigative process of collecting and interpreting data, and of addressing recommendations at several levels based on the interpretations. Subsequent and related questions – like the nature of causalities when the organisational dynamic involved in accidents advocates an historical dimension, but also the link between the existing organisational models available and their use in the collection and treatment of the data – were raised.

1.1. *Micro/meso/macro issue*

It seemed also that it was an appropriate time for discussing organisational type of investigations, in the same way that human factors² oriented studies discussed at some point their underlying rationales for understanding the individual's contribution to accidents (e.g. Rasmussen et al., 1987).

It must be acknowledged however that no conflicting view is implied here between human factors (a micro level) and organisational factors (a meso–macro level) as it is believed that by principle links do exist between the two approaches. The difficulty is however a well known interdisciplinary and scientific difficulty where individual levels with for example psychological and psycho-cognitive insights and a higher level with sociological, psycho-sociological or anthropological dimensions need conceptual and empirical articulations. Micro level research has been recently looking at ways of integrating the social, cultural and organisational context of cognition. These current studies emphasise the need for linking the individual context, like in the situated action perspective, the situated cognition approach, the cognition in the wild, or the naturalistic decision making – ecological approach³ (Darses et al., 2004).

The ability to create micro–meso–macro links, between a social level and an individual level, has been a major theoretical and methodological difficulty for social sciences since early classical works. The normalisation of deviance theory introduces a link through a new institutional perspective (Vaughan, 1996, 2004).

If a non-conflicting view is suggested, it is however acknowledged that the rationales of these various approaches rely on very different methodological and conceptual roots, but also on the definition of the situation under study and the purpose of the study.

1.2. *Normative (or prescriptive) and descriptive modelling and models*

The question regarding the process of investigating with an organisational perspective is an important one as some are currently developing the idea that independent investigations are a means for learning lessons and getting into a fourth age of safety described as the “system deficiency and change”, after the “tort law school”, the “reliability engineering school” and the “system engineering school” defined by McIntyre (introduced in Stoop, 2004). This fourth age would consist in having independent investigations in order to bring out, from a global perspective, the systemic deficiencies of the system, “without the stakeholder's interests, without an allocation of blame focus or without major scientific biases, and preferences around technical, behavioural, organisational or cultural dimensions”.

This classification and ideas about the fourth age of safety would need some input from the research and practical communities to build the disciplined investigative methodologies required, and to specify what the independence means in terms of, for example, the relationship between the models and methodologies used. These methodological and conceptual aspects of such investigations, when they address global,

² The expression “Human factors” includes the research and practices having a focus on man-machine interface (but also practices with sometimes a broader scope), articulating several disciplines (psychology, physiology, cognitive psychology) for designing working situations.

³ This link is difficult to establish as it creates epistemological tensions about cognition as a symbol processing activity but also as an activity embedded within a social and historical context. This question is for example discussed in Varela (1996) and mentioned also in Simon (1984). Varela discusses the introduction of history and enactment for explaining cognition (how individuals make sense and create the external world – a codetermination of the world and the individual action with a more “connexionist approach” – at a subsymbolic level) compared to a symbol treatment principle (a more established cognitivist approach – symbolic level). One of this tension regards the philosophical (and epistemological) status of our relationship with the world that we interact with and reality.

multidimensional and complex social system issues, are therefore to be discussed. This paper would like to suggest some ideas for this discussion.

Another good reason for a discussion of this paper is the state of the art on tools and methodologies with respect to structured root cause analysis (Sklet, 2002). Structured root cause analysis serves the purpose of supporting learning process within companies about the organisational side of accidents (e.g. Hale, 1997). Their aim is to provide guidance for internal investigation following incidents. It appears important today to try to understand these tools compared to other in depth investigations like the investigation of commissions set up after a disaster or theories derived from research about the organisational side of accidents.

Indeed, the latter do not specifically rely on these types of structured approaches and leave the investigator without pre-defined and fixed models for the treatment of the data collected, but are nevertheless also structured in their own rationales. These rationales appear to be very similar to qualitative case study approaches for the work of investigative commissions (e.g. Miles and Hubermas, 2003; Yin, 2003) and based on specific theorising techniques in social science for research work (e.g. Glaser and Strauss, 1967; Vaughan, 1992, 2004; Straus and Corbin, 1998).

Compared to these qualitative and descriptive social science methods, structured root cause analysis, designed for practical purposes, appears to put some constraints on the data and could therefore sometimes alter, to a certain extent, the specific nature of the human and social world.

This is what could be called a symptom of the “*data that should fit the model*” rather than a “*model that should fit the data*” approach, where the latter is advocated by qualitative case study research in social science (Glaser and Strauss, 1967); although social theories sometimes can belong to the first category. Indeed, the risk of data “*forcing fit*” is always present (Vaughan, 2004).

These two positions – descriptive and normative – help defining a continuum along which different investigation processes (implying different type of rationales, resources, models, time and access of information but also purposes and method) can be unfolded, depending on the context of the accident, its scope but also on the resources and competence of the people in charge of applying the tools and methodologies. This continuum will be used and further developed in this paper for classification purposes in the final parts.

1.3. Remark on the scientific approach of this paper

This work must be seen as an exploration of various domains existing in human and social science, in safety management and safety engineering practices, and in systemic and complexity developments; these last ones being closely linked with epistemological questions. This work is therefore a generalist research, with the risk of not being specialised enough in all the areas that will be covered. Being a specialist in all of them would be well beyond the amount of knowledge that they require, although an important effort has been made in order to understand the core concepts in each field, through practice and theoretical approaches. In face of the complexity of the major accident phenomena, a kind of generalist attitude seemed a relevant research strategy. It follows some principles of an epistemology of complexity, as developed by Morin.⁴ It is believed to be a reasonable scientific risk to be taken, for theoretical and practical purposes.

2. Modelling and theorising

In this part a brief discussion is made on the notion of models and theories, as these words will be used in the text, and that theorising has been chosen for the title of this article. Both theorising and modelling are used in human and social sciences fields, although it could appear that model is a more popular expression in the human factors related fields (e.g. Rasmussen, 1997; Sperandio, 2003; Leplat, 2003) than in organisational related works (e.g. Vaughan, 1992; Weick, 1995a). Both will be used interchangeably in this paper.⁵ What can be retained for this paper is that the process of theorising or modelling implies collecting, ordering,

⁴ We have introduced Morin’s work in Le Coze (2005), and with more details in Le Coze (2007).

⁵ Model however, still does sound like a bit a level “below” the theory. Theory may culturally involve, based on the natural sciences, the idea of an ideal mathematical logico-deductive set of articulated and deterministic laws, with an explanatory and predictive power, and a rather general scope (Soler, 2000).

interpreting/explaining, and sometimes predicting phenomenon. Modelling or theorising are based on specific empirical methods and related concepts, models or theories (from the disciplines involved), depending on the situation to be modelled and the purpose⁶ of the modeller.

3. Complex causalities

In a previous paper (Le Coze, 2005), the complex nature of organisations has been emphasized. Complexity concepts (based on cybernetics, general system theory, self-organisation and recursivity – organisations are products and producers at the same time – and emergence), provides a pictures of the human and social world where causalities are not linear, where their effects can be by nature unpredictable and counter intuitive. The nature of this unpredictability is found in the high number of interrelated, self-organised entities that are always affected by changes in the system, through interactions and feedbacks, and thus leading to unexpected and emergent patterns. Circular causalities – or also thinking in terms of constraints rather than linear causes – are a more suitable approach than a linear one when it comes to thinking of causalities in the social and human world, and therefore in organisations. These evolutions are not fully predictable, and future is consequently hardly deterministic when it comes to organisations.

4. History and context

With such a perspective on causality, both context and history in accident investigation do matter. They indeed create the conditions in which people – when interacting in organisations – perceive, make sense of their world, deal with uncertainties, develop strategies and structure their relationships through the use of power and cultural influences in a dynamical perspective, constantly in motion according to the resources and constraints available to them. Consequently, accident investigation and research with organisational perspectives always go back in time. They do so in order to get an historical and dynamical dimension to produce a rich context of actions and decisions of interacting individuals at several levels.

Methodologically, going back into history and across levels allows creating links between events from the past and nearer events closely involved in the accident. These events from the past can for example include changes in the organisation, new policy implementation following the appointment of new managers, implementation of new technology, but also events outside the organisation, like new regulations, economical and market changes or intensification of subcontracting etc. They draw a “skeleton” of key events chronologically consecutive that can be assumed in that respect to be linked with closer events in a way that is to be described and interpreted (this is very similar to a change analysis, with a very broad perspective).

From a descriptive initial step when going back in time and establishing chronological links, at several levels, conceptual relationships in empirical data must then be found to explain how events from the past set up the conditions allowing the accident to occur in the way it did. This is an interpretative phase, explaining causalities and conditions involved, and if pushed further, theorised. This is suggested in the following picture (Fig. 1).

⁶ The “modeller purpose” refers to the fact that a model is inseparable of the modeller’s project, a project that is part of a context. This context is cognitive, sociological, cultural, historical. ... In a constructivist epistemology as developed for example by Lemoigne (1995) or Glasersfeld (1995), the purpose of the modellers is to be acknowledged, as it will have an impact on what he/she will select as relevant in his/her modelling. This type of statement follows articulations from various works in different philosophical, epistemological and historical research traditions, such as for example Husserl (1935), Bachelard (1934) or Kuhn (1962) all of them bringing back some dimensions related to the project (the intention) of the modellers, rather than an object under study to be discovered, independently of the observer and his/her context. This asks the question of the value of science and the metaphysical sides of some features (e.g. simplicity, coherence, efficiency) that modellers can impose on their models. There are values that cannot be demonstrated scientifically but they undoubtedly constraints the scientific theories themselves. Only the observers, the scientists, impose these rules on their models. It is not a statement of strong relativism, but only that knowledge itself must be approached through the understanding of the observer’s impact on its observation, and consequently also the purpose of his/her modelling. This is important when it comes to assess the value of models.

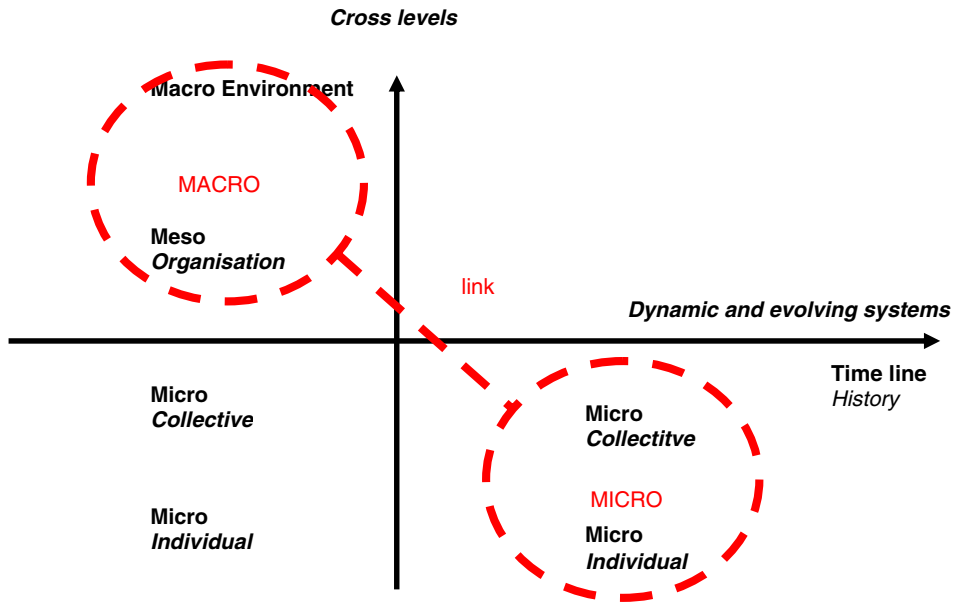


Fig. 1. Link between higher and lower levels in organizations (micro-meso-macro links).

The aim of social science research is to elaborate on these interpretative models. This will be discussed in the following parts.

One consequence of this approach is that everything that is collected is part of the context allowing the accidents to occur the way they did. Everything is “given”. There is a hindsight bias showing the path of some of the events following each other although this path is not written for the people in the past. How do you think of the past in the same way as the people of this past (understanding their behaviour and thought, knowing only what they knew before the events)? Fig. 2 illustrates this⁷ (see Fig. 2).

5. Three types of organisational investigations

In this part, three types of approaches are presented and discussed: studies produced by social scientists (Vaughan, 1996; Snook, 2000), accident commission investigations (Columbia Accident Investigation Board,

⁷ What can be said regarding this type of “asymmetrical” issue in investigation is that looking with hindsight into a “failure of foresight” is like any historical work that has to identify and select data from the past and use various types of interpretative frameworks for making sense of it. Historical sciences and the hermeneutics tradition (e.g. Prost, 1996) – which is consistent with a constructivist epistemology (Glaserfeld, 1995) – has shown that reading events of the past is always based on the perspective of the historian, intrinsically biased as any social scientist is, where the observer is dependant on the questions he/she formulates and on his/her sociological, historical, cultural “milieu” for which he/she can never totally escape. Even in natural science, as we stated in note 6, the observer is acknowledged as having an impact on his/her observation, within such an epistemological perspective there will never be a meta-position to tell the investigator whether the interpretation is “objective”. One solution regarding accident investigations is probably to multiply insights from different backgrounds to extract relevant interpretations, even opposite and conflictual ones for debates which is a normal process in the scientific world, and for selecting best recommendation options (which is often the purpose of investigations). Methodologically, for the investigator(s), he/she or they have to make clear which are the assumptions about human and organisational phenomenon on which the interpretation is based but also to distinguish as much as possible the facts from the interpretations. But however again, there is a strong link between our existing models and the way we gather and collect data, this bias could be seen as intrinsic to any scientific approaches. The facts could be said to be always “theory laden” (Hanson, 1958). This is more developed with the idea of “forcing fit” symptom in the next part. The investigator must therefore also clearly states the purpose of the interpretations provided (providing new insights, providing practical recommendations etc).

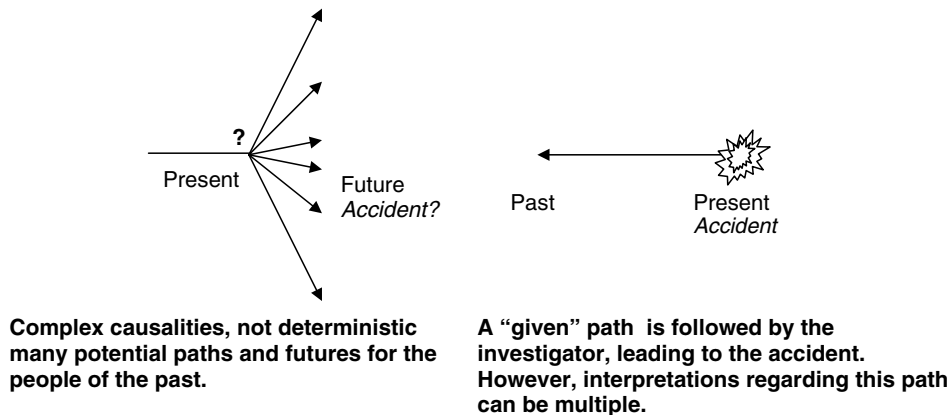


Fig. 2. Hindsight bias in accident investigations.

2003; Ladbroke Grove Rail Inquiry, 2001) and structured root cause type of investigation (MORT, Johnson, 1973; STAMP, Leveson, 2002).⁸

5.1. Investigation with research perspectives and theorising purposes

The two accident theories are discussed here with the help of some of the questions suggested by Glaser and Strauss (1967, 118). The aim of the following questions is to get into the process of elaborating theories and to show their specificities compared to investigation by commissions and structured root cause analysis processes. It is of course not intended here to judge these theories but rather to get to know a bit better their rationale, with the help of some questions for comparing them with the other approaches. Vaughan (1992, 2004) detailed her theorizing process compared to the approach suggested by Glaser and Strauss. However, even with these differences stated, the questions used here are still a good basis for introducing her work.

The question raised by Glaser and Straus about any social theory is its relation with the data from which it has been extracted. It must be recalled that they advocate an approach that is not logico-deductive but instead argue that theories must emerge and be grounded on data, analysis, coding, and interpretation and comparison techniques—all with an integrative perspective. Model must fit the data instead of the reverse.

For each of the table questions, the normalisation of deviance concept and practical drift theory are discussed.

- *Is the author's main emphasis upon verifying or generating theory?*

In accident investigation, the investigator with a research perspective generates an interpretation or theory of the accident. Theories in that sense must be descriptive, then explanatory and sometimes predictive, for further potential application in proactive ways.

In the case of the normalisation of deviance, Vaughan started with the idea of analysing an example of misconduct that she had worked on and theorised, through a technique of analogical reasoning (described in some papers 1992, 2004). She explains that she started with the idea of using the Challenger case as an example of misconduct. She finally realised, according to her, that it is in fact not misconduct but a mistake.

⁸ The reasons for these choices are the following ones:

- In social science, these two recent researches empirically grounded and which provide general explanatory conceptual patterns on a single accident (Vaughan, 1996; Snook, 2000), and try to conceptualise as such these type of events.
- In the field of major technological accidents, two of the last large available reports from commissions are the Ladbroke Grove Rail Inquiry (2001), Columbia Accident Investigation Board (2003).
- Regarding the structured root-cause methodologies, MORT is a method that is quoted as a reference in many works and is still publicly available, and STAMP is the only method stating that levels above the organisational one should be taken into account, both being methodologies designed with a “practitioner”, normative (or prescriptive), perspective.

She then gets into a long process of sorting out the explanation of this mistake. It led to a book after 10 years of investigation. This is consistent with what Glaser and Strauss stated “*the tempo of research is difficult to know before hand, because it is largely contingent on the tempo of the emerging theory, which may come quickly at some points and at others involve long period of gestation*”. (1967, p. 74) She indeed started with the idea of verifying or illustrating her work on misconduct and ended up with building a theory for giving a better account of the events, according to what she found out: the normalisation of deviance.

Snook wanted to understand the friendly fire that occurred in Iraq in 1994. He had a personal experience of being caught and wounded in friendly fire during combat in 1983 (2000, 7) and wanted, as a social scientist, to understand the event, in hopes of preventing a recurrence. His idea was not to verify an existing theory but rather to describe and to give an explanation of the accident that would go further than the traditional explanations. Indeed, these traditional explanations are limited to what Perrow – quoted by Snook (2000, 66) – has described as regularly summarised by officials in these terms “*operator error, faulty design or equipment, lack of attention for safety features, lack of operating experience, inadequately trained personnel, failure to use the most advanced technology, and system that are too big, under financed, or poorly run*”. In the case of that accident, some conclusions were drawn, and Snook wished to go further and to take the traditional explanations as a starting point.

It can therefore be noted here that both these examples attempted to go further than the explanations of the commissions from which they extracted their primary data. Their intent was not to verify theory but to give a socially grounded explanation of the events, by generating theory. Both theories referred to normal accident theory (NAT) and high reliability theory (HRT) to give an account of their case, but did not use them as conceptual support to fully interpret the data collected; so it could not be said that they tried to verify them. Snook even writes that his research showed that the accident was a normal accident in a high reliability organisation.

- *Is the author more interested in substantive or formal theory?*⁹

The idea in accident investigation is to understand the organisational side of the events that allowed them to occur. It is therefore a single case study and would be called intrinsically a substantive theory in the sense of Glaser and Strauss.

Vaughan has started to develop from her case study a much more generalised concept emphasising what she calls the “dark side of the organisation” (Vaughan, 1999) by looking into not only disasters but also misconduct and mistakes. This is consistent with her work on analogies (1992, 2004) and a sensitising concept that allows her to start with pre-existing theories for data treatment in order to produce theories.

Snook has not explicitly shown interest in his book to generalize further the model of practical drift; but found similarities across cases, with a similar pattern of “structurally induced inaction” (Snook and Connor, 2005).

- *What is the scope of theory used in the publications?*

They both include the micro–meso–macro levels. Snook went across time and levels (individual–group–organisational–then holistic) and Vaughan did the same with an individual–organisational and environmental scope, to understand the links between the levels. In fact, the organisational dimension implies a consideration of the whole– therefore treating the individual, group, organisation, and inter-organisational levels. It seems today that it is the specificity of an organisational approach to go across the levels.

- *To what degree is the theory grounded?*¹⁰

The challenger case is probably the most detailed investigation of a modern technological complex organisation (Meyer, 2003, 42). Vaughan used a huge number of documents (commission report, hearings transcription, internal NASA documents) for her analysis. “*My data source were over 122 000 pages of NASA*

⁹ This question asks whether the theory is meant for being general or to only be valuable for the case study from which it has been extracted.

¹⁰ This question asks how much the theory is based on empirical data.

documents catalogued and available at the national archives, volume 1, 2, 4 and 5 of the report, with Volumes 4 and 5 alone containing 2500 pages of testimony transcripts of the commission's public hearings (presidential commission, 1986) and the three volume report of the subsequent investigation. . . in addition I relied upon transcripts of 160 interviews conducted by government investigators who supported commission activities, totalling approximately 9000 pages stored at the national archives" (2004, p. 322). It took her many years with some difficulties in analysing and coding the huge amount of data that she had. She also relied on further interviews following her immersion in the documents relating to life at NASA, in order to better understand the people's rationale in the light of her understanding of NASA's culture. She also states "thick description produces the detail that guarantees discovering differences, thus guarding against forcing the case to fit a theory or a previous case". It can be said that her work is grounded in the data.

Scott Snook relied on a huge amount of information provided by the commission and from many other sources "these sources include official government documents, archival records, interviews, physical artefacts, gun target footage, video tapes, audio tapes, training records, maintenance records, technical reports, trial transcripts, AWACS data tapes, internal department defense 5DOD memoranda, press releases, news paper clippings, congressional hearings, criminal investigations, conference briefings, flight records, mishap reports, personal records, personnel records, (...) medical evaluation, psychological evaluations, human factors reports, optics reports, crash site analysis, equipment teardowns, weather observation (...) witness statements" etc. The amount of data here is very important as well. His final step consisted of identifying a core category, which (2000, p. 182) according to Straus and Corbin (1998), ensures that the process is grounded on data provided across levels.

It can be said that both analyses are made with an approach that is grounded. In both cases, the amount of data is huge and very detailed, with a cross level dimension. The detail and volume of data leave the investigator with some methodological problems as stated by Vaughan (2004, 318) "grounded theory tied scholarship to the local, with no directions about pursuing the structural or political/economic contexts of action".

- How dense in conceptual detail is the theory?¹¹

Vaughan, as explained earlier, started with the idea of illustrating a misconduct example and then moved on to another type of explanation. Her theory is based on various conceptual inputs that she uses carefully as she describes: "analogical theorizing is not restricted to tacking back and forth between cases of similar events in social settings that vary in size, complexity and function. We import theories and concepts of other scholars as a project progresses either because they are analogical with our data or show a contradiction, in either instance illuminating our analysis. The new institutionalism describes how non-local environments, such as industries and professions, penetrate organisations, creating a frame of reference, or worldview that individuals bring to decision making and action" (2004, p. 329). Her theory is conceptually very detailed as it is based on a thick description approach and generated with the help of references such as Kuhn (1962), Geertz (1983) etc.

Snook started with the idea of explaining at each level, with the help of behavioural and organisational theories, the reason why "the F15 pilots misidentified the Black Hawks, the AWACS crew failed to intervene, Eagle flight and their operations were not integrated into the task force, the identification friend or foe (IFF) systems failed". For that purpose, he started with drawing a descriptive causal map (2000: 21) for which several levels and events are introduced, dug into this causal map to explain, from the description, the link between the events, and finally, stepped back and elaborated a theory of the whole behaviour. Various existing models are used as inputs to sensitize the data, and explain the events at the individual level (Weick, 1995b), at the group level (Latané and Darley, 1970) and organisational level (Lawrence and Lorsch, 1967). The models are used to fit the data in order to serve them as explanatory frames.

The two processes for these two accident theories appear to be a bit different. The levels in the two accidents are linked differently based on different conceptual theories. The nature of accidents is in both cases different – one is more based on a coordination issue (practical drift) and the other on a social construction of the reality dimension impacted by organisational features (normalisation of deviance) – but they remain close theories.

¹¹ This question asks how much the theory has been looking at conceptual supports for sensitising the theorising process.

The aim of this part was to attempt to get into the process of theorising, and to show particularly how the theorising process must take cautious steps when interpreting and explaining the data. In particular, these works must be careful not to get into a “data that should fit the model” perspective. In that respect, these works can be considered as descriptive and explanatory works. Practical applications can be derived from them, but it is not the core of the modelling, although again, the description has an impact on what could be thought in terms of organisational design. This part is not pushed further. The next part introduces the investigation commissions.

5.2. Investigations by commissions set up after disasters: understanding and recommending

Accident investigations are not research works with the aim of theorising. They are investigative projects, set up in a specific political context following a disaster, for understanding its circumstances and for making recommendations. They also serve a societal need for transparency. These are big projects carried out through a short period of time, often within months. The number of staff is important. This staff includes people collecting the data, advisors and consultants from university and industry for various aspects ranging from technical to organisational and human factors issues, administrative people etc. In the Columbia accident, around 200 people were involved (appendix C of the report, 2003), and around 120 for the Ladbroke grove for the Paddington accident (appendix 3 of part 1, appendix 2 of part 2 of the overall report, 2001).

The two reports show some similarities concerning the depth and scope of the investigation, and the various levels at which the commissions inquired. The contents of the two investigations are introduced in Table 1. In the two commissions, three levels were investigated, the environment of the organisation, the organisation, and the collective-individual (or operational level). The chapters of the two reports have been classified according to this framework in Table 1.

These reports differ however from the theorising process described in the previous part. These two commissions gave their conclusions within months (12 months for the Ladbroke grove investigation, 6 months for the Columbia investigation). The links between facts, data and models are made through the use of consultants or academics that bring their expertise in the treatment of the data. A good example is provided for the Ladbroke Grove investigation when it comes to giving an explanation of the driver attitude, which led to the Signal Passed At Danger (SPAD). Several interpretations from different experts were available (Ladbroke grove report part 1, 2001, 63–81). For the safety management system and safety culture in that same investigation, experts from the industry were also heard (Ladbroke grove report, part 2, 123–146).

These consultants, experts, or academics help the principal investigators to sensitise the data, and to make conclusions about the possible links between facts and interpretations. The same has been done for the Columbia investigation for which Vaughan wrote for example the last chapter “history as cause: Columbia and Challenger”. She imported her theoretical background from the Challenger accident and gave meaning to the data collected for Columbia, with the strong similarities of the two cases.

Accident investigations are therefore different from organisational investigations with research perspective. They use a much more limited amount of time, they use an important number of people, and they use expertise through the help of consultants or academics, who can bring their knowledge and help to make meaningful links between different types of data. This type of socially qualitative study is described for example in Yin (2003) or Miles and Huberman (2003) (as these do not elaborate much on theorising strategies compared to the previous works mentioned).

It can be said that the risk for the commissions is to make shortcuts when an explanation is required quickly, and thus leaving them more exposed to the “forcing fit” symptom than lengthy research carried out by social scientists. This assumption is made here on the basis that it seems to take quite some time to conceptualise data in order to explain and to theorise (e.g. the two theorising process described). This assumption is also based on the fact that the two theories introduced previously gave different accounts of the events than the official commissions. Vaughan also said about the Challenger commission that “time constraints, the division of labor, and hindsight biased the commission sample of evidence” (2004, p. 338). Snook also went further than the finding of the previous investigations of friendly fire, as introduced in the Table 1 and provides a theoretical understanding of the accident as a whole. A recent collective book on the Columbia accident (Starbuck and Farjoun, 2005) also formulates the same type of remarks, regarding some of the interpretations of the commission.

Table 1

Depth of accident investigation boards

Ladbroke Grove Rail Inquiry (2001)	Columbia Accident Investigation Board (2003)
Individual/teams at the operational level	
<ul style="list-style-type: none"> – The crash (<i>description of the chronology of the close events</i>) – Chapter 4. Part 1 of the report. – The action of driver Hodder (the training, experience and interpretation of driver's behaviour) – Chapter 5. Part 1 of the report. – The action of the signallers (layout, training, interpretation of actions) – Chapter 6. Part 1 of the report. – Railtrack and the infrastructure – Chapter 7. Part 1 of the report. – Thames train and automatic train protection – Signal sighting – Chapter 11. Part 1 of the report. 	<ul style="list-style-type: none"> – Decision making at NASA (<i>detailed description of the decisional phase, chronology of events leading to the landing decision</i>) – Chapter 6. Part 2 of the report.
Organisation	
<ul style="list-style-type: none"> – Thames train and automatic train protection (<i>technology operated</i>) – Chapter 8. Part 1 of the report. – Thames train and driver management and training (<i>safety management</i>) – Chapter 9. Part 1 of the report. – The work of signallers (<i>safety management</i>) – Chapter 12. Part 1 of the report. – The management of culture and safety – Chapter 5. Part 2 of the report. – An accident investigation body – Chapter 11. Part 2 of the report. 	<ul style="list-style-type: none"> – The accident's organisational causes (<i>comparison with existing models</i>) 6 – Chapter 7. Part 2 of the report. – Decision making at NASA (<i>schedule pressure and history of foam anomalies</i>) – Chapter 6. Part 2 of the report. – History as cause: Columbia and Challenger (<i>comparison with Vaughan work on normalisation of deviance</i>) – Chapter 8. Part 2 of the report.
Environment	
<ul style="list-style-type: none"> – Her majesty's railways inspectorate (<i>external control</i>) – Chapter 10. Part 1 of the report. – The rail industry and its regulation (<i>history and context</i>) – Chapter 3. Part 2 of the report. – The implication of privatisation (<i>history and context</i>) – Chapter 4. Part 2 of the report. – Railway group standards (<i>regulatory context</i>) – Chapter 6. Part 2 of the report. – Safety cases, accreditation and licensing (<i>regulations and authorities</i>) – Chapter 7. Part 2 of the report. – Railtrack and railway safety (<i>regulations</i>) – Chapter 8. Part 2 of the report. – The safety regulator – Chapter 9. Part 2 of the report. – A rail industry safety body – Chapter 10 Part 2 of the report. 	<ul style="list-style-type: none"> – From Challenger to Columbia (<i>history of the evolution following the Challenger accident</i>) – Chapter 5. Part 2 of the report.

Investigations of that kind are therefore qualitative projects involving many different types of people and a sequential process, ensured by different people, to collect, organise and interpret data. They are similar to what is described for example in Yin (2003) or Miles and Huberman (2003) for qualitative social studies. The aim is not specifically to theorise but rather to interpret the facts and data. From the understanding generated, recommendations can be produced. These commissions are therefore descriptive with the untended purpose of making applicable recommendations. As for theorising processes, they face the risk of “forcing fit”.

5.3. Investigation through structured root causes analysis

The structured root causes analysis like the Management Oversight and Risk Tree (initially produced by Johnson, 1973 and maintained in the public domain by NRI,¹²) or STAMP (Systems Theory Accident Modelling and Processes, Leveson, 2002, 2004), provides models that are “ready for use”.

¹² Noordwijk Risk Initiative Foundation.

5.3.1. Management oversight and risk tree

Management oversight and risk tree (MORT) is a model resulting from a project (Johnson, 1973), which looked for the best safety practices in various industries to elaborate a set of articulated functions in order to provide the basis for rigorous investigations into organisation, and more specifically into safety management systems and safety assurance. It could be said that MORT is therefore an image of its time, around the early age of system safety developments within system engineering and of the growing knowledge in safety science. Most of this knowledge is still very relevant and some further work will be added to the model following the 1973 initial report. However, the works produced since in safety science, especially in human factors and of organisational factors for example, are obviously not found in this model.

The use of the model for investigative purposes relies on anchoring the events with the barriers and controls of the installation and with a systematic questioning of the activities defined as supporting their assurance. A tree, providing all the items and connections in a specific way, is their graphical support. The internal logic of the tool is a practical one, devised for recommendation purposes and for organisations in order to better design and run their safety management systems.

The model is based on the principles that are the basics of today's risk management (human errors understanding, risk assessment, life cycles, systemic nature of accidents, change analysis, system approach etc). A three-level basic model is used to combine them and is organised in a "causal" tree. It consists in identifying the direct factors (first level), then the contributing factors (second level) and finally, the systemic factors (third level). Each of the levels contains different safety management functions divided into items to be checked. The first level includes the interface with the technical installations through the concepts of barriers and controls. The contributing factor integrates the maintenance, inspection, operational readiness, information system, personal performance and supervision support functions. The systemic factors include safety management policy, policy implementation, risk assessment, planning, information system and installation design functions.

Using these functions helps trigger questions in a systematic way, but is a bit different than the task of interpreting and explaining the accident itself with conceptual links with the organisation, its history and context, and through the use of human and social sciences insights, as done in the two previous approaches discussed. The interpretation is rather a way of comparing data with what are the best practices in safety policy implementation, articulated within a safety management system perspective. An investigation using MORT is more intent on looking at what can be said that does not comply with the best-known safety practices – as identified and articulated in the model – and therefore that could have been potentially¹³ avoided if these best standards had been applied. It does not explain the organisational nature of the accident, or identify causal links (as done in research and commission works), but instead identifies improvement areas which underscore its source of interest and practicality.

The MORT approach stops the investigative process at the level of the organisation, and does not specify explicitly any kind of questions related to the environment of the organisation.

5.3.2. Systems theory accident modelling and processes

Systems theory accident modelling and processes (STAMP) (Leveson, 2002, 2004; Leveson et al., 2005) is also a structured approach in the sense that it provides a model containing the basic elements at several levels of the socio-technical system. The first important aspect of the approach is a process vision of safety and not an event-chain based approach that is found in the traditional causal accident sequences (like in fault trees, or FMAE methods). These causal sequences are not appropriate for software issues and are obviously not appropriate for human activities where a circular type of causality implies thinking of safety in terms of control and constraint (as defined in cybernetics and system approaches). STAMP has its roots in system safety engineering (as MORT), and is linked to system thinking. The approach consists of considering the socio-technical system as adaptive and behaving according to individual goals at all levels in a constrained environment.

¹³ This is always an assumption, because nothing ensure that the existing best practices would have totally avoided the events to happen.

Table 2
STAMP classification

-
1. Safety requirements and constraints
 2. Controls
 3. Context:
 - (a) Roles and responsibilities
 - (b) Environmental and behaviour shaping factors
 4. Flaws in the control process
 5. Dysfunctional interactions, failures, and flawed decisions, and erroneous control actions
 6. Reasons for flawed control and dysfunctional interactions
 - (a) Control algorithm flaws
 - (b) Incorrect process, interface or mental models
 - (c) Inadequate coordination among multiple controllers
 - (d) Reference channel flaws
 - (e) Feedback flaws
-

STAMP contains three basic components: constraints, hierarchical control structures, and process models (Leveson, 2002, 81). These are defined in Table 2.

Collecting and ordering the data consists in filling the model according to the criteria defined above, at the various levels of the socio-technical system. A number of examples are presented in Leveson (2002).

The identification of the various actors (or institutions) at different hierarchical levels within the system shows how safety depends on the functioning of the whole. Each of these levels can then be subject to problems identified in the framework, including problems of definition in the safety requirements and problems with constraint of one level over another. These constraints originate, for example, in roles and responsibilities issues, or in some environmental shaping factors. The lack of efficiency in the control can be the result of problems at the interface between levels, labelled as “*dysfunctional interactions, failures, and flawed decision, and erroneous control actions*”. This can be due to coordination problems or also for example to feedback flaws. Here are clearly found the principles originating from cybernetics and system approach, defining how systems through feedback and information (control and command) lead to an adequate or inadequate equilibrium state of functioning.

STAMP illustrates the multilevel and interaction dimensions. It appears therefore similar to Rasmussen (1997) and Rasmussen and Svedung (2000, 2002), as stated by Leveson (2002). Its value is in understanding that accident should be thought as a dynamic and adaptive process implying various levels. It is a predefined model with basic components to be filled.

5.3.3. STAMP and MORT

STAMP and MORT have common points but differ in some respects.

They have in common a system safety approach with feedback loops. The MORT “causal” tree is actually misleading in that regard because it hides the dynamical aspect of the safety management system underlying the tree’s structure, onto which functions and related questions have been mapped. In the report (Johnson, 1973: 111–112), it is stated “*Systems have purpose – they are mission, task or performance oriented. But there are always constraints of budget, schedule, performance, and legal social pressures and values. Systems are kept in a dynamic state of equilibrium by means of feedback loops of information and control – devices as old as the earth, but re-invented by men for modern technological purposes. Methods of managerial control of enterprises are predicated on design and use of feedback loops for all essential aspects of organisation (Juran, 1964). Thus, systems are tied together with communication networks. Safety is then a management subsystem in an organisation and can be visualised and described as (1) a hazard analysis process, (2) with feedback loops in organisation operations to provide management with information on hazard reduction, and (3) feedback loops to inform management as to deviations from performance goals*”. This is very similar to the approach advocated in STAMP, because it is based on the same system principles, which emphasise the importance of constraints for the purpose of control. Both models also emphasise the design stage as being very important.

But, unlike MORT, the STAMP approach integrates higher levels and thus provides an interaction dimension across levels and actors. However so far, STAMP has not provided nearly the same amount of

information about best practices related to safety management and its functions as MORT. It does not therefore provide automatic recommendations related to best known existing safety practices.¹⁴

STAMP is a global framework that the investigator is invited to fill with relevant information. It requires a lot of information about a very large context that seeks to get outside the organisation. Leveson (2002, 133) “*One difficulty in trying to analyse accidents from the information provided in accident reports is that much information needed to complete a STAMP model is usually not included because most are written from the perspective of event-based model: the event are almost always clearly described and usually one or several of the events is chosen as the root cause(s) but the analysis of why the events occurred is incomplete*”. STAMP can be applied for an accident in which the investigators have access to the external levels of the organisation. When this condition is met, then the model can be used.

The two approaches, MORT and STAMP have in common the purpose of being practical and transferable for action to practitioners, and therefore integrate many more predefined models than the two previous approaches described in this paper. The two models and methods have also some different building blocks and concepts inside, as well as scope. These models can be seen as normative or prescriptive models, where the data should have fit the model in order to perform as expected, and avoid accident.

6. A framework for classifying investigative models and modelling purposes

Based on this presentation, a way of organising together the three different approaches and results available for investigating the organisational side of accidents is suggested. The two axes of the classification contain the scope (depth) and purpose of the works (see Fig. 3).

The vertical axis defines three levels of depth, from micro (the level of the human error in accident) through the meso (collective and organisational level) to the macro level (inter-organisational, societal level).

The horizontal axis represents the extent to which the purpose is to produce normative or descriptive models, with the consequence of having two different modelling approaches described with the help of a “*data that should fit the model*” perspective (normative) and a “*model that should fit the data*” strategy (descriptive).

6.1. The normative and descriptive sides of the suggested classification

From there, a number of works can be classified. On the left, the normative models (such as MORT and STAMP) are located according to their depth and the descriptive models on the right.

Some of the classified models have not been introduced in this paper, such as models from psycho cognitive scientists (Amalberti, 1996; Hollnagel, 1993; Reason, 1993). These works are interested in modelling psycho cognitive activities to help understand actions leading to unwanted outcomes. These models are based on both incident investigation and normal analysis. By the process of modelling of these approaches has not been presented here but they do share some similarities with the theorising works presented in this paper; although not based on single cases, and also varying on the experimental and conceptual sides, and data accessibility. They are all located at the extreme right of the axis as they are examples of descriptive models (although also leading to practical guidance), usable by experts of the field.¹⁵ They are located at the micro level because they model

¹⁴ In a paper (Leveson et al., 2005), with a similar approach found in MORT, consisting in looking at best known management practices for implementing safety solutions, more inputs to the STAMP model have been presented. These new inputs have similar items such as the ones provided in MORT: “*communications systems, information systems, reward and reinforcement systems, conflict resolution systems, safety responsibilities, formal accident investigation groups, individual knowledge, skills, motives etc. . .*” but also new ones such as “*culture, institutional context*”. These similarities might not however imply the same content, as practices and works in management sciences and practices have evolved since. But similarly with MORT, the approach is a practical one, targeting operational purposes: “*the challenge for organisational scholars is to provide an analytical framework that can be translated into actions by engineers, scientists and others in a technical organization such as NASA*” (Leveson et al., 2005). It is an important statement for the purposes of these types of models.

¹⁵ Indeed, these models have been thought for prescriptive perspective of designing safe systems by taking into account the human dimension (a good presentation of this approach is for example available in Goodstein et al., 1988, about the cognitive engineering developments). However, given the level of expertise required to get to understand these models, they remain, from the point of view of the layman, still expert models.

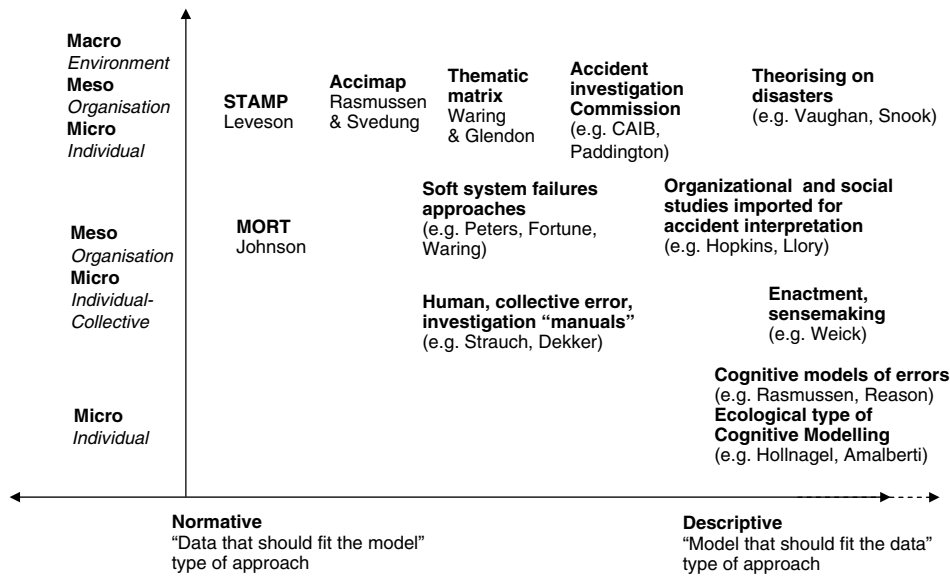


Fig. 3. A framework for classifying investigative models and underlying modeling purposes.

mainly cognitive activities; although all of them stress the importance of a global view on safety, and provide concepts for dealing with a higher perspective on safety than cognitive models (e.g. Reason, 1997; Hollnagel, 2004; Hollnagel et al., 2006).

Another work that has not been introduced in this paper is an intermediate level from Weick’s modelling of a collective accident, under the “collapse of sensemaking” title (Weick, 1993). This approach provides, in an interactionist perspective, an account of a disaster by showing how people made sense in different ways of the same events that they faced. This descriptive interpretation is located above the micro modelling, as it provides an interpretation of people interacting, rather than on the modelling cognitive processes of a single individual.

The two models introduced in this paper are located at the higher level (Vaughan, 1996; Snook, 2000).

6.2. In between descriptive and normative modelling and models

Some other works that have not also been introduced in this paper are introduced in the classification. Without presenting them in detail, they appear to be half way between purely descriptive and purely normative approaches. For most of them, they use the knowledge from descriptive types of work for introducing them in either methodological perspectives providing guidance on the way to collect and interpret data along with some existing models (Hollnagel, 1998; Strauch, 2003; Dekker, 2006 at a rather micro level- individual-collective but also a bit meso, including organisation), or for mainly introducing, in analytical frameworks, the conceptual support for classifying and interpreting data – although without always specifying the way to collect the data (Fortune and Peters, 1995; Waring, 1996; Waring and Glendon, 1998; Rasmussen and Svedung, 2000 at meso macro levels).

Investigative commissions such as the ones presented in this paper are also located in between the two sides of the continuum, as well as work such as Hopkins investigation (2000, 2005) or Llory (1996, 1999), which bring human and social sciences perspectives (using various sociological and psycho-sociological models) for interpreting the data and discuss outcomes of reports.

6.3. Discussion around the suggested graphical classification

The aim of this classification was to introduce the differences and to put together various types of work on investigating accidents with organisational perspectives such as introduced in the previous parts. Because

learning about the organisational dimension of accident is a key process of risk management and major hazard prevention, the way in which different people learn about different things and the way in which methods and tools (implying models and modelling rationales) can be designed for better supporting this learning process are important. However there is no easy answer or strategy. We have indeed seen that these different models and tools do exist because they are used by different people and serve different purposes. However, if the variety of existing methods is understandable, a following question is: “what is there to be learnt and by who?”

Indeed, for example, regarding the theorising process of accidents by social scientists, as described in this paper, it is a valuable and needed process bringing conceptual models to organise events in a way that better explains phenomena. It also helps revising findings and interpretations from commissions.

However how can someone without the basics in social science deeply understand the methodological approaches behind the modelling and then the conceptual models themselves, at the level required for understanding fully their contents but also their limits?¹⁶ Without a minimum of understanding (on psycho-cognitive science, on sociology etc.) and practice regarding the biases of data collection and interpretations, it seems difficult to put in practice concepts that are not fully captured. A second issue regarding these descriptive models is the way therefore in which they provide easy applicable management principles for managers or engineers.

It is of no doubt that the scientists theorising on accidents do learn something on the way they perform it (e.g. Vaughan, 2004) but also on the way in which they were able to provide new insights in academic works, not provided before. They also certainly provide ways of better understanding organisational design, based on the interpretation of their models. But do people outside these fields of knowledge understand them, without a minimum of understanding of concepts from the social sciences?¹⁷

On the other hand, normative types of models are valuable for allowing recommendations to be implemented according to best practices existing in the industry for managing safety. They are also used under specific resources and time constraints. The question is, regarding the previous set of questions, about the way in which the normative (prescriptive) works developed for practical purposes can integrate the descriptive type of works in their models if these descriptive works are too elaborate for people to understand and apply. Also, some questions are raised regarding the foundation of these works and the simplification that they integrate for practical purposes. On what type of understanding of the human and social worlds are these normative works based?¹⁸

¹⁶ A good illustration of this problem is available in Vaughan (2005) when she states that “After a presentation in which I translated the cultural change implications of the CAIB report to a group of Administrators at NASA headquarters, given example of how to go about it, two administrators approached me. Drawing parallels between of a Columbia engineer and a Challenger engineer who both acted aggressively to avert an accident, but, faced with management opposition, backed off, the Administrators wanted to know why replacing these individuals was not the solution”. This is an interesting example where some individuals find difficult to fully understand the implications of the theoretical developments from a social scientist, about a specific event.

¹⁷ This point has also been addressed by Farjoun and Starbuck (2005) when they identify the issue of outsiders insights for insiders: “However, organizations may be reluctant to convert the insights of external observers into implementing actions, and organizations very often have trouble accepting advice from outsiders and they may either lack of appreciation for the perspectives of external observers or set different priorities than would external observers. Indeed, the actions that outsiders see as very important may be very difficult to implement both practically and politically, and actions insiders see as legitimate may not be very effective ones”.

¹⁸ This question is underlying the developments of resilience engineering, as Hollnagel and Woods (2006) indicate “A model that is cumbersome and costly to use will from the very start be at disadvantage, even if it from an academic point of view provides a better explanation. The trick is therefore to find a model that at the same time is so simple that it can be used without engendering problems or requiring too much specialised knowledge, yet powerful enough to go beneath the often deceptive surface descriptions. The problem with any powerful model is that it very quickly becomes “second nature”, which means that we no longer realise the simplifications it embodies. This should, however not lead to the conclusion that we must give up on models and try to describe reality as it really is, since this is a philosophically naive notion. The consequence is rather that we should acknowledge the simplifications that the model brings, and carefully weigh advantages against disadvantages so that a choice of model is made knowingly”. This quote states quite clearly all the difficulty when it comes to providing simplified tools, about a complex reality, for practical purposes.

There is without any doubt a synergy to be created between these two types of normative/prescriptive and descriptive approaches,¹⁹ where the two have to exchange for enhancing the quality and relevance of the modelling tools and therefore their safety impact. These tools must help different types of actors (professional investigators, inspectors of hazardous installations, safety managers in companies. . .) to practically address improvement areas and implement preventive solutions. There is a need for balancing complex tools (descriptive) and more simple ones (normative), according to these contexts, but also to understand and remain very sensitive about what is there to be learnt and fully acknowledge the unavoidable gap between the views of observers (outsiders and insiders), according to their background and purposes.

For example, as much as it is a challenge for scientists to generate a new and better understanding of accidents through in depth empirical works, it is a challenge to design the proper practical tools that meet the requirements of investigation integrating organisational dimensions, to be transferred for example to managers and safety engineers, inspectors of hazardous installations or professional investigators.

It is therefore believed that this process needs to be supported by the design of the right tools for various contexts and for various actors (Frei et al., 2002) (by “tools”, it is also implied the processes describing the way in which the various actors need to interact in the process of learning on the organisational side of accidents). A “tool in context” approach is consequently necessary, based on a synergy between descriptive and normative types of modelling, between simplification required for action under time, skill and resource constraints and more complex ones allowing new insights. Prevention strategies supported by learning from the organisational side of incidents and accidents at different levels of socio-technical systems depend on the ability to tailor tools and methods to users. The classification suggested in this paper intended to be a first step towards a better approach for designing but also understanding the limits of these various tools and situations.

7. Conclusion

The aim of this paper was to discuss the organisational perspective in accident investigation, for different practical and learning purposes. Indeed, today several works and methods exist for treating this dimension of accidents. These works have been discussed and classified according to their depth of investigation as well as their position in reference to a normative (or prescriptive) and descriptive perspective with a “*model that should fit the data*” symptom, stating that the human and social science theorising and interpreting process faces the risk of “*forcing fit*”.

These three types of method and works identified were researches with theorising purposes, commissions set up for investigating major accidents, and structured root cause analysis. The modelling and theorising rationales of these works have been discussed for providing a framework locating the different modelling and model rationales. A discussion has then stressed the importance of understanding the unavoidable gap between these models, given their purposes and constraints of their users. A “tools in context” approach has therefore been advocated, stating that methods must be used with regard to the people and resources available when facing an investigation, balancing simple with more complex models and tools.

References

- Amalberti, R., 1996. La conduite des systèmes à risques, le travail humain. Presses universitaires de France (The Control of System at Risk).
- Bachelard, G., 1934. Le nouvel esprit scientifique. Presses Universitaires de France (The New Scientific Mind).
- Columbia Accident Investigation Board, 2003. Report Volume 1, Government Printing Office, Washington, DC, August 2003.

¹⁹ Scott (2003) as described a similar type of situation in organisational theory between what he calls “applied studies” (perhaps with a more normative perspective) and “basic research” (with a more descriptive approach). The field of learning from experience is indeed not the only one addressing these types of questions, we could add for example ergonomics (e.g. Daniellou, 1996) or management science (e.g. Martinet, 1990). These approaches have not only objects to describe and understand but also a project (Lemoigne, 2001), namely transforming situations in a way that is consistent with their purposes (improving working situations, improving management and consequently being also a normative). These projects constraint in different ways the modelling process but also the outcomes of such a process.

- Daniellou, F., 1996. L'ergonomie en quête de ces principes. Editions Octares (Ergonomics Looking for its Principles: Epistemological Debates).
- Darses, D., Hoc, J.M., Chauvin, C., 2004. Cadres théoriques et méthodes de production de connaissances en psychologie ergonomique. Psychologie ergonomique: Tendances actuelles. Le travail humain. Presses universitaires de France (Theoretical Frameworks and Methodologies for Producing Knowledge in Psychological Ergonomics).
- Dekker, S.W., 2006. The Field Guide to Understanding Human Error. Ashgate.
- Farjoun, M., Starbuck, H.W., 2005. Lessons from the Columbia disaster. In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.
- Fortune, J., Peters, G., 1995. Learning from Failure, the System Approach. Wiley.
- Frei, R., Kingston, J., Koornneef, F., Schallier, P., 2002. Investigation tools in context. ESReDA Seminar on "Safety Investigation of Accidents" in Petten, The Netherlands, on 12–13 May 2003.
- Geertz, C., 1983. Local Knowledge, Further Essays in Interpretative Anthropology. Basic Books, New York, NY.
- Glaser, B.G., Strauss, A.L., 1967. The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research. Aldine de Gruyter.
- Glaserfeld, E. Von., 1995. Radical Constructivism. A Way of Knowing and Learning. Taylor and Francis Group, Routledge.
- Goodstein, L.P., Andersen, H.B., Olsen, S.E., 1988. Tasks, Errors and Mental models. Taylor & Francis, London, pp. 128–148.
- Hale, A., 1997. Introduction: the goals of events analysis. In: Hale, A. et al. (Eds.), After the Event: From Accident to Organizational Learning. Elsevier Limited.
- Hanson, N.R. 1958. Pattern of Discovery. Cambridge University Press, Translated in French Les modèles de la découvertes. (2001) Dianóia.
- Hollnagel, E., 1993. Human Reliability Analysis: Context and Control. Academic Press, London.
- Hollnagel, E., 1998. Cognitive Reliability and Error Analysis Method. Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Hollnagel, E., 2004. Barriers and Accident Prevention. Ashgate.
- Hollnagel, E., Woods, D.D., 2006. Epilogue: resilience engineering precepts. In: Hollnagel, E., Woods, D.D., Leveson, N. (Eds.), Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Ashgate.
- Hollnagel, E., Woods, D., Leveson, N., 2006. Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Ashgate.
- Hopkins, A., 2000. Lessons Learnt from Longford. The Esso Gas Plant Explosion. CCH.
- Hopkins, A., 2005. Safety, Culture and Risk. CCH.
- Husserl, E., 1935. La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale. Gallimard (The European Sciences Crisis and the Transcendental Phenomenology).
- Johnson, W.G., 1973. The Management Oversight and Risk Tree – MORT including Systems Developed by the Idaho Operations Office and Aerojet Nuclear Company. Available from: www.nri.eu.com, the website of the Noordwisk Risk Initiative.
- Juran, J.M., 1964. Managerial Breakthrough. McGraw-Hill, New York.
- Kuhn, T., 1962. The Structure of Scientific Revolutions. The University of Chicago Press.
- Ladbroke Grove Rail Inquiry. 2001. Part 1 & 2 Reports, The Rt Hon Lord Cullen PC, HSE Books.
- Latané, B., Darley, J.M., 1970. The Unresponsive Bystander: Why Doesn't He Help?. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Lawrence, P., Lorsch, J., 1967. Organization and Environment. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Le Coze, J.C., 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and current safety auditing? Safety Science (43), 613–638.
- Le Coze, J.C., 2007. Complexity and learning from accident. In: Anthology on Learning from Accidents, forthcoming.
- Le Coze, J.C., Dechy, N., 2005. The common system and organisational issues of security and safety: the 9/11 case. In: Proceedings of the ESReDA 29th Seminar – October 25th–26th 2005, JRC, IPSC, Ispra, Italy.
- Le Coze, J.C., Lim, S., Dechy, N Leprette, E., Branka, R., 2005. The 27 March 2003 Billy-Berclau accident: a technical and organisational investigation. American Institute of Chemical Engineers 39th Annual Loss Prevention Symposium AIChE 2005 Spring National Meeting, Atlanta, GA April 10–14, 2005.
- Lemoigne, J.L., 1995. Le constructivisme. Que sais-je? Presses Universitaires de France (Constructivism).
- Lemoigne, J.L. 2001. Le constructivisme. Tome I. Les enracinements. L'Harmattan (Constructivism. Volume I. The Roots).
- Leplat, J. 2003. La modélisation en ergonomie à travers son histoire. In: Sperandio, J.-C., Wolf, M. (Eds.), Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie, Le travail humain, PUF (Modelling in Ergonomics Throughout its History).
- Leveson, N., 2002. A New Approach to System Safety Engineering. Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Leveson, N., 2004. A new accident model for engineering safer systems. Safety Science, 237–270.
- Leveson, N., Cutcher-gershenfeld, J., Carroll, J.S., Barrett, B., Brown, A., Dulac, N., Marais, K., 2005. Systems approaches to safety: NASA and the space shuttle disasters. In: Starbuck, W.H., Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.
- Llory, M., 1996. Accidents industriels: le coût du silence. L'Harmattan, Paris (Industrial Accidents: the Cost of Silence).
- Llory, M., 1999. L'accident de la centrale nucléaire de Three Miles Island. L'Harmattan, Paris (The Accident of the Three Miles Island Nuclear Power Station).
- Martinet, A.C., 1990. Epistémologies et sciences de gestion. Economica (Epistemology and Management Science).
- Meyer, P., 2003. Challenger. Les ratages de la décision. Presses Universitaires de France (Challenger. The Decision Flaws).
- Miles, M.B., Huberman, A.M., 2003. Analyse des données qualitatives. Second e édition. De Boeck (Analysis of Qualitative Data).
- Prost, A. 1996. Douze leçons sur l'histoire. Seuil (Twelve Lessons on History).

- Rapport de la commission d'enquête. 2004. Onze septembre. Rapport final de la commission nationale sur les attaques terroristes contre les Etats Unis. Edition des équateurs (Report of the 11th of September Attacks).
- Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science* 27 (2/3), 183–213.
- Rasmussen, J., Svedung, I., 2000. Proactive Risk Management in a Dynamic Society. Swedish Rescue Service Agency, Karlstad.
- Rasmussen, J., Svedung, I., 2002. Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents. *Safety Science* 40, 397–417.
- Rasmussen, J., Duncan, K., Leplat, J., 1987. *New Technology and Human Error*. Wiley.
- Reason, J., 1993. *L'erreur humaine. Le travail humain*. Presse universitaires de France (Human Error).
- Reason, J., 1997. *Managing the Risk of Organisational Accidents*. Ashgate.
- Scott, W.R., 2003. *Organizations. Rational, Natural, and Open Systems*, fifth ed. Prentice Hall.
- Simon, H.A. 1984. Quelques remarques historiques sur la formation des sciences de la cognition. Available from: www.mcxapc.org web site (Some Historical Remarks on the Elaboration of Cognitive Sciences).
- Sklet, S. 2002. Methods for Accident Investigation (No. ROSS (NTNU) 200208): Reliability, Safety, and Security Studies, Norwegian University of Science and Technology.
- Snook, S.A., 2000. *Friendly Fire, the Accidental Shootdown of US Black Hawks over Northern Irak*. Princeton University Press.
- Snook, S., Connor, C.C., 2005. The price of progress: structurally induced inaction. In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), *Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster*. Blackwell Publishing.
- Soler, L. 2000. Introduction à l'épistémologie. *Ellipses (Introduction to Epistemology)*.
- Sperandio, J.-C. 2003. Modèles et formalismes, ou le fond et la forme. In: Sperandio J.-C., Wolf M. *Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie. Le travail humain*. PUF (Models and Formalism).
- Stoop, J., 2004. Independent accident investigation, a modern safety tool. *Journal of Hazardous Material* 111 (1–3), 39–44.
- Strauch, B., 2003. *Investigating Human Error: Incident Accidents, and Complex Systems*. Ashgate.
- Straus, A.L., Corbin, J., 1998. *Basics of Qualitative Research. Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. Sage Publications.
- Starbuck, H.W., Farjoun, M., 2005. *Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster*. Blackwell Publishing.
- Varela, F.J., 1996. *Invitation aux sciences cognitives. Editions du seuil, Paris (Invitation to Cognitive Sciences)*.
- Vaughan, D., 1992. Theory elaboration: the heuristic of case analysis. In: Ragin, C., Becker, H. (Eds.), *What is a Case? Exploring the Foundations of Social Enquiry*. University, New York, Cambridge.
- Vaughan, D., 1996. *The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA*. University of Chicago Press, Chicago.
- Vaughan, D., 1999. The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster. *Annual Review of Sociology* 25, 271–305.
- Vaughan, D., 2004. Theorizing disaster: Analogy, historical ethnography, and the challenger accident ethnography. *Ethnography* 5 (3), 315–347.
- Vaughan, D., 2005. System effects: on slippery slopes, repeating negative patterns, and learning from mistakes? In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), *Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster*. Blackwell Publishing.
- Waring, A., 1996. *Practical System Thinking*. Thompson Learning.
- Waring, A., Glendon, A.I., 1998. *Managing Risk, Critical Issues for Survival and Success into the 21st Century*. Thompson Learning.
- Weick, K., 1993. The collapse of sensemaking in organisation. *Administrative Science Quarterly* 38, 628–652.
- Weick, K., 1995a. What theory is not, theorising is. *Administrative Science Quarterly* 40, 385–390.
- Weick, K., 1995b. *Sensemaking in Organizations*. Sage Publications.
- Yin, R.K., 2003. *Case Study Research Design and Methods*, third ed. Sage Publications.

Article 3

Le Coze, JC. 2008. Complexity and learning from accidents. dans Learning from Accidents: an anthology based on thoughts and ideas from young research fellows. Swedish Rescue Services Agency.

Complexity and learning from accidents

Boris Cyrulnik: I think that in the domain of ideas, we have the choice. We either chose to be a specialist, a very comfortable situation because we need to cumulate more and more information about a more and more precise phenomena: we end up as the dogma says in knowing everything about nothing. Or we decide to be a generalist, namely looking each time in physics, chemistry, biology, psychology, forensic medicine, we end up being specialist in nothing but we have the best opinion on the person that we have in front of us and that we call human. These are two policies of knowledge totally different.

Edgar Morin: It is right, but I reject this idea that we always and inevitably have to be in the alternative, either being a specialist and having a relevant knowledge, acknowledged by the pairs, universities and institutions, or being a generalist and having a flimsy knowledge. This alternative needs precisely to be avoided, which is in fact what is the case for example in science of ecology (...) in general, when you have an object where all the elements are in relation with each other, you call the different specialists involved in this object, while learning and incorporating the key knowledge from their discipline.¹

There exists a field of epistemology or philosophy² of complexity using contemporary scientific developments for questioning our relationship with reality, knowledge and science developments. This field is extremely stimulating and points at ways of thinking about learning from accidents. This paper elaborates on and presents how the epistemology or philosophy of complexity offers an interesting perspective for addressing questions in this field. This paper must be seen as an exploratory paper, using the opportunity of this book's initiative to try to clarify the use of complexity as a core concept. It introduces in a deeper way some ideas already introduced earlier about complexity³ (Le Coze, 2005). It is important to stress that the

¹ Boris Cyrulnik, Edgar Morin *Dialogue sur la nature humaine*, (*Dialogue on human nature*) Seuil, 2004.

² It is rather difficult to distinguish clearly epistemology (in the French context epistemology concerns science, and not knowledge in general) and philosophy of science (Soler, 2000). In that article we will use both terms with the idea of talking about these disciplines having a reflexive approach on the developments of scientific concepts, models, theories. The epistemology or philosophy of complexity is one of them.

³ In this previous paper (Le Coze, 2005), I identified and summarised the field of complexity with four main points as four ways of challenging and questioning the realist and positivist view: determinism, decomposition (expressed by the reductionist program and the analytical method), linear causality and the

philosophical nature of this paper is guided by the concern for a better understanding of the problem of complexity in learning from accident (but also safety), and is not carried out without strong current practical purposes.

Introduction

Complexity as an epistemological question

The developments of philosophy of complexity as developed for example by Morin, finds its roots in some questions raised after some scientific achievements. As the literature dealing with the status of science has shown it (philosophy of science, history of science, epistemology), some key questions have been raised following (r)evolutions in natural sciences as with relativity, quantum physics⁴ but also following the assumption of big bang in cosmology (introducing a history and a singular nature of cosmos) in the course of the 20th century. Earlier, thermodynamics had also created a breach in the deterministic view of the world (especially by questioning the reversibility of time that the Newtonian science implied). Thermodynamics led to further developments as for example in chemistry dealing with dissipative structures (revealing properties of self organisation of matter, out of equilibrium) and chaos theory, both introducing questions regarding the status of determinism and the reversibility of time.

In life sciences, open systems were opposed to the thermodynamic principle of entropy (maximum of disorder) because biological systems generate organisational patterns when “fighting” against entropy (a physical principle known for leading to maximum of disorder, to dispersion). These systems are open to their environment, are organised and have purpose, for which feedback principles are key for understanding their non-linear behaviour, but also introduce a circular causality perspective. They are therefore opposed to the principle of external causality, by introducing teleology (goal, purpose) and opposed to the principle of decomposition (found in the reductionist perspective and also in the analytical principle). Indeed, decomposing a feedback function makes the phenomena unintelligible. They imply control and command and information (both quantitative theories of information and symbol treatment). These were features also developed in engineering, with cybernetics.

All these developments were made earlier and then in parallel with the principles of self organisation, explaining better the “creative” side of the biological world, but also being the result of emerging features (“the whole is more than the sum of its parts”) without external written plan (blue print), or without centralised control dictating behaviours of

independence of the subject and object. This paper will provide more insights on these four points, and will also compare other approaches of complexity, in different fields than this epistemological one.

⁴ An introduction of the philosophical and historical investigations regarding science triggered by these scientific (r)evolutions, but not only, is provided by Chalmers (1987).

parts. Emergence was a term introduced for accounting about phenomena for which a reductionist approach is not satisfactory but also for dismissing a vitalist assumption. The systemic approach (rooted in cybernetics and general system theory) and complexity ideas (more rooted in self-organisation) are intrinsically linked. These ideas of systems and self-organisation have been developed in a century where the Darwinian theory of evolution combined with genetics (and the development of molecular biology) into a neo-Darwinian approach of life, flourished in many ways along with concepts of ecology starting with the concept of *Umwelt* (environment) and then of Ecosystem. All these developments led to the worldview where atoms, cells, organs, brains, animals, humans and societies, are understood as emergence of levels of organisation that can't be deduced and reduced from the levels before, but reveal themselves through self-organisation principles, evolution and historical processes.

In human and social sciences, all these themes obviously echoed and still echo strongly today. These ideas have of course spread (but also were originated for some of them) in the development of cognitive sciences (developed through cybernetics, linguistic, artificial intelligence, neuroscience...), in cognitive psychology but also in anthropology, sociology, sociology of organisations, economy for example but also in philosophy and epistemology, with the field of philosophy of complexity, as developed for example by Morin, in the last 30 years.

Morin is seen as a leading thinker on the matter of philosophy of complexity and his thought is very influential in the contemporary debates in general. The use of his epistemology of complexity (what is also called "complex thinking") serves the purpose of defining appropriate and useful mental frameworks, or method, to think, to organise knowledge and to give some philosophical insights on our nature and the nature of our knowledge. As we will see in this paper, Morin's philosophical and epistemological work has been highly influenced, but not only, by cybernetics, system theory and self-organisation (linked with the key concept of emergence), and these are also major features of the human and social science literature on major accidents.

Complexity, system, self-organisation – emergence of patterns – (major) accidents and safety

Before presenting Morin's ideas on complexity I introduce in this part some developments made on complexity in the field of safety and accidents⁵, in order to better distinguish them from what is introduced in this paper, while also using complexity as a central word. Complexity has indeed been discussed in the field of safety for some years, either by cognitive psychologists and cognitive scientists (a

⁵ It is difficult to distinguish the field of safety and the field of learning from accident, they both interact strongly. The field of safety could be associated with researches based on studying systems in normal situations (either at the psycho -cognitive or organisational levels) and practices looking for preventing accidents. Both fields are intrinsically linked.

more “human factors” perspective) or psycho sociologists, sociologists and political scientists (a more “organisational factors” perspective).

We find in the human factors literature some direct references to complexity, for example in Amalberti (1996) or Leplat (1996). They both draw on similar references from previous works such as Hollnagel (1993), Leplat (1988) and Woods (1988) in Goodstein et al. (1988), or earlier with work from Rasmussen and Lind (1981), based on developments of cognitive psychology and human factors engineering. These works specifically target individual levels because they focus on understanding cognitive underlying patterns for a better approach of human error, or reliability of cognition, with the purpose of assessing risks and/or designing adequate work situations. In doing so, they also address some of the dimensions of the installations and processes, as well as the interfaces but also the context of works of individuals.

Some features of complexity are, according to these works, related to the installations and the processes (e.g. reversibility and predictability of processes, time constraints including feedback delays within processes, etc), the interface (e.g. number and type of variables shown, quality and quantity of feedback provided, number of screens, etc), the individual (e.g. level of expertise of the agent, self-regulation of individual through meta-cognitive dimensions, number of agents for performing tasks, etc) and the environment of individuals (e.g. type of hierarchical structure, co-ordination and distribution of tasks between agents, etc).

Psycho sociologists and sociologists in the field of safety and accidents have also introduced features of complexity inspired from cybernetics, general system theory or self organisation principles to describe safety issues in organisations. In order to break the image of bureaucratic machines, they have introduced the fact that organisations could be seen as open systems, facing uncertainties (from their technology as much as from their markets) and needing adaptation abilities. Weick (1977) introduced the idea of self-designing organisations, and these principles would also be later found in the developments of the high reliability researchers with for example Rochlin, La Porte and Roberts in 1987 with a “self-designing high reliable systems” principle. Bourrier in 1998, following Landau’s ideas (1973), introduced the notion of self-correcting organisation for describing the need for evolving and adaptive features of organisations while managing safety. Perrow of course introduced in 1984 the idea of complexity although it appears that it was in fact, according to his definition, very technologically focused: “*complexity are those unfamiliar sequences, unplanned and unexpected sequences, and either not visible or not immediately comprehensible*”. However, by discussing for example the contradictory requirements of centralisation versus decentralisation within various types of systems, he also introduced a more dynamic dimension.

When we move to the field of accidents, we find an open system perspective, but also self-organisation and emergence, although not

defined as such by this author, at the heart of the modelling (or theorising) of Vaughan, with the idea of emergence of a dynamic pattern of construction of meaning (normalisation of deviance, 1996) over the O-ring behaviour following many years of feedbacks on that specific topic at NASA. These patterns consists in 5 steps:

1. Signal of a potential problem arise,
2. Behaviours deviating from a performance norm of safety criterion were treated as a serious sign of danger,
3. Investigation of the evidence,
4. After discussion the deviant behaviours of the joint was often “normalized” – thereby defining parameters for a revised working norm too,
5. The risk could then be judged to be “acceptable” according to the new norm.

There is no written plan that people followed but instead the emergence of a pattern. It emerged from people interacting over the years, in a specific cognitive-social-cultural-historical-political-economical context (NASA’s institutional context, NASA’s culture of “can do” ...) and technological context (the specific behaviour of the technical O ring components).

We also find this idea of emergence of organisational behaviour for Snook (2000), but also from human factors scientists such as Rasmussen (1997), Rasmussen and Svedung (2000), Hollnagel (2004). These authors are interested by an emerging behaviour, although without focusing as much as Vaughan on the idea of collective construction of meaning and sense about a single phenomenon over the years (as with a normalisation of deviance regarding the O-rings behaviour).

Instead, but also because of the nature of the accident that he studied, for Snook (2000), there is an emergence at the global level, generated by individuals, each of them independently self-organising their own tasks around predefined rules and creating a global “practical drift”, implying a coordination failure (due to loose coupling between actors and their tasks) leading to the accident. The following pattern is described by Snook this way:

1. An organisation is designed, defining procedures and a tight coordination between activities defined through the formal procedures for the worst case scenario.
2. Actors implement the organisation, but in reality the actors have loosely coupled activities between each other in normal operations, and they slowly drift from rules defined by formal procedure to task based activities.
3. The organisation behaves according to this principle.
4. The organisation fails when the drift creates a “resonance” when drifting activities align with each other.

Emergence of patterns (linked with self-organisation, but also with their historical trajectory, as we will see) seems therefore a key

concept for understanding safety and accidents. These patterns could be called “emerging self organised incremental patterns”⁶. Vaughan has recently (2005) used the idea of “slippery slope” for defining with an image or metaphor⁷ the type of pattern that she is thinking of when dealing with major accidents and organisational dynamic. The challenge is therefore today, from the “practical drift” of Snook (2000), to the “Normalisation of Deviance” of Vaughan (1996), through the „incubation period” of Turner (1978), from the type of “behaviour towards accidents” of Rasmussen (1997), to understand the conditions (which are cognitive-social-cultural-political-economical⁸) of the emergence of these accidental patterns, in order to prevent them.

This short presentation on complexity in works from the safety and accident fields at micro-meso-macro levels⁹, introducing open systems, self-organisation properties, patterns and emergence, brings us now to what Morin did with these concepts in his epistemological and philosophical work on complexity.

System, self organisation and epistemology of complexity

System and self-organisation (emergence) are powerful concepts that are thus at the core of the work of Morin and his “complex thinking”, and also, early, at the core of the complexity ideas in general (e.g. from natural sciences, Prigogine 1968, or in biology and cognition with Maturana & Varela, 1972, Von Foerster, 1974 also Atlan, 1974,) where Morin has been looking at, for his own developments¹⁰. The “complex thinking” of Morin is however a very atypical kind of

⁶ We have recently used this concept in an accident investigation for pointing out some local but also more global self-organised incremental patterns, combining themselves, undetected by the organisation, and leading toward a weakening of the organisation in terms of major hazard prevention.

⁷ Metaphors or analogies more anchored in the natural sciences have already been used for giving some images of what a major accident “could be”. Rasmussen (1997) suggested using the Brownian movement to stress the exploratory dimension of individuals within organisation as a source of risk. More recently Hollnagel (2004, 2006) has used the resonance phenomenon as a source of analogy for facilitating a type of understanding related to organisations behaviours leading to accident. We will come back to that imaginative side of knowledge development later in the paper.

⁸ Each of these dimensions should be considered before concluding on the predominance of one over the others (it is often tempting to conclude quickly that accidents are mostly due to economical constraints). Given that companies always try to make business and to reduce costs, there will always be economical dimensions behind accidents; however it would be reducing the problem to conclude simply like this, as other companies do not have accidents although producing under economical pressure. I will come back on this reductionist dimension.

⁹ Large technical systems (Gras, 1993) could be located at a macro level. Gras (1993) suggested a hierarchy of complexity between plants and large technical system (that can also be defined as networks), the latter consisting in the environment of the former. Organisation such as NASA or multi layered civil/military organisations could however not be seen as simple plants, but rather closer to large technical system. This large technical system perspective can be found in Auerswald et al. (2006) when dealing with global safety and security issues at several levels: infrastructure, organisations, networks, markets (insurance) and public policy.

¹⁰ It is interesting to note that Morin’s developments are therefore quite contemporary to the creation of the Santa Fe institute in 1984 in the U.S. This institute is dedicated specifically to the study of complexity in physical, biological, ecological, cognitive, social, economical systems. A presentation of complexity from one of the funder of this Institute can be found in Gell Man (1995). This author introduces many of the important concepts from the field of complexity as we will see in this paper (order/disorder, information, emergence of complex adaptive systems, the issue of reductionism in science development, the nature of scientific developments, the nature/culture relationship, etc.). Morin has however insisted on the epistemological dimension of his work, by distinguishing what he has called, with a reference with relativity theory, a restricted complexity from a general complexity (Morin, 2007).

thinking that can sometimes meet difficulties in being understood as it doesn't fall into any categories of today's academically established, but also fragmented, knowledge.

The ideas generated in the several books of "La méthode" (from -1977 to 2004¹¹) are therefore not standing very easily in any discipline (Morin has indeed produced in several fields such as anthropology, sociology, philosophy, epistemology, politics, which makes it either repulsive or either very attractive (especially attractive for those who believe that reality does not know scientific boundaries¹², believe that meta-models or meta theories are not to be found for tomorrow and that interdisciplinarity is a key process for treating multidimensional problems).

It is an extremely stimulating thought and gives strong scientific strategies for thinking prevention, research and learning from accidents, but not only for "thinking it" in a common sense, as we don't need, for instance in the field of major hazard, the powerful intellectual work of Morin to realise that we have to put together engineers, psychologist, sociologist or economists to work out the patterns leading toward accidents¹³. It is rather because Morin tackled the epistemological question of our knowledge about phenomena, from the physical, the biological and the anthro-sociological views and tried to produce some ideas and concepts of organisation of knowledge for coping with the complexity of reality that his work is valuable. Le Moigne (1977 then 1999, 2001, 2002, 2003) has actively¹⁴ used Morin's work to define a constructivist approach of knowledge, a constructivist epistemology, following a tradition of works such as Piaget (1970) and Simon (1996), leading to a circular representation of science and justifying the status of interdisciplinary researches. A presentation of the constructivist epistemology is also available in Glasersfeld (1995).

¹¹ In this paper, we will only use the 4 first volumes of Morin's work (1977-1991), but two more have been release in 2001 and 2004.

¹² As Von Foerster (1995) stated it when questioned about his transdisciplinary background: "I don't know where my expertise is; my expertise is no disciplines. I would recommend the dropping of disciplinarity wherever one can. Disciplines are an outgrowth of academia. In academia you appoint somebody and then in order to give him a name he must be a historian, a physicist, a chemist, a biologist, a biophysicist; he has to have a name. Here is a human being: Joe Smith -- he suddenly has a label around the neck: biophysicist. Now he has to live up to that label and push away everything that is not biophysics; otherwise people will doubt that he is a biophysicist. If he's talking to somebody about astronomy, they will say, "I don't know, you are not talking about your area of competence, you're talking about astronomy, and there is the department of astronomy, those are the people over there," and things of that sort. Disciplines are an after effect of the "institutional situation", interview available at <http://www.stanford.edu/group/SHR/4-2/text/interviewvonf.html>..

¹³ Turner for example already stated these needs for investigating disasters in 1978 " *The study of the nature and origins of disasters is the kind of inquiry which is naturally a multidisciplinary one and co-operation between psychologists and sociologists, epidemiologist, engineers and managers is needed to understand the complicated relationship between different kinds and levels of event which lead to the development of disasters*", and this has been done early after accident, following for example the Three Mile Island accident by putting together various human and social scientists, (Sills et al, 1982) but also today very recently, following the Columbia accident, with a book released in 2005 (Starbuck and Farjoun, 2005). It is interesting to mention Turner and Morin together in this paper. In the end of the 70's, these two authors were respectively, in disaster study and philosophy, two pioneers.

¹⁴ The website www.mcxapc.org dealing with the modelling of complexity is very active in that respect and freely provides a rich documentation on epistemology of complexity and the constructivist perspective.

The two next parts attempt to introduce the principles of Morin's "complex thinking" (this presentation must however really be understood as an attempt but also as what I was able to understand and to extract from Morin's work).

Essentially, it could be said that two key principles are important to be understood for getting into his work, which are the concepts of emergence and the value of science¹⁵. Emergence (linked today with principles of self-organisation) has already been introduced in this paper. It implies that although organisational levels are not deductively understandable from the analysis of the levels before, there is however a continuum between all of them (from the physical, biological and anthropo sociological one) from which human, societies to knowledge (concepts, models, theories, ideologies) are, through some sorts of evolutionary (from physics to biology) and historical (societies) processes, the products. But this bottom up (upward) vision of emergence needs to be also thought in a top down (downward) perspective, in order to close the loop. Indeed, how could we see the world independently of our "human way" of looking at it? How could we see the world as independent observers? The theme of the value of science is about the status of objectivity that is defended in scientific developments (and that is the positivist position), and our relationship with reality. Do we co-create the world when interacting with it? If yes, then do we have to address the situation of the observer? How do we do so?

It appears that Morin's "complex thinking" is consequently trying to find a way between some traditional oppositions of:

(1) nature and culture¹⁶ - addressing the relationship linking the physical, biological and anthropo sociological levels.

(2) the subject (the observer) and the object (the observed) - addressing the value of science (or the "subjective" side of the scientific adventure, in order to elaborate on the possibilities but also limits of objectivity)

The basic principles is consequently, to overcome these traditional oppositions and that we must understand our reality through its physical, biological and anthropo sociological dimensions, without

¹⁵ These two themes were respectively the subject s of two special issues of a scientific journal in France ("l'énigme de l'émergence", "*the enigma of emergence*" 07/2005 and "Les valeurs de la science" "*the values of science*", 10/2005 from "Science et Avenir"). It is quite interesting to see that these are two central ideas that Morin articulates into his "complex thinking".

¹⁶ A first attempt to link the emergence of our human culture (that led to today's societies) with our natural side is found in "le paradime perdu: la nature humaine" (1973) which was a precursor of Morin's work on his research for a method of "complex thinking". That first work was the product of a series of conferences organised by Morin and Monod in 1972 in Royaumont, around the theme of "l'unité de l'homme" (The human unity). In his book Morin links works from ethology, prehistory and anthropology through the concept of self-organisation and evolution, in order to show the possibilities of articulating these pieces of works together (from different disciplines) to imagine a possible scenario of a human culture emergence. It is a rupture with the view that humans (and the emergence of culture) can be thought without their biological and animal roots. Thirty years later the ideas contained in the project are still relevant and can be thought with the new advances obtained in various disciplines since, like paleoanthropology, prehistory, genetics, theory of evolution, ethology (Picq, 2005, 2006). One of the problem consequently concerns the way, the method, in which the various disciplines together are articulated. This raises the question of interdisciplinarity and of the method supporting this process.

having one that would be dominating the other, or reducing the others to their “truth”, such as saying that everything is physical (*physicalism*), that everything is biological (*biologism*) or that everything is anthropo-sociological (*anthropo-sociologism*)¹⁷. A way of representing this is to represent graphically this circular relationship between the three dimensions (figure 1). We understand that breaking the circle is impossible, we can’t think our anthropo-sociological dimensions without their physical and biological roots (nature and culture (1)) but the reverse is also true that we can’t think of physics or biology independently of our anthropo-sociological point of view but also independently of our biological abilities (the subject and the object (2)). The loop is closed. We need to acknowledge this circular relationship and work with it although this leads to admit that we produce a knowledge without foundations¹⁸. A principle that is strongly at odd with our intuitive experience of the world.

Please insert Figure 1.

Thinking our world is therefore about thinking the three together, but in a way that is consistent, through principles that link these levels in a circular relationship. Complexity, and “complex thinking”, is found at the heart of this principle. Morin’s research strategy has been therefore to look at the key scientific developments of science of nature and science of life to question our human and social “nature”, our physical dimension, and “life”, our biological dimension. His thoughts are contained in the two first volumes¹⁹ of “La méthode”. His research then led him to consider the various works from many fields tackling the question of the possibilities of knowledge. These developments are contained in the third and fourth volumes. The next parts attempt to introduce some of the ideas from these (this presentation can’t escape the linear presentation although some of the sources used for each volumes are present in all of them).

¹⁷ Dupuy (1982) has argued that reductionism and simplistic assumptions would always have the last word over a more complex, such as Morin’s “complex thinking”, vision of reality. Morin also wonders throughout his work if such a circular approach is possible, but instead of giving up, he makes the attempt and produces very stimulating thoughts. Reductionism is indeed a strong principle expressed in the scientific developments, and has been very successful. This principle looks for the ultimate explanatory concepts that would give a “simple” explanation to a lot of phenomena. Example of ultimate concepts are atoms, neurones, genes, pulsions... Besnier (2005, 2006) distinguishes between a methodological and an ontological (a more metaphysical) reductionism. An example of ontological reductionism statement by a scientist is found in Wilson’s work (the father of the sociobiology) on “Consilience” (Wilson, 1998): “*the love of complexity without reductionism makes art, the love of complexity with reductionism makes science (...) its strong form is total consilience, which holds that nature is organized by simple universal laws of physics to which all other laws and principle can eventually be reduced*”. A metaphysical statement acknowledging the emergencies of levels of organisations does not systematically subscribe to such an ontological reductionism program. Morin’s work is an example of such a non reductionist philosophical position. His strategy consists in articulating levels rather than looking for reducing them to one principle. This is therefore a different strategy than the “Unity of science” such as it was promoted by the Vienna Circle developments (Jacob, 1980).

¹⁸ We see now why these developments fit a constructivist epistemology: there’s nothing out of our human (which is physical, biological and anthropo sociological) way of experiencing the world and that is rationally (empirically) “reachable”.

¹⁹ *The nature of nature* (1977) and *The life of life* (1981).

The physical and biological dimensions of the living

Some key scientific ideas of our contemporary world: inputs from physics and biology

Thus, in a dialogue between philosophy and science, in the two first volumes of “La méthode” (1977, 1981), to which we could add “Sociologie” (1994, second edition) Morin put together a lot of material from science of nature and science of life. His approach is a circular one, starting with the physical to the biological nature of human and societies. Here are some of these (this is not a comprehensive list²⁰):

- Cosmos studies and new trends (big bang following Hubble’s discoveries of an expansion of the universe²¹),
- First and second thermodynamics (the dissipative structures and the philosophical discussions from Prigogine...),
- Micro-physics (quantum physics and philosophical discussions from Heisenberg, Bohr...),
- Cybernetics and system theory (and epistemological discussions from Bertalanffy, Wiener, Von Foerster, Bateson...),
- Self-organisation, recursivity and self-production (autopoësis), emergence and principles of “order out of noise” (with epistemological discussion from Von Foerster, Maturana, Varela, Atlan...),
- Evolutionary theory (Darwinian, neo darwinian developments – from articulations with genetics – discussions from Dobshanzky, Mayr, Waddington, Watson, Crick, Monod, Jacob, Dawkins...),
- Ecology and *Umwelt* (Von Uexküll...) and Ecosystem (development of Tansley...),
- Ethology (Goodman...), sociobiology (Wilson...),

We see that Morin has been looking at some main scientific developments of science in various fields throughout the Twentieth century for exploring our natural and biological roots.

Concepts extracted from “the nature of nature”: the physical roots

All these insights are discussed and articulated to produce a number of principles such as (from the volume 1):

²⁰ In this part and the next part some authors will be mentioned as important and “most popular” authors in the field. There are no references for these authors in this paper. They are indications of the often quoted ones throughout Morin’s developments. They are only indications, related to my knowledge of the authors in the fields that he explores and that I have understood as being influential, first in their domains, and then in Morin’s developments. The list in itself provides some indications for the reader.

²¹ In a recent dialogue (2003), between Morin and Cassé, an astrophysician, some of the ideas about our universe and on the cosmos extracted from the first Volume of “la méthode” are discussed.

- The presence of order/disorder/interaction/organisation as an underlying transdisciplinary concept of emergence of our world (instead of a strict principle of order but also instead of a strict principle of deterministic laws²² and instead of matter as a elementary unit, the last point stressing the importance of patterns over elements). This principle is found at the physical, biological (developed in the second volume) and anthro-sociological levels. It accounts for the possibility of transformation and evolution at these three levels.
- Emergence as a principle for understanding the properties of systems that can't be deduced (and reduced) from the parts, but this bottom up (upward) perspective must be understood also in a top down (downward) one, namely that the sum is less than the part. In a retroactive way, the whole limit the variety of the parts.
- A systemic principle to be linked with an ecological vision of the world (developed in the second volume). The systemic principle stresses the fact that any organisational phenomena is embedded and in interaction within other systems (from atoms to consciousness).
- The teleological principle (namely the purpose of the system) for understanding phenomena self-generating their autonomy.
- Recursivity and autopoiesis (although the principle of closure from the autopoiesis theory is thought with a principle of openness) as a common "organisational" feature of the physical, biological and anthro-sociological world through the concept of self-producing "machines".
- Openness as a key principle of intelligibility of reality (a concept that has *empirical, methodological, theoretical, logical, paradigmatical* impacts leading to a complex vision of the world). It leads to the importance of the context.
- A principle of complex causalities (exogenous -endogenous principles of open systems and interactions of systems, so that little cause can have big effects, same cause can have different effects,

²² Determinism and consequently the search for laws is one feature that has been seen as a foundation of the scientific approach, as Ceruti notices (1994) "particularly during the Nineteenth century, the search for "laws" progressively becomes the way in which the regulating ideal of omniscience becomes normative in the building of human knowledge. The notion of law is interpreted as a fundamental place of description and explanation of phenomena. The discovery of a law gives access to the Archimedean point, a necessary and sufficient condition for the control and exhaustive explanation of phenomena. It allows for both the dissolving of the particular into the general, the predicting of the past and future course of event, and allows us to conceive of time as the simple unfolding of an atemporal necessity. These epistemological schemata took shape in the interpretation of the great successes attained by rational mechanics throughout the course of the 18th century and the beginning of the 19th, and in that attitude we tended to conceive of this science as being paradigmatic of the tasks of scientific explanation in general. Subsequently, even the great scientific events achieved by the emergence of both sciences of evolution and history (whether natural or social) were shaped by an ideal of scientific quality pivoting on this notion of law. The problem thus became that of determining laws of history characterised by the same necessity, invariance, and atemporality as the laws of the physical universe." A recent special issue of the scientific journal "Science et avenir" has discussed the status of history and determinism in science: "l'univers est il sans histoire", "Is the universe without history?" (2006).

leading to counter-intuitive effects through feedbacks), which makes emerging patterns not predictable.

Concepts extracted from the “life of life”

In volume two, a certain other number of principles are discussed and articulated from science of life developments (here are some selected ones):

- Oikos/autos and the concept of ecology (environment) and of ecosystem, where the parts (autos) and the whole (oikos) are linked together in a complex relationship of recursivity (parts are the products of the whole but also the producers of the whole in a dialogical relationship).
- A concept of evolution with a discussion of the notions of adaptation and selection within an eco-organisation through the use of self-organisation of eco-systems, and the introduction of order/disorder/interaction/organisation as a principle functioning of eco-systems (and also a principle of variety as a principle of resilience)²³.
- A principle of an ecological science²⁴ as the first “*sciencia nueva*” introducing the importance of the context, the importance of putting together separated disciplines in a systemic approach, the link between nature and culture, and the necessity of a communication of science and the value of science as the future of our world and humanity depends on it.
- The consequences of this general ecological type of thinking are the following concepts: ecology of action²⁵ (supported by a principle of complex causalities²⁶ developed in the first volume), ecology of ideas²⁷, social ecology.
- The genotypic and phenotypic relationship of the living, where both must be thought interacting with each other, and not separately (endogenous-exogenous dynamical type of relationship), and integrating specy (the general) with the individual (the specific).

²³ Kauffman (2003) from the Santa Fe Institute, attempts to combine self-organisation with Darwinian principle of selection, to provide an explanation for evolution.

²⁴ Capra (who was initially a physicist), have recently used similar sources as Morin (cybernetics, general system theory, self organisation, ecology, quantum physics, dissipative structure, autopoiesis) to reach similar conclusions on the necessity of developing an ecological and systemic type of thinking (Capra, 1996, 2002).

²⁵ The ecology of actions states that, in the anthroposociological world, our actions do not systematically lead to their intended effects, and that they escape our control.

²⁶ The idea of complex causality is also developed by Morin in biology to escape the notion of genetic program, inspired by cybernetics, in order to be able to move towards a more complex vision of biology, towards a vision of a more systemic and self producing dimension of the living. This idea can be seen discussed now while the paradigm of program meet difficulties following the description of the genome (e.g. Fox Keller, 2004, 2006).

²⁷ The ecology of ideas (as also developed for example by Bateson, 1977) concept will be developed in the fourth volume of « la méthode » (1991).

- The biological nature of the being (from cells to brains), starting with the act of computing, that becomes a “computo ergo sum”, this type of perspective is rooted in the idea of cognition as life²⁸.
- The emergence of three types of entities (and beings): first order (cells) second order (polycellular organisms – such as plants) and third order (societies of polycellular organisms) leading to insects, animals and human societies (from language to technology, to culture and to modern historical - social, political, economical – societies) . Through this evolutionary and historical perspectives, he establishes links with our biological nature.
- The presence within the three orders of three issues: specialisation (and diversity), hierarchy (seen as emergence of levels but also as domination issues) and centralisation (polycentrism, acentrism), although of course being very different within the different orders (cells, plants, animals, humans, societies). Complexity and high complexity differ from the level of specialisation, hierarchy and centralisation.
- All these developments allow for the elaboration of a paradigm of self-eco-re-organisation²⁹, as a universal principle for understanding the living (including humans and societies). This paradigm indicates that phenomena are self organised, but also eco-dependant (they are always open and embedded in a larger eco system, a milieu) and re organised (they constantly maintain but also transform themselves in a recursive manner).

Thus, with these two first volumes, we see that Morin tackling some strong scientific metaphysical and methodological statements. We comment only three of them that we think very important for our field³⁰.

First the principle of determinism (see also note 22). By introducing disorder, and by making of disorder an intrinsic part of historical processes at the physical (thermodynamic, new cosmos theories introducing a history of the universe...), the biological (historical evolution) and the anthropo sociological levels (history of anthropo sociological societies), it challenges a strong taken for granted scientific criteria. It indeed questions science about the nature of determinism. Are our observed phenomena deterministic? Why would they be deterministic laws out there for all phenomena? Is determinism not a metaphysical statement rather than a scientific one? More over, if a principle for understanding complex system is consequently, following cybernetic and system approaches, to introduce the purpose of these system (in the biological and anthropo- social worlds), and that, following self organisation, we acknowledge their endogenous

²⁸ See Stewart (1996) for a presentation and the implication of this perspective, “cognition=life”, within a constructivist perspective. This theme is developed further by Morin in volume 3.

²⁹ In fact this is a contraction of the concept of “self-(-geno-pheno-ego)-eco-re-organisation (computational/informational/communicational) that Morin suggests in his book.

³⁰ There were some strong oppositions from some scientists following the developments from the field of complexity such as developed by Morin, but also by others such as Prigogine, or Atlan, and specifically in regards to the status of determinism. It indeed shakes some core metaphysical principles of science.

autonomy (despite strong exogenous constraints), then a criteria for science is not only to be able to predict (because autonomous entities are not fully predictable), but to produce intelligible models and theories to interpret and to act in the world, without having to use determinism as the supreme condition for a scientific work. It also calls for a humble position towards our ability to control and to master nature, but also to master our own creations (from technology to societies³¹).

Secondly, stating that for understanding the living (including animals and humans) we need to integrate in a paradigmatic sense the self organised, the ecological and the transformative dimensions into a self-eco-re organisational principle, it limits strongly another scientific principle: experimentation. If phenomena are self organised, open and dependant of their ecological milieu and also constantly transform themselves, then it becomes extremely difficult to isolate, to reproduce exactly the conditions of these phenomena, and therefore we need to understand them within their milieu, their context, but also within their historical trajectory³².

Thirdly, emergent properties can't be reduced from the knowledge of their parts. A reductionist perspective of complex phenomena is therefore not able to give a scientific description of the whole. The levels can be articulated, but can not be reduced to the nature of the level before. There are communications between the levels, but not reduction. Levels must be thought in their systemic relationship with a bottom up (upward) and top down (downward) causation loop.

The constraints and possibilities of knowledge

Some key ideas about knowledge from the third and fourth volumes

After exploring the physical and biological dimensions of the emergence of our human and social nature and life, in the third and fourth volumes of “La méthode”, to which we could add the epistemological work of “Science with consciousness” (1990a), Morin explores the possibilities for the emergence of human knowledge. He explores the relationships of our knowledge with reality and the possibilities, limits, constraints and resources of our ability to answer various types of questions, leading to various types of investigations. Similarly with the two first volumes, Morin uses again a circular approach. This circular approach starts in the third volume from the biological nature of knowledge, to the cognitive through the

³¹ This last point leads to the ethical question, a theme developed by Morin in his last volume (Morin, 2004).

³² If this principle feels today intuitively obvious for our societies, following the events of the last century and its associated ideologies (such as the belief in some laws for history), it is interesting to notice that evolution scientists such as Gould (1989) stress the importance of the lack of determinism but also of our inability to reproduce experiments for simulating the biological evolution.

psychological and anthropological dimensions of knowledge. In the fourth volume, the approach is historical, political, sociological and finally “noological”³³. Various works are therefore put together, articulated and discussed. Here are some of these works (again, this list is not comprehensive):

- Genetic epistemology of Piaget, approaching knowledge through its biological side,
- Neuro-science insights on knowledge (from Maturana, Varela, Changeux, Edelman ...)
- Cognitive science developments (from Simon, Fodor, Putman ...)
- Cognitive ethology (with early works such as Griffin ...)
- Anthropology (from Levi Strauss, Durand, Cassirer, Castoriadis, Girard...)
- Psychoanalysis (from Freud, Lacan ...)
- Epistemological, philosophical and historical works on science (such as of Bachelard, Koyré, Ullmo, Canghullem, Popper, Kuhn, Lakatos, Farayebend, Hanson, Holton ...)
- Sociological works on science (such as Mannheim, Merton, Boudon, Latour, Bloor, Bourdieu, Habermas, Adorno ...)
- Logic (from Gödel, Tarski, Russel, Whitehead, Carnap ...)
- Philosophical developments about knowledge (from Kant, Husserl, Heidegger, Wittgenstein ...)

Concepts extracted

Some important ideas and concepts can be extracted from the discussions and developments contained in these three books³⁴:

- The intrinsic difficulty of understanding knowledge because of the communication difficulties between its natural dimension [information, computing, artificial intelligence], its biological dimension [central nervous system, phylogenesis/ontogenesis of brain], its human and social dimension [linguistic, cognitive psychology, psychologies, psychoanalysis, psycho sociology, cultural anthropology, sociology of culture, sociology of knowledge, of science, history of culture, of beliefs, of ideas, of

³³ Morin suggests, following ideas from Popper, Bateson, Monod, Dawkins ... that, myths, symbols, representations, ideas, theories have their own autonomy, evolving as self organised entities and systems, under evolution and historical principles (although ideas do not come to life). This type of idea has been developed, following Dawkin’s book (“The selfish genes”, 1976) through the field of “Memetic” (Blackmore, 2006) , although these later developments appear to suggest a strong reductionist perspective (they indeed reduce, as far as I understand it, consciousness, behaviours and the transmission of culture to the replications of memes, some sort of units of information - such as words, music, ideas - that would replicate from brain to brain under similar patterns as the Darwin evolutionary principles). As Dennett (1995), the “Darwinian” philosopher, asserted “the prospect for elaborating a rigorous science of memetics are doubtful, but the concepts provides a valuable perspective from which to investigate the complex relationship between cultural and genetic heritage”.

³⁴ As for the previous parts, these are very limited extractions of what these volumes contain!

science], its philosophical side [theory of knowledge], its “in between” science and philosophy dimension [logic, epistemology].

- Action and knowledge must be thought together, and a link is established through the emergence of the computing from the cells (the cells computing is a first level of action and knowledge, helping the cell to survive within its environment through intelligent behaviour) through animals (ethological works with cognitive and empirical fieldworks reveal the strategic intelligence of animals and the relationship of action and knowledge) through humans (reaching the hyper complexity of the human brain and its modularity).
- The cognitive analogical/logical duality and explanation/understanding³⁵ duality of our relationship with reality, as well as a cognitive duality between a simple/complex approach of reality.
- A strong influence of a great western paradigm, separating a philosophical thought (meant to be reflexive) and a scientific one (meant to be based on observations and experiments)³⁶, although both can't be simply summarised as such. This great paradigm is also developed by Morin around the traditional oppositions of subject/object, spirit/body, mind/matter, quality/quantity, finality/causality, feeling/reason, freedom/determinism, existence/essence. This separation is also a strong statement of the positivist philosophy, leaving speculations to meta-physics and defining science by its work on “objective” facts.
- Although science is developed under four independent legs (empirism, rationality, verification and imagination³⁷), there is however a “subjective” side of the scientific “objectivity”, hidden for example under *paradigms and incommensurability principles* (Kuhn, Feyerabend), *research programs* (Lakatos) but also *themata* (Holton), which are metaphysical statements, organising preferences and defining some of the values of the scientific

³⁵ Rather than opposing these main approaches of phenomena (“understanding” for the human and social sciences and “explaining” for the natural sciences), Morin suggests to acknowledge their articulation.

³⁶ This distinction is the result of the dualistic philosophy of Descartes (“res cogitans” – “res extensa”). Although now it is more admitted with the field of complexity that there is no discontinuity between the physical and biological levels, between the brain and the human mind, and therefore no rupture between the object and the subject. Similar conclusions from a different philosophical perspective (pragmatism), challenging the traditional division of science and philosophy, is found in Rorty (1979).

³⁷ Imagination is not always associated with the scientific developments. Indeed, philosophy of science and epistemology with normative purposes distinguished the context of justification from the context of discovery. The context of discovery referred to the creative side and the intuition of the individuals that led to the scientific discoveries (or constructions). The context of justification referred to the validity of the theories and models, their logic and coherence, their empirical validity etc, so that criteria for science could also be ensured. Some philosophers and historians of science have argued about this distinction: why would they be distinguished? They are intrinsically linked and the context of discovery represents an important part of the scientific developments, such as historical descriptions of scientific developments show us. Imagination introduces along the deductive and inductive approaches, the abductive one, allowing analogies to be used for building hypotheses. The notion of “fiction” for example emphasises the imaginative side of the scientific activity (a special issue of “science et avenir” have developed on this topic “Les fictions de la sciences” “The fictions of science”). In that line of thoughts, Morin elaborates on the presence within our knowledge of a still existing and influential symbolic/mythologic/magic dimension, that takes its place within a rational/ technological / empirical dimension.

works³⁸. Morin suggest in that respect to develop a “*paradigmatology*”.

- Knowledge is therefore a product of a biological, cognitive, psychological, historical, sociological, economical and political conditions allowing deviancies and new theories to be generated, tolerated and expressed themselves, to allow new visions. This of course can't be seen as deterministic, there is a principle of endogenous/exogenous process (micro/meso/macro) generating novelties, that can't be predictive in terms of what will be the new scientific ways of looking at the world, and radical changes are always possible.
- There exists systems of ideas: scientific, philosophical, ideological (the last one supported by doctrines) where science is an extension of philosophy and where ideologies and doctrines differ from science and philosophy (both offering the possibilities of debating and critics) as they are not opened and “bio-degradable” (Morin suggests this metaphor as a way of interpreting Popper falsification principle, meaning that the scientific approach attempts to eliminate error), as scientific and philosophical developments are³⁹.
- Science must be thought philosophically, epistemologically, but the reverse is also true, philosophy must be thought scientifically. There is not a separation to be created between science and philosophy. Contemporary science developments naturally led to deep philosophical questions (see as an example the philosophical investigations from Einstein, Heisenberg, Bohr in the fields of relativity and of quantum physics⁴⁰ etc).
- A principle of uncertainty about knowledge and reality, and the importance of the awareness about our mistakes and illusions in the process of generating knowledge, based on models that must be understood as mediations between the world and us, not a definite understanding of things, but as evolving and without foundations.

With these three volumes, Morin suggests to reconsider some strong assumptions regarding our ability to access an ontological reality, independent of a cognitive process but also independent of our historical developments. Therefore, one of the strongest scientific principle, namely objectivity needs to be revised for integrating the biological, cognitive, social, cultural nature of this objectivity. The importance of the metaphysical underlying frameworks such as

³⁸ As stressed by Ceruti (1994) regarding this point but also regarding the creative and imaginative side of the scientific developments: “*Scientific thought appears, then, as being a rather confused mass of ad hoc hypotheses, analogical reasoning, inductive generalisations from experience, and formalizations. It also seems to be composed of themes, or of deeply rooted, uncontrollable metaphysical cores whose unity and consistency turn out to be linked with the practice and individual itinerary of the subject who uses them, even if that particular subject is the scientific community itself*”.

³⁹ Morin distinguishes between rationality and rationalisation. Rationalisation is the process of framing everything in a theory, without being sensitive anymore to the empirical evidence of the inadequacy of the model or theory. The use of quantification in qualitative domains is sometimes very illustrative of a rationalisation.

⁴⁰ This is also true today with the cognitive sciences that are developed with support from philosophical investigations (see for example this point discussed in different historical accounts of cognitive sciences, Gardner, 1985, Dupuy, 1999, Varela, 1999).

discussed in the works of philosophers and historians of science must be acknowledged, and integrated in scientific developments, to always take into account the observer in his observations⁴¹. This doesn't imply relativism, a certain type of objectivity does exist and help us to act in the world, but it is a temporary one, we do not reach an ontological world, but we translate successfully our evolving interaction with it.

With these two parts, “the physical and biological dimensions of humanity and societies” and “the possibility of knowledge”, we get an idea of how Morin proceeded to close the circular loop (figure 1) in epistemological work on complexity.

I now get back to the field of learning from accident (and safety), to attempt to connect his epistemological developments with the previous works on complexity introduced in this paper.

Complexity and learning from accidents

This short presentation of some ideas extracted from Morin's work on complexity helps to distinguish it better from other works. We can indeed differentiate five domains where complexity has been introduced and discussed:

1. A technical complexity (e.g. Perrow's developments around the level of coupling and complexity within technical installations could be located at this level), although we understand now that the self organisational, self producing, adaptive nature and order/disorder principle create a rupture between machines and any biological phenomena⁴²,
2. a work situation complexity at a micro level (e.g. Amalberti, 1996, Leplat, 1996),
3. an organisational complexity at a meso level (e.g. Weick, 1977, Rochlin, La Porte & Roberts, 1987),
4. an organisational, political and economical complexity at a macro levels (e.g. Vaughan, 1996, Snook, 2000), and at the level of large technical systems (Gras, 1993),
5. an epistemological complexity at a scientific and philosophical level (Morin's developments, 1973-1991).

It would be interesting to elaborate more on some of the common conceptual borrowings between these definitions of complexity from

⁴¹ Morin (1994) distinguishes however the observer in natural sciences from the observer in social sciences. While the natural scientist is an observer/designer, the social scientist is a observer/designer/subject, meaning that he can't extract himself from the society in which he belongs for understanding his, or other societies.

⁴² One important influence on Morin has indeed been the Von Neuman statement regarding the difference between the machines and biological phenomena (Morin, 1973) « *A car engine is made of components highly checked, but the risks of failure are equal to the sum of the risks of degradation of each of its components (sparkling plug, carburettor), the living machine although made of unreliable components (molecules degrading, cells degenerating) is highly reliable, on the one hand it is able to regenerate, reproduce the components that degenerate, namely to self repair, and on the other hand, it is able to work despite of the local failure, namely to attain its goals by other means, whereas the artificial machine is at maximum capable of assessing the mistake and stop* ».

these various perspectives. We see for instance the use of principles of order/disorder/interaction/organisation⁴³, the emergence of patterns from the self-eco-re-organisation principle⁴⁴, complex causalities⁴⁵ or the importance of imagination⁴⁶, a duality of a simple/complex vision of reality⁴⁷ and the importance for a non reductionist perspective⁴⁸; very compatible with the nature of safety and accident dynamic.

Instead of looking for the common features between these works in these various domains (this could be done in next developments), we will use in a more “direct” way the main messages from the epistemology of complexity to the learning from accident field.

Historically situated interpretations: an epistemological question

The philosophy of complexity teaches us that our understanding of accidents, similarly as all scientific knowledge is dated. It is historically located in time so that our interpretations will differ from one period to the other, according to the scientific knowledge and the paradigms underlying the interpretations of the events. It has been quite strongly emphasised in the literature on accidents and safety, of the historical shifts from a more technological, to a human (questioning the relevance of “human error” for understanding accidents, but also questioning the relevance of eliminating errors at a cognitive level) to a more organisational perspective of accidents. The

⁴³ Moving from the biological (note 43) to the cognitive dimension; disorder, noise, unexpected events are part of the adaptive activity of cognition. It is precisely the ability to integrate disorder, unplanned events and create a new order from it in order to control events that can be seen at the heart of resilience of systems. The lack of understanding of this paradigmatic difference was found in some prevention strategies “*Since humans, as unreliable and limited system components, were assumed to degrade what would otherwise be flawless system performance, this paradigm often prescribed automation as a means to safeguard the system from the people in it*” (Woods and Hollnagel, 2006). We learned from experience since, about the limit of automation and the importance of the positive influence of people filling the gaps where things were not anticipated, and the need for people able to deal with disorder. This is now recognised at the core of the organisational resilience (there is here a link with the imagination dimension, see note 38). However, there is a side effect to the ability to integrate disorder into a coherent picture, it indeed provides the stage for disasters, as Turner and Vaughan both acknowledged.

⁴⁴ Dekker (2006) introduces the idea of emerging patterns, following the works of Snook and Vaughan, by “*the number of variables involved, and their interaction, makes the idea of safety boundaries as probability patterns more appealing: probability patterns that vary in an indeterministic fashion with a huge complex of technological and organisational factors*”. These patterns need to be understood in their environment and historical developments.

⁴⁵ In « System effects, complexity in political and social life », Jervis (1997), quoted recently in Vaughan (2005) and Roberts (2005), offers - through a conceptual framework developed from science of complexity and grounded in empirical data of political events - an illustration of this type of « ecology of action » and complex causalities principle. Complex causalities and ecology of action are indeed similar and fully compatible with the “law” of unintended consequences, in social sciences.

⁴⁶ Some have indeed developed around the important idea of requisite imagination (Adamski et al, 2003). As much as in science developments, imagination in safety is a valuable ingredient and the lack of it an ingredient for accidents.

⁴⁷ Psycho cognitive scientists, such as Amalberti (1996), have shown at the individual level, how making “simpler” the complexity of their working situations is a meta-cognitive strategy used by operators for dealing with their tasks, and having suitable models (explaining and predicting) to perform their specific tasks. Reducing complexity is a key strategy for them. It has strong implication for individual and collective actions. As Weick (1998) noted “*In order to act collectively, people adopt simplifying assumptions. Simplification limits the precaution people take and the range of undesired consequences they envision. These simplifications state the stage for surprise*”.

⁴⁸ Starbuck put well such a non reductionist perspective (2005), as one of the lessons from the Columbia accident: “*Managing organized complexity systematically: The Columbia disaster resulted from complex interactions of technology, policy, history, environment and production pressures, and normal human behavior. Such complexity is not unique to NASA (...) Thus although complexity elicits our curiosity, we should be modest about our ability to comprehend and manage it*”.

future of the interpretations of accidents might be complemented (or transformed) by more macro level perspective with political interpretations where the states strategies, at a national level in terms of prevention control, shows a bit better how they influence the likelihood of accidents. But new valuable understanding and developments might also come from an understanding of cognition with some developments at a neural level, in the future.

An interdisciplinary domain in needs for articulations: a methodological question

Morin (1990b) illustrates the principles of his development on complexity with several domains of science and shows how some scientific domains evolved as interdisciplinary ones, where articulations between separated knowledge were necessary for creating a broader understanding of phenomena that cut through the knowledge provided by a single discipline⁴⁹, such as:

- Ecology science articulating zoology, microbiology, geography, physics, botany.
- Earth science articulating geology, seismology, volcanology, meteorology.
- Prehistory science articulating ecology, genetics, ethology, psychology, mythology, sociology (see note 17).
- History science articulating economy, sociology, anthropology, psychology.
- Cosmology science articulating microphysics, physics, astronomy.

We could add some fields where it appears to be very similar:

- Ergonomics science articulating physiology, computer science, engineering science, psychology, cognitive science, psychocognition⁵⁰.
- Child resilience⁵¹ articulating biology, neuroscience, ethology, psychology, sociology

What are the consequences for the field of learning from accident?

It appears quite naturally that the same applies to it: articulations between various fields are necessary for treating accidents as complex phenomena. Anyone who faces an investigation sees that the phenomenon has a global nature, although this global nature is quite hard to conceptually capture through the lenses of just one discipline⁵².

⁴⁹ Vinck (2000) distinguishes four modes of interdisciplinarity: complementarity, circulation, merging and confrontation between disciplines. They would certainly help to better describe the manner in which these fields (or disciplines) introduced here, were combined and evolved.

⁵⁰ As Leplat (2003) puts it « The domain of ergonomics consists of articulating different disciplinary views taken about a situation and that this articulation, this integration makes emerging a structure and problems that are not those of the disciplines taken individually».

⁵¹ Cyrulnik, who is a scientist in the field of child resilience, and Morin discusses (2003) about their views on human nature, based on their developments. They reach the conclusion of the need for a scientific strategy looking for articulations between fields for approaching complex problems that cut through disciplines. We have discussed the comparison between child resilience and organisational resilience (Le Coze and Capo, 2006).

⁵² An interesting example of such a multi dimensional approach, and close to the field of learning from accident because of its historical approach is Diamond's book Collapse (2005). This author provides some

It requires articulations from various disciplinary fields such as sociology of organisations, cognitive psychology, system safety, safety management, psycho sociology while being intrinsically historical work, belonging as well to the historical sciences. From the engineering and physical phenomena to the cognitive, social, cultural, political and economical dimensions, accidents must be approached in a global manner and within a historical perspective that requires quite naturally, once understood, a complex thinking type of perspective.

Although the frontiers between these disciplines and works are not always clear because they tackle some similar phenomena but with different scope but also different purposes, they provide some important conceptual supports for interpreting accidents. They do not articulate automatically between each other as for example some strong conceptual and empirical difficulties arise when we jump from some cognitive to more sociological or political dimensions⁵³. I have started (Le Coze, 2005) to put together a research strategy looking at available works and models about safety and accident in cognitive science, psycho-sociology, sociology, management and political perspectives. This approach can be used for accident investigation but also for offering new perspectives of auditing and designing or “engineering” (see Hollnagel et al, 2006) the reliability or resilience of organisation or socio-technical systems (see Le Coze & Dupré, 2006 for some empirical fieldwork and research in this domain).

From the interpretations to implementing actions: the question of the value of the models

However it must be stressed that understanding events through the articulations of several sources is not the end of the learning from accident process. Important developments are required for thinking the transfer and the learning process for the people practically implementing the lessons to be extracted from the interpretations. The question regarding the practicality of the models supporting the interpretations is of fundamental importance. Modellers are not outside the systems that they interpret and their explanations feedback in some ways in the world. They will be used as support for transforming the working situations, and in that respect each individual locating at various positions have various views, interests, understanding etc. It is important therefore to ask about the value of the interpretations in

interpretations of the collapses of some modern and ancient civilisations while using different disciplines such as archeology, climatology, history, paleontology , playnologist (pollen scientists), within an evolutionary perspective.

⁵³ As Bourrier and Laroche (2000) put it in the field of reliability of organisations: « the methodology that we can apply (...) belong to different fields and disciplines (psychology, ergonomics, psycho sociology, sociology, economy, political science, management and law) for which a global education does not exist. The researcher in social sciences does not possess all these skills. It is a major problem because we understand well today that for progressing in organisational risk factors, it is required to have theoretical tools and analysis methods able to encompass and to link the different levels. In his work, Diamonds (1997) introduced specifically this issue “These requirements seem at first to demand a multi-author work. Yet that approach would be doomed from the outset, because the essence of the problem is to develop a unified synthesis. That consideration dictates a single authorship, despite all the difficulties that it poses. Inevitably, that single author will have to sweat copiously in order to assimilate material from many disciplines, and will require guidance from many colleagues”. This quotation describes very well the “complex thinking” type of challenge.

regards to the practical needs of these individuals, if we want the interpretations to be supportive for improvements. In that respect, I started Le Coze (2007) to discuss the relevance of the models used for learning from the organisational side of accidents. I have distinguished the purposes of the modellers investigating, between practitioners, professional investigators and researchers while asking for the need to be sensitive to the gaps between these approaches, when moving along a continuum between prescriptive and descriptive purposes and models.

Conclusion

In this paper, I have attempted to introduce the philosophical developments on complexity from Morin⁵⁴. It helped distinguishing them (but also identifying some common references) from other insights on complexity, in safety and accidents, at micro (technological and individual), meso (organisational), macro (organisational, economical and political) levels.

In particular, I have shown that the philosophy of complexity, by discussing the nature/culture and subject/object issues, created a rupture. Some of the traditional views need consequently to be revised: humans can't be thought out of a shaping evolutionary and historical process, and our natural side needs to be articulated with our cultural one. We need to articulate without reducing it our human nature with its physical and biological sides. I have also seen that it questioned objectivity by discussing our ability to reach a reality independently of a biological and cognitive process embedded in a social and historical "ecological" milieu, this last point introducing the value (ethical) dimension of knowledge production.

In the process of exploring these two issues, the philosophy of complexity challenged some strong metaphysical and methodological views on science developments such as determinism, experimentation (by acknowledging the importance of context), linear causalities, reductionism and the ability to reach an independent external reality (importance of the observer). The importance for interdisciplinarity in this process has also been stressed, for a better understanding of phenomena that cut through disciplines.

⁵⁴ We have not discussed in this paper about the limits of Morin's approach. One limit can be mentioned here. There is a risk when being general and trying to cover many disciplines for providing articulations (instead of being regional and specific to one discipline), not to be able to fully grasp the specificity and limits in each of the disciplines and therefore not providing "reliable" outputs. This is the risk of any interdisciplinary, or integrative approach. We find such a statement in Dennett (1995): "*I myself do not understand all the science that is relevant to the theories I discuss, but, then, neither do the scientists (without perhaps a few polymath exceptions). Interdisciplinary work has its risks*". For example, other philosophy of science works provide a wide range of perspectives across fields (in a similar fashion as Morin's work, going through physics, biology, human and social sciences, cognitive sciences, emergence phenomena etc) but without attempting to articulate them (see for example Andler et al, 2002a, 2002b, with a realist position). The risk is therefore decreased as authors remain in their domains. These two types of work can be seen complementary. Although they are two different strategies, they provide two interesting points of views. Both can be maintained which also means that disciplines are of course necessary but need to communicate through pluri, inter and transdisciplinary approaches.

The philosophy of complexity, and “complex thinking” is inspiring and important for the field of learning from accident. Although not at first concerned directly by all the questions developed in the philosophy of complexity⁵⁵, accidents should be understood, in a similar fashion (e.g. without reductionism and without the idea of control supported by a deterministic belief), as the results of biological-cognitive-social-cultural-historical-political-economical dynamic processes. Learning from accidents requires therefore a complex approach, for which the “*self-eco-re organisational*” nature of the incremental patterns leading to them should be detected and prevented in time. Learning from these patterns is therefore a challenging conceptual and empirical task implying the collaboration and articulation of several disciplines together for which the value of the models produced needs to be addressed.

References

Adamski, A.J. & Westrum, R., 2003. Requisite imagination: the fine art of anticipating what might go wrong. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design* (pp. 193-220). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Amalberti, R. 1996. *La conduite des systèmes à risques, le travail humain*. Presses universitaires de France.

Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002a. *Philosophie des sciences*. Volume 1. Folio essai.

Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002a. *Philosophie des sciences*. Volume 2. Folio essai.

Atlan H. (1974) *le principe d'ordre à partir de bruit, l'apprentissage non dirigé et le rêve*. In Morin, E., Piattelli-Palmarini, M., 1974. *L'unité de l'homme*. 2. *Le cerveau humain*. Points.

Auerswald, P., Branscomb., L, M., La Porte, T, M., Michel-Kerjan., E.O. 2006. *Where Private efficiency meets public vulnerability: the critical infrastructure challenge*. In Auerswald, P., Branscomb., L, M., La Porte, T, M., Michel-Kerjan., E.O in *Seeds of Disaster, Roots of Response. How Private Action Can Reduce Public Vulnerability*. Cambridge University Press.

Blackmore, S., 2006. *La théorie des mèmes : Pourquoi nous nous imitons les uns les autres*. Editions Max Milo.

⁵⁵ We might indeed be thinking for example that the nature/culture problem is not directly linked with learning from accident, however, looking at it in a deeper fashion, concepts such as “safety culture” would gain from being explored in regards with the evolutive and historical developments of early societies, from which the specificity of culture emerged. There is indeed a lot of confusion (Hale, 2000) around the use of safety culture, but also on culture itself. This confusion is a result of the fact that theoretically and empirically, culture is a very complex topic (e.g. Lestel, 2003), implying researches from a lot of different fields (see note 17).

Bateson, G. 1977., Vers une écologie de l'esprit. Seuil.

Besnier, J.M., 2005. Les théories de la connaissance. Presses Universitaires de France.

Besnier, J.M., 2006. La croisée des sciences : Questions d'un philosophe. Seuil.

Bourrier, M., 1997. Elements for designing a self-correcting organization: examples from nuclear power plants, *Safety Management and the Challenge of Organizational Change* Amsterdam, Elsevier, (Eds), In A. Hale & M. Baram

Bourrier, M., Laroche, H., 2000. Les approches organisationnelles de la fiabilité . *Actes du séminaire "le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations dans les activités à hauts risques*, C.N.R.S. Gif sur Yvette

Capra, F., 1996. *The web of life*. Anchor books. New York.

Capra, F., 2002. *The hidden connections integrating the biological, cognitive and social dimensions of life into a science of sustainability*. Doubleday.

Ceruti, M., 1994. *Constraints and possibilities. The evolution of knowledge and the knowledge of evolution*. Gordon and Breach.

Chalmers, A., F. 1987. *Qu'est ce que la science?* Seuil.

Diamond, J., 2005. *Collapse: How societies choose to fail or to succeed*. Penguin books.

Diamond, J., 1997. *Guns, Germs and Steel*. Penguin Books.

Dekker, S., 2006. Resilience engineering and getting smarter at predicting the next accident. In Hollnagel Woods, D. D. & Leveson, N. 2006. *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Aldershot, UK: Ashgate.

Dennett, D. C., 1995. *Darwin's dangerous idea. Evolution and the meanings of life*. Penguin.

Dupuy, J-P., 1982 *Ordre et désordre. Enquête sur un nouveau paradigme*. Seuil.

Dupuy, J-P., 1999. *Aux origines des sciences cognitives*. Editions de la Découverte.

Foerster, Von, H., 1974. Notes pour une épistémologie des objets vivants. In Morin, E., Piattelli-Palmarini, M., L'unité de l'homme. 2. Le cerveau humain. Points.

Fox Keller, E., 2004. Génome, post génome, quel avenir pour la biologie? in *La Recherche*, juin 2004.

Fox Keller, E., 2006. Le gène, une fiction équivoque. In *Science et avenir*, Hors Série. 2006. Les fictions de la science. Dossier. Juillet/août.

Jacob, P 1980., *De Vienne à Cambridge. L'héritage du positivisme logique*. Gallimard.

Jervis, R., 1997. *System effects, complexity in political and social life*. Princeton University Press.

Gardner, H., 1993. *Histoire de la révolution cognitive*. Payot.

Gell-Mann, M., 1995. *Le quark et le jaguar*. Flammarion.

Goodstein L.P., Andersen H.B., Olsen S.E., 1988. *Tasks, Errors and Mental models*. London, Taylor & Francis, p. 128-148.

Gould, S, J., 1991. *La vie est belle*. Seuil.

Glaserfeld Von E. 1995., *Radical constructivism: a way of knowing and learning*. Routledge Farmer. Taylor and Francis group.

Gras, A. 1993., *Grandeur et dépendance. Sociologie des macro-systèmes techniques*. Presses Universitaires de France.

Hale, A.R., Culture's confusions. 2000. Editorial for the Special issue on safety culture and safety climate. *Safety Science*. 34. 1-14.

Hollnagel, E., 1993., *Human reliability analysis, Context and control*. Academic Press.

Hollnagel, E., 2004., *Barriers and accident prevention*. Ashgate.

Hollnagel, E., Woods, D. D. & Leveson, N. 2006. *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Aldershot, UK: Ashgate.

Kauffman, S., 2003. Spirales de l'auto-organisation. In Benkirane, R. 2003. *La complexité, vertiges et promesses. Dix huit histoires de sciences*. Le pommier.

Landau, M., 1973. On the concept of Self-Correcting Organization. *Public Administration Review* , 33, 533-539.

Le Coze, J-C., 2007. Organisations and disasters: from lessons learnt to theorising. *Safety Science*. In press.

Le Coze, J-C., Dupré, M., 2006. How to prevent a normal accident in a high reliable organisation: the art of resilience, a case study in the chemical industry. In *Proceedings of the second resilience engineering symposium*. 8-10 November. Antibes Juan les pins, France.

Le Coze, J.C., Capo, S., 2006. A conceptual and methodological comparison with the field of child resilience. In Proceedings of the second resilience engineering symposium. 8-10 November. Antibes Juan les pins, France.

Le Coze, J-C., 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and safety auditing? Safety Science 43. 613-638.

Le Moigne, J-L., 1999. La modélisation des systèmes complexes. Dunod.

Le Moigne, J-L., 2001. Le Constructivisme - TOME I - Les enracinements. L'harmattan.

Le Moigne, J-L., 2002. Le Constructivisme - TOME II - Epistémologie de l'interdisciplinarité. L'harmattan.

Le Moigne, J-L, 2003. Le Constructivisme - TOME III - Modéliser pour comprendre. L'harmattan.

Leplat, J., 1996. Quelques aspects de la complexité en ergonomie. In Daniellou F. L'ergonomie en quête de ces principes. Editions Octarès.

Leplat, J., 2003. Quelles évolutions en ergonomie? In 38ème Congrès - Paris – 2003 " Modèles et pratiques de l'analyse du travail. 1988-2003 15 ans d'évolution"

Lestel., D. 2003. Les Origines animales de la culture. Flammarion.

Maturana, H., Varela, F., 1972. Autopoeitic systems. Facultad de Ciencias, Universidad de Santiago, Santiago du Chili.

Morin, E., 1973. La nature humaine, le paradigme perdu. Ed du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 1977. La méthode – tome I, La nature de la nature. Ed du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 1980. La méthode – tome II, La vie de la vie. Ed du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 1986. La méthode – tome III, La connaissance de la connaissance. Ed du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 1990a. Science avec conscience. Seconde édition. Editions du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 1990b. Articuler les disciplines. Actes du colloque du CNRS.

Morin, E., 1991. La méthode – tome IV, Les idées, leur habitat, leur vie, leur mœurs, leur organisation. Ed du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 1994. Sociologie. Seconde édition. Editions du seuil (coll point). Paris.

Morin, E., 2007 Complexité restreinte, complexité générale, in Le Moigne, J-L, Morin, E. Intelligence de la complexité: epistemologie et pragmatique. Colloque de Cerisy. Edition de l'Aube. English version available at http://www.worldscibooks.com/chaos/etextbook/6372/6372_chap01.pdf

Morin, E., Cassé, M. 2003. Enfant du ciel, entre vide, matière et lumière. Odile Jacob.

Morin, E., Cyrulnik, B. 2003. Dialogue sur la nature humaine. Seuil.

Perrow, C., 1984. Normal accident theory, living with high risk technology. Second edition. New York: Basic Books.

Piaget J., 1970. *L'épistémologie génétique*. Presses Universitaires de France.

Picq, P., 2005. *Les Origines de l'homme : L'odyssée de l'espèce*. Seuil.

Picq, P., 2006. L'évolution de l'homme, de la biologie à la culture, in L'origine des cultures, revue Sciences Humaines. Hors série janvier-février 2006.

Prigogine, I., 1968. *Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles*. Dunod. Paris.

Rasmussen J., Lind M. 1981. *Coping with complexity*. Riso Report, Roskilde, Riso National laboratory.

Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem, in safety science vol 27 n°2/3, p 183-213.

Rasmussen J. Svedung I., 2000. *Proactive risk management in a dynamic society*. Swedish Rescue Services Agency. Karlstad.

Rochlin, G., La Porte, T., Roberts, K., 1987. The Self-Designing High-Reliability Systems: Aircraft Carrier Fight Operations at Sea, *Naval War College Review*, Autumn, 76-91.

Roberts K., Madsen P., Desai V.M. 2005., The space between in space transportation: a relational analysis of the failure of STS-107. In Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell Publishing.

Rorty, R., 1979. Philosophy and the mirror of nature. Princeton University Press.

ANTHOLOGY

Science et avenir, Hors Série., 2005. L'énigme de l'émergence. Dossier. Juillet/août.

Science et avenir, Hors Série., 2005. Les valeurs de la science. Dossier. Octobre/novembre.

Science et avenir, Hors Série., 2006. L'univers a t il une histoire? Dossier. Mai/juin.

Science et avenir, Hors Série., 2006. Les fictions de la science. Dossier. Juillet/août.

Sills D.L., Wolf C.P., Shelanski V.P., 1982. Accident at Three Mile Island. The Human Dimension. Westview Press. Boulder. Colorado. Etats Unis.

Snook,S.A., 2000. Friendly fire, the accidental shooting down of US black hawks over northern Iraq, Princeton University Press.

Snook S.A., Jeffrey C.C., 2005. The price of progress: structurally induced inaction in Starbuck W.H., Farjoun M. (2005) Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell Publishing.

Soler L., 2000. Introduction à l'épistémologie. Ellipses.

Starbuck W.H., Farjoun M. 2005. Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell Publishing.

Stewart J., 1996. Cognition = Life : Implications for higher-level cognition. Behavioural Processes 35: 311-326.

Turner B., 1978. Made-man disaster: the failure of foresight. Butterworth-Heinmann.

Varela. F. J., 1996. Invitation aux sciences cognitives. Seuil.

Vaughan D., 1996.The challenger launch decision: risky technology, culture and deviance at NASA, University of Chicago press, Chicago.

Vaughan D., 2005.System effects: on slippery slopes, repeating negative patterns, and learning from mistake? In Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster. Blackwell Publishing.

Vinck D., 2000. Pratiques de l'interdisciplinarité. Mutations des sciences, de l'industrie et de l'enseignement. Presses Universitaires de Grenoble.

Weick K., 1977. "Organization Design: Organization as Self-Designing Systems", *Organizational Dynamics*, 6.

Wilson E. O., 1998. Consilience. The unity of knowledge. Abacus.

Article 4

Le Coze, JC. 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and current safety auditing? *Safety science* (43) 613-638.



Are organisations too complex to be integrated in technical risk assessment and current safety auditing?

Jean-christophe Le Coze *

INERIS, Institut National de l'Environnement, Industriels et des Risques, Direction des Risques Accidentels, Parc Technologique ALATA, B.P. No. 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

Received 19 November 2004; received in revised form 22 June 2005; accepted 24 June 2005

Abstract

The organisation has been seen for many years as the next step for improving safety and for understanding accidents better, along with the on-going technological and human factors approaches. Many works on the organisational dimension in safety are now available and some recent researches have attempted to integrate the three dimensions, sometimes in a quantitative manner.

This paper is an attempt to make things clearer around the organisational issues for the purpose of enhancing current safety auditing but also for discussing the issue of integrating quantitative and qualitative approaches with various dimensions.

This paper goes through a presentation of complexity and the work of some researchers who have conceptually defined complexity. This provides an interesting framework compared to the scientific deterministic and positivist one (generally implied in technical approaches), when it comes to thinking of complex systems, which organisations and major accidents phenomena are. This paper tries to identify some of the most influential organisation theories within the human and social sciences and attempts to classify some of the existing organisational researches in major hazard prevention and accident investigation using these theories.

With an experience in technical risk assessment, safety auditing and accident investigation, the author discusses the difficulty of introducing the complex nature of organisations into integrated methodologies (implying a link between technical installations and organisations), and discusses

* Tel.: +33 3 44 55 62 04; fax: +33 3 44 55 62 95.
E-mail address: jean-christophe.lecoze@ineris.fr

the perspective of introducing it into current safety auditing practices. The research strategy of this work is therefore an interdisciplinary one, using insights from safety engineering, safety auditing practices and human and social sciences. This kind of research implies an exploration and understanding of the rationales in these different domains. It is aimed at creating, as far as possible, articulation between them for practical purposes. The nature of this paper is therefore in some parts theoretical and conceptual, but intends to frame some of the issues for improving auditing techniques and integrated methodologies. Current empirical researches are being carried out to create the methodologies required for supporting auditing improvements.

© 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Organisation; Safety auditing; Complexity; Crossdisciplinarity; Accident

Contents

1.	Introducing organisations in technical quantitative risk assessment	615
1.1.	Organisations, safety and major accidents.	615
1.2.	Feedback, teleology, systems	617
1.3.	Self-organisation	618
1.4.	Complexity as a key concept	618
1.4.1.	Determinism and order	618
1.4.2.	Decomposition (analysis)	619
1.4.3.	Linear cause and effect	619
1.4.4.	Positivism	621
1.4.5.	A conceptual framework for safety auditing	621
1.5.	Complexity and organisations	621
1.5.1.	Cybernetics and system approaches	621
1.5.2.	Self organisation, chaos and dissipative structures	621
1.5.3.	Complexity in safety and accident investigation.	622
1.6.	Technical and organisational rationales in integrated methods	622
2.	Organisational theories, organisational safety and accident.	625
2.1.	A framework for classifying organisational theories (or theories of organising).	625
2.1.1.	Level of analysis.	625
2.1.2.	Rational or natural approaches	626
2.1.3.	Open system	626
2.1.4.	Organisation theories.	626
2.2.	Classifying organisational works in safety and accident investigation	626
2.3.	The relevance of a multi-level and multi-dimensional framework	630
3.	Introducing complexity and an organisational richness for improving auditing	630
3.1.	Current auditing rationale.	630
3.2.	Acknowledging complexity	633
3.3.	Introducing organisational models for a richness of interpretation	633
3.4.	Comparisons from detailed accident analysis.	634
4.	Conclusion.	635
	Acknowledgements	635
	References	635

1. Introducing organisations in technical quantitative risk assessment

1.1. Organisations, safety and major accidents

Seeing the organisation as the origin of safety and accidents is a trend in research that is described as complementing the technical and human factors oriented studies (Reason, 1997; Rasmussen, 2000; Moray, 2000).

Technical and human factors studies have a focus on cause–effect relationships close in time and space to the accident sequences.

Technical risk assessment relies on expected behaviours of installation components, that can fail or not when fulfilling their function. These potential failures are graphically introduced in tree modelling of a systematic process risk analysis (like HAZOP or FMAE). Following an accident involving a technical failure, causes can be linked to the nature of the component (its design, its expected reliability, its expected resistance, its level of corrosion), thanks to engineering knowledge.

Human errors¹ involved in accident sequences can be linked to shaping factors associated with cognitive models like the SRK Rasmussen's model (1986), or also other versions of this type of cognitive model (Reason, 1993; Amalberti, 1996). The interpretation of the underlying causes of error in that case depends on a knowledge of human cognition and psychological factors and is inferred from a description of errors. Human actions can also be introduced in event and fault tree at the risk assessment stage with the help of human reliability techniques, although this approach is not without strong qualitative and quantitative limitations (Hollnagel, 2000). Their anchoring in the technical processes in terms of cause–effect and their proximity in time and space with the events, link human factors clearly with the accident sequences.

This cause–effect relationship with the accident sequences is not so clear with organisational factors. Indeed, the organisational perspective widens the scope of the technical and human factors approaches and opens the boundaries to more variables than the two others do. The organisational perspective in safety and accidents investigation can be dated from Landau (1969),² Turner (1978), but also Perrow (1984). More than 20 years after these first researches, different studies have been released, from the High Reliability Organisation (e.g. Rochlin, 1996, 1999, 2001; Roberts, 1990) to Reason (1997), through Vaughan (1996, 1997, 1999), Snook (2000), Weick (1993), Weick et al. (1999), Sagan (1993), Heimann (1997) or Rasmussen and Svedung (2000). They refer to various and sometimes different disciplines, source of data and methodologies from different case studies, but converge towards the intent to elaborate an organisational understanding and sometimes a model³ such as exists for example at the psychological and cognitive level.

Some of these models, theorising accidents (e.g. Vaughan, 1996, Snook, 2000) demonstrate how decisions and actions at different levels of the organisation, over time, create the

¹ Error, as an action resulting in an unwanted outcome.

² Quoted here for his concept of redundancy that will be introduced and debated in High Reliability Organisation and other studies in safety.

³ Model is seen here as an equivalent of theory, in this paper theory and model are used interchangeably.

conditions for an organisational dynamic or behaviour, respectively a “normalisation of deviance” and a “practical drift” towards accidents.⁴ Both studies emphasise time and the cross levels dimensions.

Focus solely at any one level and you’ll miss it. A second way to miss it is to take a snapshot. As a dynamic process, it cuts across time just as surely as it does levels of analysis. Like an animal in the wild that remains hidden until it moves, drift can’t be seen at a single glance. (Snook, 2000, 225).

The theories and concepts found (about normalisation of deviance) implicate the macro–micro connection in the systematic production of organisational deviance: Its origin is in the nested and dynamic interrelationship between environment, organisation characteristics, cognition, and choice. (Vaughan, 1999, 284–285).

With these investigations, modellers go back in time and space from the events themselves. Researchers deal with a long period of time or history. Researchers deal with actions and decisions taken at management and operational levels inside and outside the organisation, shaping a global and subtle organisational behaviour toward accidents.

However, the organisational perspective in general faces the difficulty of defining laws or behavioural models as well as practical principles to describe and design resilient organisations, to define what can be done or not at several levels of decisions (Snook, 2000, 236):

What are the critical design features of a hyper-complex, multilevel, multi task, organizational system that will increase the likelihood of accomplishing the “total task” consistently? I don’t have the answer.

On the one hand these models are elaborated from single accident investigations. Large scale accidents are rare events and opportunities for revealing dynamical organisational patterns are rare. Moreover, experimentation as a way of verifying hypothesis is not possible.

On the other hand, organisational studies focusing on normal operations are extremely difficult when investigators are looking for something that is not as clear as it is after an accident. Indeed, hindsight following an accident helps investigators to start with something, failures or inadequacies, to unfold the context and generate an interpretation of the organisational side of the events. It is however much more difficult to determine beforehand what will go organisationally wrong. The amount of information to be treated is huge, and without anything to unfold, the investigator can be lost, with nothing to focus on.

One possible answer to this limit is that organisations involve many more interrelated autonomous variables compared to the individual level, related cognitive model and experimentation/observation opportunities. It is therefore extremely difficult to predict or define general behavioural features.

⁴ Although very much based on a common dynamical and cross levels perspective, these two models slightly differ (Snook, 2000, 223), one focuses mainly on a coordination issue (practical drift, which makes it closer to Rasmussen’s concept of system’s adaptive behaviour) and the other on the impact of high levels of the organisation on a social construction of reality dimension (normalisation of deviance, trickle down effect and weak signals, which makes it closer to Turner’s incubation model).

Snook (2000, 218) stated that:

As behavioural scientists, we are pretty good at explaining limited behaviours at a given level of analysis. However when it comes to explaining complex events that cut across domains and time, we don't fare nearly as well. And, when it comes to predicting untoward incidents in complex organisations before they occur, we fail miserably.

These attempts face problems of high complexity.

Science has been facing in the last decades a growing concern for understanding the properties of complexity in physics, biology or society. This led to some attempts at theorizing on complexity. It can be said that accident research has also succumbed to such a trend. The complexity underlying them could be related to this historical scientific concern to consider issues from a wider and global perspective (from technical, human to organisational). This complex nature of the problem implies however a conceptual framework that differs from the one that the technical and human factor approaches (more specifically human reliability techniques) could have been conveying so far in risk management.

The next part introduces such a possible conceptual framework.

1.2. Feedback, teleology, systems

The development of what is called the science of complexity and systemic science, as developed for example by Morin (1973, 1977, 1980, 1986, 1991), but also Lemoigne (1994, 1999), has an approximately 50 years history. The first origins can be found in the early “holism” or “gestalt” concepts and then, around the 40s and 50s, in the understanding of the feedback principle (Simon, 1996, 298–306) during and after World War II.

The gestalt and holism concepts involved the idea of a whole that is more than the sum of its parts (emergence), and is therefore opposed to the analytical and reductionism principle. The notion of feedback is found in control theory in engineering, in cybernetics, in the homeostasis principle in biology and in society. The feedback principle is opposed to the concept of external cause and introduces the concept of teleology, or purpose and also of information. The feedback concept is thus present in many domains of science: physics, biology and society. Weaver (1948) described this new trend in science as follows:

These problems—and a wide range of similar problems in the biological, medical, psychological, economic and political sciences—are just too complicated to yield to the old nineteenth century techniques which were so dramatically successful on two-three or four variable problems of simplicity. These new problems, moreover, cannot be handled with the statistical techniques so effective in describing average behaviour in problems of disorganised complexity. These new problems, and the future of the world depends on many of them, requires science to make a third great advance that must be even greater than the nineteenth century conquest of problems of simplicity of the twentieth century victory over problems of disorganised complexity. Science must, over the next 50 years, learn to deal with these problems of organised complexity.

Boulding (1956), who contributed to the General System Theory developments (Bertalanffy, 1973), suggests a classification of systems, according to their increasing level of complexity:

1. The framework of a static structure.
2. The clockwork of physics and astronomy.
3. The control mechanism of a cybernetic system.
4. The cell with its self maintaining structure.
5. The genetic or plant level.
6. The animal level with purposive behaviour and self-awareness.
7. The human level.
8. Social organisation or individuals in roles.

1.3. Self-organisation

From the 60s and 70s, following and alongside these gestalt and feed back principles other major principles attributed to complexity have been stressed, like the concepts of self-organisation and adaptive systems, of “order from noise” and of disorder and order as intrinsic parts of the living.

Dissipative structures (patterns emerging from interaction between constitutive elements—self-organisation properties), chaos theory in natural science, and intelligent (emergent) collective behaviour based on simple rules between agents in the life sciences are further developments of our understanding of complexity.

These insights about complexity from various fields (physics, biology, society) brought new views on our world, and questioned some of the underlying scientific and philosophical principles in use.

1.4. Complexity as a key concept

Morin and Lemoigne (1999) have elaborated on these concepts and transdisciplinary developments (cybernetics and information theory, system science, self-organisation). They have combined the results of these decades of scientific developments with older and also more recent philosophical questions. They participated, with other authors, in making complexity a key concept for the scientific understanding of our world (e.g. Atlan, 1979; Prigogine, 1994; Simon, 1996).

Throughout these developments, the emerging concept of complexity came to challenge, but also in a way to complement the traditional underlying principles that are still dominant in scientific thinking. These traditional principles could be described as determinism and order, decomposition (analysis) resulting in hyper-specialisation of science, linear cause–effect relationships and positivism.

These principles are briefly discussed in the next section, in the light of these developments on complexity.

1.4.1. Determinism and order

In a traditional way of looking at the purpose of science, it is believed that general laws must be found in order to predict the phenomena under study. These general laws can then be empirically tested in the real world by experiments or observation (hypothetico-deductivism associated with experimentation/observation). The relevance of the laws can be established through this process. The aim of science is therefore to predict our world and reveal its order through simple laws. From physics to chemistry, to biology to human

and society, science should try to understand and predict the order of the world. Quantification through mathematics is dominant and has been seen as the most respectable tool (language) in that world of prediction.

However within complex systems, there is no absolute determinism, as there is in simpler systems, as they are described for example by Weaver (“problem of simplicity” see Section 1.2). Complex systems have revealed so far the inadequacy of our current approaches to find general rules enabling us to fully predict their behaviour. This situation holds true in biology, when it comes to describing quantitatively even a simple cell behaviour (Atlan, in Lemoigne, 2003), in society when it comes to predicting complex systems, as for example national or international economies (Simon, 2000), but also in the physical world with global climate changes for instance.

1.4.2. *Decomposition (analysis)*

One reason for this limitation is that decomposing complex systems is not appropriate. It has been found that the more scientists try to decompose, the more the whole—and therefore the global behaviour and its understanding—is lost. The analytical principle—the Cartesian philosophical principle—is therefore challenged and should now be complemented by another principle, defined as a systemic principle (Lemoigne, 1999). The systemic principle emphasises the understanding of the interactions between agents and looks for the nature of the relationship between them, instead of decomposing the system into parts, to study them independently. This is required by the organisational nature of phenomena that are found in physics, biology, and society (systems consisting of interrelated parts and systems open to their environment). Decomposing a complex system can lead us to lose our understanding of it, especially when it is the interactions between its parts and therefore its organisational nature that defines its behaviour as a whole.⁵

As a consequence of this principle of decomposition for studying many phenomena in various areas, science has become hyper-specialised. Complex systems, however, cut through scientific disciplines and need to be studied through the articulation of several disciplines (Klein, 2004). Disciplines are however often difficult to combine, and this introduces the well-known problem of interdisciplinarity. The situation of specialisation of science is an obstacle for our understanding of many phenomena that are at the frontiers of existing disciplines like ecology (which needs to articulate and to integrate zoology, microbiology, geography, physics, botanic, ...) or earth science (which needs to articulate geology, seismology, vulcanology, meteorology, ...). These sciences became interdisciplinary sciences because of that specific need to articulate disciplines in order to better understand systems (Morin and Lemoigne, 1999). Rasmussen (1997) and Vaughan (1999) have also described these needs and difficulties in the field of major accident prevention, where complex systems are multidimensional.

1.4.3. *Linear cause and effect*

Another reason for the limitation of determinism can be found in the nature of the cause–effect relationship. The feedback loop (associated with teleology) principle makes

⁵ This has a strong impact for organisational studies, where interactions between individuals, at various levels—including regulators, sub-contractor, customers, ...—must therefore be addressed.

clearer the possibility of non-linear relationships between an effect and its cause, which become circular instead and often have unexpected, counter intuitive, emergent properties. Effects can become amplified or decreased or stabilised through the feed back principle. In complex systems, these are common features. It is quite difficult therefore to predict the consequence of a cause. *Morin stressed (1977, 269–270)* that:

- “(a) Same causes can lead to different and emerging effects (...).
- (b) Different causes can lead to same effects (...).
- (c) Small causes can lead to very large effects (...).
- (d) Large causes can lead to small effects (...).
- (e) Some causes are followed by opposite effects (...).
- (f) Effects of antagonistic causes are uncertain (we don’t know if the dominating feedback will be negative or positive) (...).

The complex causality is non linear, it is circular and inter relational, the cause and effect have lost their essence, the cause has lost its absolute reign, the effect is total dependence. There are seen in relation to each other, they transform each other.”

Determinism in complex systems is thus very difficult to generate.⁶ This situation of limited predictability within complex systems has been for example described as a problem for political decisions, when politicians expect scientists to predict the behaviour of such complex systems (*Sarewitz and Pielke, 1999*).

Another limitation for determinism lies in the difficulty of defining the boundaries of the systems observed. Complex systems are open to their environment and exchange with it. The environment exchanges with the system too and it is not a one-way relationship. These relationships with the environment can be rich and dense, and push the system towards an evolving and adaptive behaviour, through self-organisational properties. Self-organisational properties of complex systems imply recursivity, stating that they are the product and the producers at the same time (this has a strong link with human reflexivity, a key human and social science input). They form and are formed at the same time. Consequently, complex systems are dynamic and transform themselves to adapt, over time. This evolving and changing nature is a challenge as it is difficult to anticipate exactly the effect of changes. *Rasmussen (1997, 184)* for example, in the field of major hazard prevention, stated that:

Often we found that attempts to improve the safety of a system from models of local features were compensated by people adapting to the change in an unpredicted way. (a consequence is that it is very difficult to define what is good or not, in terms of organisational design).

⁶ In his accident investigation study, *Snook stresses the same kind of issue (2000, 219)* “two complementary principles allow for such “play” in the system, but have had little impact on empirical studies. The first is the principle of equifinality, which holds that from multiple starting points through various paths, a social system can arrive at the same outcome (*Katz and Khan, 1978*). The second is multiple possibility theory, which suggests that the same situation can result in multiple outcome (*Tyler, 1983*). When combined, these two propositions describe a world with much more play in it than traditional cause and effect models. Approaching the empirical world from such a permissive perspective promises to open new avenue of inquiry into complex social phenomena”.

Of course science is still trying to predict the behaviour of complex systems and progress has been made (e.g. Gallagher and Appezeller, 1999; Ziemelis, 2001 for some formal—mathematical—developments), but the current impossibility to find general rules or general model to predict high complex systems behaviour should be acknowledged. Surprises—emergence—in these complex systems are intrinsic characteristics.

1.4.4. Positivism

Another important point is the status of the nature of reality that is suggested. The systemic approach adopts a constructivist view defining reality as actively constructed by the observers, as opposed to the objectivity in classical and positivist science philosophy. This philosophy resulted from a dualistic principle implying a separation between the mind and the external material world, a Cartesian legacy (Lemoigne, 1999). Constructivism acknowledges the cognitive process of actively constructing models out of the perceived complexity of reality, rather than discovering a reality. This follows a tradition of philosophical thoughts exploring the limit of dualism. It has strong links with developments in micro-physics for example as well as debates in human and social science about the situation of the observer. Therefore, the process of producing models, purposefully, becomes as important as the result. Models are active designs, related to the purpose of the modeller.

1.4.5. A conceptual framework for safety auditing

This work on complexity provides an interesting conceptual framework for thinking about the interdisciplinarity required by safety auditing and integrated safety management methods. It appears relevant as a general framework for the issues raised in risk management and organisations.

Organisations can indeed be understood as complex systems. They have numerous interactions (between individuals), they have non linear cause–effect relationships (e.g. one cause can have many different effects), they are adaptive, their boundaries are unclear and open to the environment and the nature of the interactions between individuals reveals the complexity and specificity of human and social life (this nature includes cognitive, cultural, power, values, norms, rules, social construction of reality dimensions). This stresses, in that specific case, the need for interdisciplinary human and social sciences studies.

1.5. Complexity and organisations

1.5.1. Cybernetics and system approaches

Some approaches, in a first wave mainly exploring the feedback, cybernetics and systemic principles, have been developed into more or less practical successful methodologies, according to the relevance of their use in more or less complex contexts (Jackson, 2003).

Among practical application to management and organisations, there are hard systems thinking, organisational cybernetics (Beer, 1972), system dynamics (Forrester, 1961, 1968) and its closely related “fifth discipline” cult book (Senge, 1990), but also soft systems methodologies (e.g. Checkland, 1981).

1.5.2. Self organisation, chaos and dissipative structures

Studies translating chaos theory, dissipative structures and self-organisation theories into organisations have also been developed more recently (e.g. Wheatley, 1999; Stacey, 2003).

Stacey (2003) argues that system thinking and the sciences of complexity (self-organisation, chaos theory and dissipative structures) are different and convey different ideas. It is true that system thinkers have been caught in a belief of predictability and of objectivity as stated by an ex-practitioner of system dynamics, Meadows (2002), who wrote “People who were raised in the industrial world and get enthused about system thinking are likely to make terrible mistakes. They are likely to assume that here, in system analysis, in interconnection and complication, in the power of the computer, here at last, is the key to prediction and control (...). I assumed that at first too (...), it was going to make systems work (...), but self organizing, non linear, feed back systems are inherently unpredictable. They are not controllable (...), we can’t optimise (...), we can’t keep track of everything (...), we can’t control systems or figure them out (...)”. The argument of Stacey and the sentence of Meadows are consistent with what the conceptualisation of complexity developed by Morin and Lemoigne (1999) stresses, although the latter have combined cybernetics, systemic and self-organisation all together with an epistemological perspective, and not separately.

1.5.3. Complexity in safety and accident investigation

Organisational investigations following accidents (with soft thinking perspectives such as those of Fortune and Peters (1995) and Waring (1996)), with system engineering approaches like Leveson (2004) or proactive organisational safety approaches (Rasmussen and Svedung, 2000, 2002, based on engineering control loop principles) have been and are currently being developed from practically related system thinking concepts.

These different but closely linked developments all offer mental frameworks of a different kind than a technically oriented one. They all emphasise interactions and emergence, the presence of circular and non-linear cause–effect relationships within organisations and the need for a global view. They offer powerful spectacles for the organisational dimension of accidents and their prevention. But the specific nature of the social world also requires insights from human and social sciences for a multidimensional approach.⁷

1.6. Technical and organisational rationales in integrated methods

Defining complexity can provide a conceptual support for understanding the difference between the technical risk assessment rationale (mainly related to the technical engineering background) and organisational rationale (more related to human and social science, systemic science). This difference is presented here.

The framework provided by complexity seems to suit organisational issues better than a traditional scientific worldview. That traditional worldview is at the core of the technical risk assessment approach:

⁷ For example Accimaps (Rasmussen and Svedung, 2000, 2002) offer a way of approaching complexity by locating actors shaping the landscape of risk control through the appropriate delivery and maintenance of constraints, across levels of the socio-technical system. They also specify the necessity to anchor communication flows according to the specific hazardous work processes under control. However, due to the complex network of actors and the social nature of interaction, such an approach requires an understanding of human cognition in work situations, as well as the strategic dimension of human interaction and power in organisations (e.g. Crozier and Friedberg, 1977; Friedberg, 1993). Understanding the network of individuals and communication flows requires the ability to treat the complex nature of human interaction, ranging from cognitive, strategic, cultural dimensions etc. System approaches and control loop perspectives need human science spectacles from psychology, psycho-sociology and sociology to cope with the richness of the organisation’s life.

- Technical risk assessment uses decomposition (analytical methods).
- Technical risk assessment concerns closed technical installations, which are not recursive, not reflexive, not evolving, not sensitive and not opened to their environment as self-organised complex systems (as organisations are).
- Technical risk assessment relies on cause and effect relationships that are determined through the use of general laws relating to the engineering and physical science (laws of physics, chemistry, electricity, . . .) and interactions are in that sense often deterministic (in the sense developed in the science of nature and engineering). Event trees and fault trees represent accident sequences to be prevented. Human action can be introduced when process descriptions are detailed enough to include what is expected from the operator through task analysis (through human reliability approaches). Human action can therefore appear in event and fault trees.
- Technical risk assessment can use data on the reliability of equipment when available and combine them for the purpose of QRA (Quantitative Risk Assessment) or SIL (Safety Integrity Level) estimation, and can therefore be quantitative (use of probabilities). For Human Reliability Assessment (HRA), it is not clear how far it can go in the use of quantification, and some limits are clearly stated due to the level of human cognition knowledge and modelling (for behavioural prediction).
- Technical risk assessment relies on representation of reality through the use of plans, such as the PID (Piping and Instrumentation Diagram) describing the process and its design. A high level of shared representation about the technical installation is reached at the risk assessment stage.

Thus, methods like HAZOP (hazard and operability study) or FMEA (failure mode and effect analysis) are applied with an analytical view consisting of decomposing the installation into parts and of identifying what cause–effect relationships could lead to hazardous sequences. Probability can be used in event and fault trees when data are available to calculate the probability of unwanted outcome or failures rate (QRA), however with severe limits.

Organisations cannot be studied in the same way:

- Organisations are not understandable just through the use of decomposition, and decomposing them implies a loss of their intelligibility as the interactions between parts and their interrelational nature are key and result in emergent properties.
- Organisations are not closed systems but open and adaptive systems that can evolve (and drift). A snapshot at a one time does not reveal its dynamic and future behaviour.
- Organisations are not determined by general laws and linear cause–effect relationships and are better understood when teleology is introduced.
- Organisations have complex interactions between their parts, revealing the complexity and specificity of human and social interaction (culture, social construction of reality, myth, power, strategies, . . .).
- Organisations are difficult to predict through quantitative models: the interactions and the number of autonomous variables are too high to be put in equations. The question of applying the mathematics modelling on the nature and specificity of the human and social world is a challenging epistemological question, and the relevance of doing so has not been proved so far to be successful for prediction purposes (Israel, 1996).

Table 1
Different risk assessment perspectives on technical installations and organisations

Technical installations and risk assessment	Organisation and risk assessment
Decomposition, analytical approach	Systemic approach (interactions)
Defined boundaries (rather closed) and not self organised/adaptive systems	Open (no clearly defined boundaries) and evolving, dynamical systems, self-organisation
Use of general laws to predict and foresee hazardous sequences, modelled in event/fault trees, linear cause effect relationship	Non determinism, non predictable cause–effect, circular relationships and non-linear causalities within the system, teleology (purposes of individuals)
Deterministic interaction between components, engineering knowledge for anticipating accident sequence ^a	Self organised systems and complexity of the nature of interactions between individuals revealing the nature of social interaction, emergence of properties through recursivity
Existing installations defined through the use of plans (PID Piping Instrumentation Diagram)	Active interpretation or representation of an existing organisational life that cannot be perfectly represented just with simplified graphical models
Quantitative assessment, possible use of probabilities	Hardly quantitative, system too complex and human nature involved

^a Perrow’s technological complexity and tight coupling (1984) can result in unexpected deterministic interactions, for which designers were not aware of at the risk assessment stage and for which operators can’t comprehend in real time. Perrow’s complexity reveals a type of technological complexity that could be of a different kind than the organised complexity that has been described so far in this paper. Perrow’s concept seems to be based on the idea that being comprehensive is impossible. There will always be hidden interactions within complex installations that can spread or not, depending on their level of coupling. The concept of complexity introduced in this paper is based on the idea that complexity is due to self-organised and recursive behaviours of parts, leading towards a collective behaviour that is intrinsically unpredictable and emergent (e.g. drift). It is not implied however that technical issues (how to anticipate all technological sequences) are easier to deal with than organisations, but that complexity spectacles seem to suit well the understanding of organisations, the dynamical safety and accident issues.

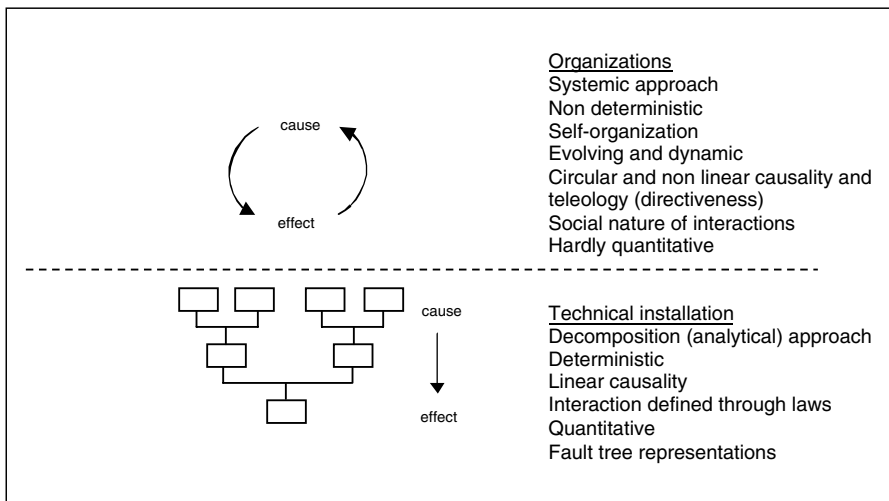


Fig. 1. Organization and technical interface.

- Organisations cannot be totally described through the use of plans or organisational charts, which are mere representations of much more complex systems, processes or structural decomposition that cannot be only captured through arrows and boxes drawings (graphical models vs. narrative models).

Table 1 summarises these differences, which are also represented in Fig. 1.

Organisational, human and social scientists deal with the nature of social life and dynamic open systems with non linear causalities and natural/engineering scientists deal with technical risk assessment rationale implying mainly linear causalities, decomposition and probabilistic data of technical installation. A number of projects with both qualitative and quantitative integrative perspectives (e.g. I-RISK, Bellamy et al., 1999 and some projects described in Øien, 2000) struggled when trying to combine both types of approaches.

2. Organisational theories, organisational safety and accident

2.1. A framework for classifying organisational theories (or theories of organising⁸)

Complexity offers spectacles for looking through, that better suit the organisational phenomena than the more traditional technical ones. The nature of the interaction between individuals reveals the rich nature of social and organisational life.

The purpose of this part is to introduce main organisational theories from the human and social sciences and to allocate the existing literature on prevention and accident among them. The purpose of this part is to understand better the rationales (theoretical and methodological) behind each of them and to address practical perspectives for enhancing current safety auditing. The Scott (2003) “layered model” framework has been used and slightly modified for that purpose.

His framework is an attempt to distinguish organisational theories according to three dimensions:

- The level of analysis.
- A rational or natural perspective.
- Theories with an open system perspective or not.

2.1.1. Level of analysis

Organisation theories are classified according to the social, psychological, structural or ecological perspective. The psychological and social levels imply focusing on the individuals involved in the organisation, either focusing on the individual her/himself, or on the interaction between individuals as the unit for the investigation. The structural perspective considers the way departments or sub-units define the organisation and are co-ordinated, what channels of communication exist, how hierarchy and role and responsibilities are defined etc. The ecological level focuses on the organisation within its environment, constituted by other organisations or institutional actors. The ecological level seeks to

⁸ From Weick (1979), emphasising the continuous and dynamical processes at the core of people interaction while performing collective action.

understand the way the organisational environment shapes the organisation but also how the organisation in return shapes the environment.

2.1.2. Rational or natural approaches

The rational dimension is associated with a vision of the organisation that is based on its objectives, based on the idea that departments and the interaction of individuals are co-ordinated in specified ways, through formal rules, to reach the organisations objectives (*goals specificity and formalization*). The natural perspective emphasises the presence of an informal life, where individuals do not share the same interests and the same objectives, where objectives are not so clear and where some dimensions specific to the social life are encountered (*goal complexity, informal structure and functional analysis*).

2.1.3. Open system

This dimension is concerned with whether the theories are based on the principle of systems or not, especially on the idea of openness of the organisation. According to Scott, the system perspective has strongly influenced social theories of organisations. He dates from the 1960s the spread of system ideas within the study of organisations. This feature of the table shows the importance that the development of these principles had in social science and in organisational theories.

2.1.4. Organisation theories

Using this classification, [Table 2](#) introduces a number of organisational theories that can be associated with these main features. It is now possible to try to identify and classify the rationales of organisational safety and accident research. However, some features found in the safety literature like the concept of culture are not specifically mentioned in the table. It could be seen fitting at the natural and structural level (e.g. organisational or corporate culture), or at the social psychological level and natural level (e.g. cultural identities among communities of workers or type of activity), or even at the ecological level (national cultures). It has been put at the social psychological level.

2.2. Classifying organisational works in safety and accident investigation

The works relating to organisations that have been identified in the field of safety and accidents are:

- Incubation period, in man-made disasters ([Turner, 1978](#), based on accident case studies).
- Normal Accident theory ([Perrow, 1984](#), based on accident case studies).
- High Reliability Organisations studies—HRO (based on qualitative investigation on normal operation of high risk industries).
- The type of error according to structure described in “Acceptable Risk” ([Heimann, 1997](#), based on accident case studies, with qualitative and quantitative perspectives).
- Collective mindfulness and collapse of sensemaking ([Weick, 1993](#); [Weick et al., 1999](#), from normal operation of high risk systems and a case study).
- The High Reliability Organisations approach with institutional perspectives ([Laporte, 2001](#); [Roberts and Desai, 2004](#), based on studies of normal operation).

Table 2
Modified R.W. Scott's layered model and organisational approach of safety and accidents

Level of analysis	Closed system models		Open systems models	
	1900–1930 Rational models	1930–1960 Natural models	1960–1970 Rational models	1970– Natural models
Social Psychological	<i>Scientific management</i> Taylor (1911)	<i>Human relations</i> Whyte (1959)	<i>Bounded rationality</i> March and Simon (1958)	<i>Organising</i> Weick (1969) Collective mindfulness, Collapse of sensemaking (1993, 1999) Safety culture research (1990–200-)
Structural	<i>Decision making</i> Simon (1997)	<i>Bureaucratic theory</i> Weber (t1968 trans.)	<i>Cooperative systems</i> Barnard (1938)	<i>Contingency theory</i> Lawrence and Lorsh (1967) Type I, type II, Heimann (1997) Safety management system (ISO types)
	<i>Administrative theory</i> Fayol (1949)	<i>Human relations</i> Mayo (1945) <i>Conflict models</i> Gouldner (1954)	<i>Comparatives structures</i> Woodward (1965), Pugh (1969), Blau (1970) Normal accident theory (Perrow, 1984)	<i>Sociotechnical systems</i> Miller and Rice (1967) High Reliability Organisation (1980–2004) I-RISK type of model (Bellamy et al., 1999)
Ecological			<i>Transaction cost</i> Williamson (1975) <i>Knowledge based</i> Nonaka and Takeuchi (1995)	<i>Organisational ecology</i> Hannan and Freeman (1977) <i>Resources dependance</i> Pfeffer and Salancik (1978) <i>Institutional theory</i> Selznick (1949), Meyer and Rowan (1977), Dimaggio and Powell (1983) High Reliability Organisation with institutional perspectives (LaPorte and Roberts, 2001, 2004)
Theorising on accident				Incubation period (Turner, 1978) Normalisation of deviance (Vaughan, 1996) Practical drift (Snook, 2000)

- Safety management system principles (based on quality and PDCA, Plan-Do-Check-Act, principles, e.g. OHSAS 18001, 1999; OHSAS 18002, 2000).
- Safety management models developed for quantitative risk assessment purposes (e.g. I-RISK project, Bellamy et al., 1999, based on a dynamical representation of system and on a general problem solving—GPS—model).
- Safety culture and climate research (e.g. as presented in Guldenmund, 2000, based on quantitative as well as qualitative approaches to organisational culture in normal operations).
- The normalisation of deviance (Vaughan, 1996, based on an accident case study).
- Practical drift (Snook, 2000, based on an accident case study).

For some of these works, it was quite possible to locate them in one of the dimension of the table. Normal accident theory seemed to fit for example well in the comparative structure approach, because it is very much anchored in the technical features of the organisation (installations with linear/complex and loose/tight coupling features). The HRO approaches could be located in a contingency structure approach as they tried to identify relevant safety organisational features (redundancy, centralisation/decentralisation, organisational learning, continuous training) for coping with the environment while maintaining high safety performance (although their works have been more diverse than this through the years Rochlin, 2001). The work of Weick et al., based on sensemaking and enactment principles (collapse of sensemaking, collective mindfulness) applied to disasters and safety, could fit in the table also, at the social, psychological level.

Safety culture approaches could be located at the social psychological level, although different perspectives are possible on safety culture. In particular, the question of the relevance of a unified safety culture at the level of the company and the question of a quantitative or qualitative approach are currently debated (Richter and Koch, 2004, but also Hale, 2001). The work of Heimann on error types according to structural arrangements could be associated with a structural contingency model perspective. The work on safety management systems, in particular the I-RISK model, could be seen as a kind of very detailed structural representation of an ideal system, with a natural perspective. More traditional safety management approaches could be seen as structural and rational approaches.⁹ The work of the HRO combined with an institutional perspective could be located at the institutional level.

However some approaches were not so easy to classify within the table. The investigation of the 1994 Iraq friendly fire by Snook used different theories from structural (e.g. Lawrence and Lorsh) to more individual approaches (e.g. Weick) and system thinking influences (e.g. Senge). Vaughan also used different perspectives for her work on the Challenger launch decision, ranging from new institutional and structural to cultural perspectives. Turner used systems approaches as well as information theory, but also the bounded

⁹ It is not so surprising to find safety management system principles and the HRO in the same structural vision of the organisation. The structural safety management system exists for implementation purposes (risk analysis activity, training activity, learning from experience activity, emergency planning activity, auditing activity, . . .), the HRO studies described the result of putting in place safety management activities. They therefore observed and described some functions resulting from safety management systems implementation, for specific high risk organisations: specific learning from experience, specific training, risk analysis strategies for anticipating potential hidden accidental sequences etc.

rationality to elaborate his incubation model. It was not found therefore totally satisfying to locate them in the table in a specific area. A specific line has been therefore added in the table for these works.

What appears with this classification is that research on the organisational side of accidents and safety cover the range of existing organisational theories as identified in Scott's table, but that there is mainly a focus on an open system perspective (all the theories are located in the right column). Some works are more structural, others more individual or ecological, and some use a mix of these dimensions to reach their conclusion. Detailed accident case studies using grounded qualitative methods like the historical ethnography approach advocated by Vaughan in her study (2004) which emphasises organisational behaviour towards the accident, have made use of a combination of various different theories for sensitising their data.

Several authors have already mentioned these multi levels and/or multi dimensions perspectives. Hale et al. (1997) suggested improving our understanding of structural safety management systems through the introduction of the human resources, political and symbolic frames, from Bolman and Deal. Waring and Glendon (1998) proposed a thematic matrix linking risk contexts, human factors and formal coping arrangements in order to understand disasters. Vaughan (1999) stated that organisational deviance is the result of a combination of the environment of the organisation, of the organisational characteristics (structure, processes, tasks) and of the cognitive practices of individuals within them (in a new-institutional perspective).

Table 3 gives an overview of these suggested dimensions and their contents:

Table 3
Multi-dimensions and multi-levels suggested by various authors

Hale et al. (1997)	Waring and Glendon (1998)	Vaughan (1999)
<ul style="list-style-type: none"> • Structural Responsibility, hierarchy, structure, standardisation, rules, feedback, deviation control, organisational goals 	<ul style="list-style-type: none"> • Risk contexts Organisational environments economies and market, public policy, legislation and regulation, social and political climate, technology, history, operating territories and conditions 	<ul style="list-style-type: none"> • Environment of organisation Network of other kind of inter-organisational organisations, political, technological, economic, legal, demographic and cultural dimensions
<ul style="list-style-type: none"> • Human resources Competence, group dynamics, participation, needs and motivation, achievement, learning, leadership style 	<ul style="list-style-type: none"> • Human factors Culture, power relations, political processes and decision making perception, cognition and meanings of success 	<ul style="list-style-type: none"> • Organisation characteristics Structure (e.g. centralisation and decentralisation), Organisational processes (e.g. power plays, feedback loops, Tasks (routine and interface with technology)
<ul style="list-style-type: none"> • Political Power, influence, bargaining, strategic games, negotiation 	<ul style="list-style-type: none"> • Formal coping arrangements Risk management, risk assessment, management systems, approaches to change 	<ul style="list-style-type: none"> • Cognitive practices of individuals Sensemaking, influence of the social context on the definition of the situation
<ul style="list-style-type: none"> • Symbolic Values symbol, myths, stories, heroes, role play, scenario, metaphors, local theories, culture 		

2.3. The relevance of a multi-level and multi-dimensional framework

An accident investigation performed by INERIS (Lecoze et al., 2005), used such a framework to unfold the organisational dimensions behind the accident. It was found relevant to use a number of the appropriate existing organisational models to filter reality and give meaning to the description of the events and their conditions. The amount of information collected during an organisational investigation is very important and has to be organised for interpretation. Several aspects of organisational life were worked out, from structural dimensions (risk analysis activities, training activities, learning from experience etc.) to more cultural ones, to power plays as well as historical dimensions. They were all useful for understanding the accident and generate the context of actions and decisions “*shaping the landscape in which the accident unfold itself*” (Rasmussen and Svedung, 2000, 18). Taking into account these levels allowed a better understanding of the events and avoided focusing on deterministic and linear cause–effects type of investigations. This favoured a cross-time and cross-level investigation specifying the organisational conditions of the accident.

The recent Columbia accident investigation (CAIB, 2003) also proceeded with a multi-dimensional perspective, from economic and historical dimensions of NASA, through the specific decisional aspects of the accident to more structural dimensions.

What can be understood from these two tables on organisational theories and specific work related to accidents and safety is that the reality of organisational life is rich enough to require an equivalent richness in the interpretation—a type of requisite variety—and therefore the need for several spectacles, that go beyond the structural one, to look at the situation through.

This is very consistent with complexity as defined previously. Organisations are multi-dimensional; they can be investigated at several levels and with various disciplines. But also, accidents are the result of the inability to fully predict how decisions taken at various levels will impact on the behaviour of the organisation, through non-linear and self-organisation properties (e.g. drift, deviance) of complex systems.

These two first parts of this paper, on conceptually defining complexity and on organisations models, should help bringing new insights into current safety auditing, and should be useful for them to evolve.

In the next part, current auditing techniques with recent developments in European projects are introduced, and finally some ideas that are being put into practice in on-going research programs are discussed.

3. Introducing complexity and an organisational richness for improving auditing

3.1. Current auditing rationale

The current safety auditing approach is based on management systems principles. It implies therefore a rather rational and structural definition of the organisation. The auditing is based on checking activities against procedures and rules defining activities (roles and responsibilities, functions and activities to be performed, definition of safety indicators). The auditor uses this representation in order to find out about the level of compliance of the structure with an observed, matching or not, reality (through interviews and paper records). More elaborated versions of these types of audit have been and are currently

Table 4
Categories of audits from Hale (1999)

Dimension	Categories
Aim of audit	Compliance vs. <i>improvement</i>
Position of auditors	<i>External, independent</i> vs. internal, operational
Expertise of auditors	<i>Safety experts</i> vs. site personnel
Level of measurement	<i>Qualitative</i> vs. quantitative
Degree of abstraction	<i>System audits</i> vs. detailed checklist
Audit coverage	<i>Comprehensive</i> vs. partial
Depth of audit	Superficial vs. <i>in depth/detailed</i>

being developed with detailed and functional representations of safety management developed in some European projects like I-RISK (Hale, 1999) and with a focus on safety barriers for major hazard prevention as in the ARAMIS project (Hale et al., 2005). Anchoring the auditing on safety barriers is undoubtedly today a key point, and more needs now to be done to specify how to bring into the audit other organisational dimensions that are not captured by a structural definition of it.

The discussion which follows suggests some ideas for improving a category of auditing which can be defined with the help of Table 4.

This table distinguishes the aim of the audit, the position of the auditor, the expertise of the auditor, the level of measurement, the degree of abstraction, the audit coverage and the depth of the audit. In bold are specified the categories which this paper deals with.

It is believed from what has been described in the previous sections of this paper that safety auditing would gain from considering other kind of models of the organisation and from organisational findings from accident investigation (as shown in Table 2 and suggested by various authors in Table 3). For that purpose, a broad classification suggested by Weick (1979, 35) is introduced here. According to him “*It is impossible for a theory of social behaviour to be simultaneously general, accurate and simple. The more general a simple theory is, for example, the less accurate it will be in predicting specifics*”. He suggests using a clock to represent this (Fig. 2). At twelve o’clock is inscribed the word general, at four o’clock the word accurate, and at 8 the word simple. This leads to three positions: at two o’clock theories are general and accurate (but difficult to understand in detail), at 6 theories are accurate and simple (but specific to one case study), and at 10 theories are simple and general but not accurate (they are useful, but evocative rather than specific).

The theories identified in this paper can be arranged around that imaginary clock with more or less accuracy regarding their position according to their contents. Detailed accounts of accident investigation are simple and accurate but are specific (they are the result of a grounded theory type of approach). Some organisational theories are rather general and accurate but not easy to fully understand in detail (the concept of culture could be a quite dense and difficult concept to fully understand) and some are simple and general (bounded rationality, structural approaches, sensemaking, High Reliability Organisation principles). Auditing could be enhanced through the use of all three types of models (Fig. 2).

As stated by Weick (1979, 63) “diversity is enhanced by the adoption of ambivalent conceptual orientations, ambivalent inquiring practices, and varying positions on the issues of generality, accuracy and simplicity. Those who successfully sustain this ambivalence are more likely to remain relevant to practitioners than those who stick with one set of assumptions and techniques that dazzles colleagues but puts managers to sleep.”

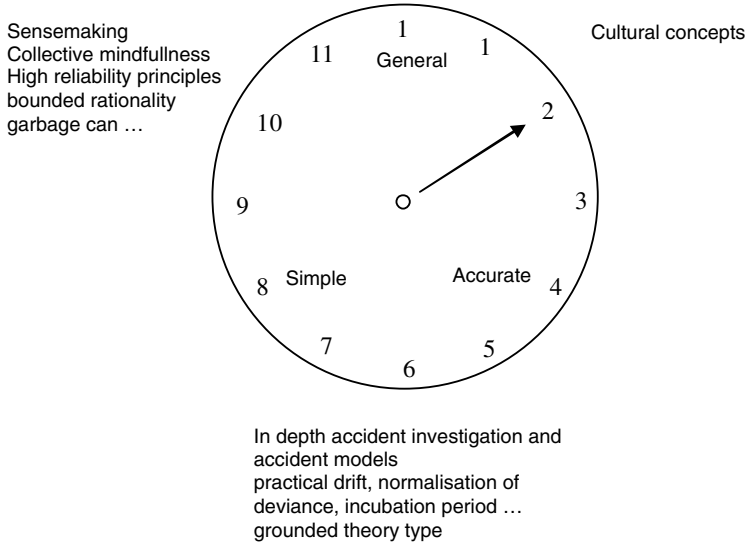


Fig. 2. Several types of social theories.

The proposal is that auditing should be enhanced by the adoption of ambivalent orientations. Three kind of converging influences should help in doing so, along with the more traditional structural way of auditing. This will need to be more specified in further developments with a strong fieldwork strategy in the on-going projects, especially to see how this combines with current auditing techniques, but is briefly presented here (Fig. 3).

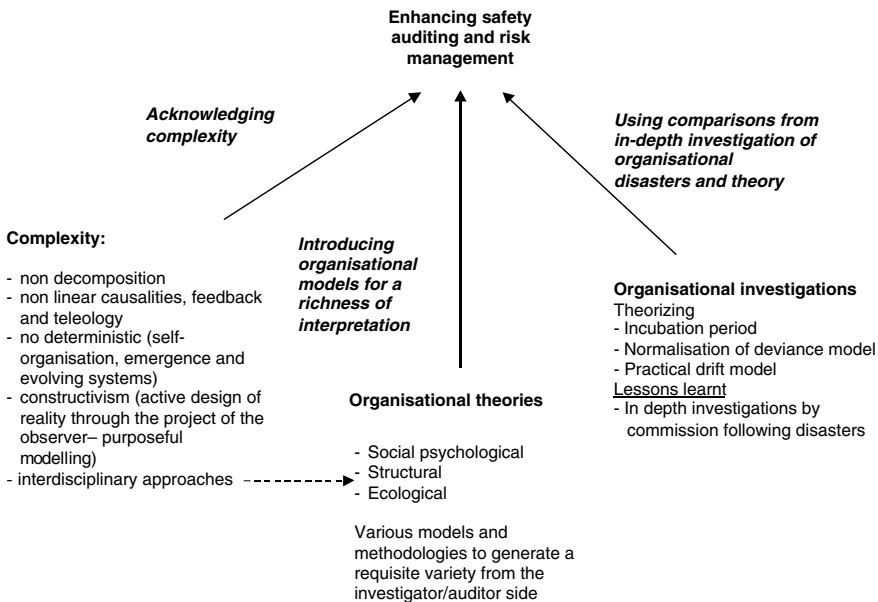


Fig. 3. Three branches for enhancing traditional auditing.

3.2. Acknowledging complexity¹⁰

Acknowledging complexity as defined in this paper would imply for auditing some key concepts:

- Non-decomposition (parts and whole, importance of interactions at several levels).
- Non-linear causalities, feedback, teleology, self-organisation, evolving and adaptive (potentially drifting) systems.
- Non-deterministic behaviour.
- Constructivism (active and purposeful modelling of reality by the observer).
- Interdisciplinary approaches (implying the availability of a richness of organisational models) required for treating organisations with a multidimensional and multilevel perspective.

The aim of this conceptual framework provided by complexity is to shift from a technical view of safety to a more dynamic, evolving, self-organised and cross-levels view, enabling drift and deviance to be better conceptualised and perceived in practice.

This could also integrate the potential use of graphical approaches advocated by some of the methods described in Section 1.4.

3.3. Introducing organisational models for a richness of interpretation

Rochlin (1999) wrote “it was observed again and again, in different contexts and in different manifestations that “operational safety” is not capturable as a set of procedures, of simple, empirically observable properties, of externally imposed training or management skills, or decomposable cognitive or behavioural frames. While much of what the operators do can be empirically described and framed in positivistic terms, a great deal of how they operate, and more importantly how they operate safely, is a property of the interactions, rituals and myths of the social structure and beliefs of the entire organisation, or at least a large segment of it”.

Simple and general models as well as general and accurate models should help the auditors not to limit their focus only to a structural representation of the organisation. Auditors should be able to switch from structural models (used in the current practices) to other models. Outside the field of safety management, some sociological works have already attempted to define methods of investigation combining structural, individual strategies¹¹ (dealing with power-plays) and cultural dimensions (Piotet and Sainsaulieu, 1996). As Perrow (1999, 380) warned investigators when commenting on the concept of normalisation of deviance and the cultural rationale behind it that “We miss a great deal when we substitute culture for power”. It is very important to be able to address many dimensions.

Safety auditing would gain in introducing dimensions other than the structural one like power and the related actor’s strategies, as well the cultural dimension as a social construction of reality in a specified and organised manner. Again it is not advocated here to drop

¹⁰ This branch of the figure has been explored with an epistemological perspective in the field of risk management through the Cyndinics developments (Kervern, 1994).

¹¹ Understanding actors strategies would directly support the graphic tools (ACCIMAP type) suggested by Rasmussen and Svedung (2000, 2002) and would be therefore very compatible.

the structural definition of organisation (like the activities of risk analysis, learning from experience, training, auditing, maintenance, producing safety indicators) but rather to allow a way of capturing other dimensions, escaping the limits of traditional auditing techniques.

Bourrier, 2002 stresses the need for research into normal operations, linking structural dimensions to more strategic dimensions, in order to consider the impact of the structure on people strategies and therefore on safety practices. It would indeed be relevant for an investigator to be able to combine these perspectives. It would imply the use of open interviews that are not based only on a search for compliance with defined activities or a defined model (e.g. Kaufmann, 1996). This could possibly lead to a separate investigation from traditional auditing as well and would definitely need a specific kind of information treatment, which auditors are generally not used to, as stated by Rochlin (1999) “to those of us trained in formal and rational approaches to analysing organizational performance, such an approach may seem strange, even unprofessional, a prescription so far removed from the usual canons of analysis that some will argue that it can have no generalizable meaning or prescriptive power”.

Indeed, while auditing is much about looking for compliance or rather a kind of match with a structural model, the interpretation of the organisation with other kind of perspectives as suggested here is closer to what has been described in grounded theory methods. These describe a specific treatment of qualitative data for generating interpretations through comparative work (Glaser and Strauss, 1967). Comparison opportunities could be provided by in depth accident investigations.¹²

3.4. Comparisons from detailed accident analysis

The interest in having detailed account of accidents investigation (simple and accurate models) is indeed in providing powerful analogies and comparisons support for auditing. Snook (2000, 236) stated “if we could put together a library of such treasures, thick behavioural descriptions of complex untoward events, I am confident that such studies will move us closer to unlocking the fundamental design mysteries of hyper-complex organisations”.

Some authors have already started to draw lessons from in depth accident investigations. Llory et al. (2004) found some predominant and recurrent organisational factors involved in accidents like the “weaknesses of the organisational safety culture, complex and inappropriate organisation, limits of operational feedback, production pressures and failures of the control organisations”.

Such a “library”, from lessons learnt and from theorising about specific accidents (incubation period, practical drift, normalisation of deviance), may have limits too, as it would be extracted from very specific contexts in different industries, technologies, culture etc. They are also dependent on the investigation process that generated the outcome. Comparisons would therefore require from the auditor a strong knowledge of each case inves-

¹² One possible perspective is also to address collectively, as it is done for risk analysis (HAZOP, FMAE), with people from the plant, some issues related to their organisation, going from the parts to the whole, from the everyday safety practices to the changes and history of the company (bringing some potential drifts and evolving features of safety management). The advantages of an approach of this kind would be to be able to gather a lot of information from people and also to co-construct a collective representation of safety in a very practicable and less time consuming way.

tigated, in order to be able to keep in mind the specific context of each of them. Comparisons should however trigger in the auditor's mind which organisational dimensions are worth noticing while auditing.

4. Conclusion

This paper has attempted to make clearer the organisational issues involved in safety and accidents for enhancing current auditing approaches.

For that purpose, the paper has introduced a conceptualisation of complexity, as defined by a number of researchers. It appeared relevant as a general framework providing key concepts. Non-decomposition, non-linear cause-effect relationship, non-determinism and constructivism appeared useful concepts alongside the traditional deterministic view. Technical risk assessment rationales were compared to that alternative framework useful for thinking about organisation, in order to stress the differences and the difficulties faced by integrative approaches.

A number of main organisation theories have been identified and linked with researches in organisational safety and accidents. The paper showed that the organisational side of safety and accident involves multi-level and multidimensional perspectives, from individual, through structural to the environment of the organisation, implying also a time (or historical) approach.

It is believed that the knowledge existing in organisational safety and accident studies (and their related organisational rationales) is now rich enough for thinking of introducing these dimensions into traditional safety auditing practices. Merging complexity, organisation theories and methodologies as well as in-depth accident investigation for the purpose of improving auditing was discussed. Empirical work is currently being carried out to specify further how such combinations might be possible and reasonably practicable (in terms also of time and resources).

Some work will also be needed to describe the process involved, relying on a requisite variety of the investigator but also on a cognitive and qualitative process of collecting, treating and interpreting data.

Acknowledgements

This work is sponsored by the French Ministry of Ecology and Sustainable Development and the Ministry of Research. I would like to thank Inge Svedung for his useful comments on the first version of this paper.

References

- Amalberti, R., 1996. *La conduite des systèmes à risques, Le travail humain*. Presses Universitaires de France (The control of systems at risk).
- Atlan, H., 1979. *Entre le cristal et la fumée, essai sur l'organisation du vivant*. Ed du Seuil (coll point). Paris (Between crystal and smoke, essay on the organisation of the living).
- Barnard, C.I., 1938. *The Function of the Executive*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Beer, S., 1972. *Brain of the Firm*, second ed. Allen lane, London, John Wiley & Sons, Chicester, UK, 1981.
- Bellamy, L.J., Papazoglou, I.A., Hale, A.R., Aneziris, O.N., Ale, B.J.M., Morris, M.I., Oh, J.I.H., 1999. *I-Risk: Development of an integrated technical and management risk control and monitoring methodology for*

- managing and quantifying on-site and off-site risks. Contract ENVA-CT96-0243. Report to European Union. Ministry of Social Affairs and Employment. Den Haag.
- Bertalanffy, V.L., 1973. *Théorie générale des systèmes*. Dunod (General system theory).
- Blau, P.M., 1970. A formal theory of differentiation in organizations. *American Journal of Sociological Review* 35, 201–218.
- Bourrier, M., 2002. Bridging research and practice: the challenge of normal operations studies. *Journal of Contingencies and Crisis Management*. 10 (4), 2002.
- Boulding, K., 1956. General system theory: the skeleton of science. *Management Science* 2, 197–208.
- CAIB, 2003. Columbia Accident Investigation Board, Report Volume 1, August 2003. Government Printing Office, Washington, DC.
- Checkland, P.B., 1981. *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley & Sons, Chicester, UK.
- Crozier, M., Friedberg, E., 1977. *L'acteur et le système*. Editions du seuil (The actor and the system).
- Dimaggio, P.J., Powell, W.W., 1983. The iron cage revisited: institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review* 48, 147–160.
- Fayol, H., 1949. *General and Industrial Management*. Pitman, London (First published in 1919).
- Forrester, J.W., 1961. *Industrial Dynamics*. Productivity Press, Portland, OR.
- Forrester, J.W., 1968. *Principles of Systems*. Productivity Press, Portland, OR.
- Fortune, J., Peters, G., 1995. *Learning from Failure, The System Approach*. John Wiley and Sons.
- Friedberg, E., 1993. *Le pouvoir et la règle*. Editions du seuil (The power and the rule).
- Gallagher, R., Appenzeller, R., 1999. Beyond reductionnism. *Science* 284 (5411), 79.
- Glaser, B.G., Strauss, A.L., 1967. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine de Gruyter.
- Gouldner, A.W., 1954. *Patterns of Industrial Bureaucracy*. Free Press, Glencoe, IL.
- Guldenmund, F.W., 2000. The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science* 34, 215–257 (Special issue on safety climate and culture).
- Hale, A.R., Hovden, M., Baram, J., 1997. Perspective of safety management and change. In: Hale, A.R., Baram, M. (Eds.), *Safety Management: The Challenge of Change*. Pergamon, London.
- Hale, A., 1999. Assessment of safety management systems. Paper to 2nd International Conference on Ergonomics, Occupational Safety and Hygiene. Braga, 27–28 May 1999.
- Hale, A.R., 2001. Culture's confusions. *Safety Science* 34, 1–14 (Editorial for the special issue on safety culture and safety climate).
- Hale, A.R., Guldenmund, F.W., Goossens, L.H.J., Karczewski, J., Duijm, N.-J., Hourtoulou, D., LeCoze, J.-C., Plot, E., Prats, F., Kontic, B., Kontic, D., Gerbec, M., 2005. Management influences on major hazard prevention: the ARAMIS audit. ESREL 2005.
- Hannan, M.T., Freeman, J., 1977. The population ecology of organizations. *American Journal of Sociology* 82, 929–964.
- Heimann, C.F., 1997. *Acceptable Risks, Politics, Policy and Risky Technologies*. The University of Michigan Press, Ann Arbor: MI.
- Hollnagel, 2000. Looking for errors of omission and commission or the hunting of the snark revisited. *Reliability and System Safety* 68, 135–145.
- Israel, G., 1996. *La mathématisation du réel*. Seuil (The mathematical modelling of reality).
- Jackson, M.C., 2003. *System Thinking, Creative Holism for Managers*. John Wiley and Sons, Ltd.
- Katz, D., Khan, R.L., 1978. *The Social Psychology of Organizations*. Wiley, New York.
- Kaufmann, J.C., 1996. *L'entretien compréhensif*. Nathan Université (Interviewing techniques for grounded approaches).
- Kervern, G.Y., 1994. Latest advances in cyndinics. *Economica*.
- Klein, J.T., 2004. Interdisciplinarity and complexity: an evolving relationship. *Emergence: Complexity and Organisation* 6 (1–2), 2–10 (Special double issue).
- Landau, M., 1969. Redundancy, rationality and the problem of duplication and overlap. *Public Administration Review* 29, 346–358.
- Laporte, T.R., 2001. Fiabilité et légitimité soutenable. In: Bourrier, M. (Ed.), *Organiser la Fiabilité*. Coll. Risques collectifs et situations de crise. Paris, l'Harmattan, 2001, pp. 71–105 (Reliability and tenable legitimacy).
- Lawrence, P.R., Lorsh, J.W., 1967. *Organisation and Environment: Managing Differentiation and Integration*. Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston.

- Lecoze, J.C., Lim, S., Dechy, N., Leprette, E., Branka, R., 2005. The 27 March 2003 Billy-Berclau accident: a technical and organisational investigation. American Institute of Chemical Engineers 39th Annual Loss Prevention Symposium AIChE 2005 Spring National Meeting, Atlanta, GA, 10–14 April 2005.
- Lemoigne, J.-L., 1994. La théorie du système général, théorie de la modélisation. 3^{ème} édition PUF (General system theory, modelling theory).
- Lemoigne, J.-L., 1999. La modélisation des systèmes complexes. DUNOD (The modelling of complex systems).
- Lemoigne, J.-L., 2003. Editoriaux du programme européen de modélisation de la complexité et de l'association pour la pensée complexe. Available from: <www.mcxapc.org> (Editoriales of european program for modelling complexity and of the society for complex thought).
- Leveson, N., 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science* 42 (4), 237–270.
- Llory, M., Dien, Y., Montmayeul, R., 2004. Organisational investigation methodology and lessons learned. *Journal of Hazardous Materials*.
- March, J.G., Simon, H., 1958. *Organizations*. John Wiley, New York.
- Mayo, E., 1945. *The Social Problem of an Industrial Civilization*. Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston.
- Meadows, D., 2002. Dancing with systems. *The System Thinker* 13 (2).
- Meyer, J., Rowan, B., 1977. Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony. *American Journal of Sociology* 83, 340–363.
- Miller, E.J., Rice, A.K., 1967. *Systems of Organisation*. Tavistock, London.
- Moray, N., 2000. Culture, politics and ergonomics. *Ergonomics* 43 (7), 858–868.
- Morin, E., 1973. La nature humaine, le paradigme perdu. Ed du seuil (coll point), Paris (The human nature, the lost paradigm).
- Morin, E., 1977. La méthode—tome I, La nature de la nature. Ed du seuil (coll point), Paris (The method—vol. I, the nature of nature).
- Morin, E., 1980. La méthode—tome II, La vie de la vie. Ed du seuil (coll point), Paris (The method—vol. II, the life of life).
- Morin, E., 1986. La méthode—tome III, La connaissance de la connaissance. Ed du seuil (coll point), Paris (The method—vol. III, the knowledge of knowledge).
- Morin, E., 1991. La méthode—tome IV, Les idées, leur habitat, leur vie, leur mœurs, leur organisation. Ed du seuil (coll point), Paris (The method—vol. IV, the ideas, their habitats, their life, their habits, their organisation).
- Morin, E., Lemoigne, J.L., 1999. L'intelligence de la complexité. L'Harmattan (The intelligence of complexity).
- Nonaka, I., Takeuchi, H., 1995. *The Knowledge Creating Company*. Oxford University Press, New York.
- OHSAS 18001, 1999. Occupational Health and Safety Assessments Series. BSI Standard Publications.
- OHSAS 18002, 2000. Occupational Health and Safety Management Systems—Guidelines for the implementation of OHSAS 18001.
- Øien, K., 2000. Risk control of offshore installations. A framework for the establishment of risk indicators. PhD thesis. NTNU report 200104, Trondheim.
- Perrow, C., 1984. *Normal Accident Theory, Living with High Risk Technology*. Basic Books, New York.
- Perrow, C., 1999. *Normal accident theory, living with high risk technology*, second ed. Basic Books, New York.
- Pfeffer, J., Salancik, G.R., 1978. *The External Control of Organizations*. Harper & Row, New York.
- Piotet, F., Sainsaulieu, R., 1996. *Méthode pour une sociologie de l'entreprise*. Presses de la fondation nationale des sciences politiques et ANACT (Method for a sociology of company).
- Prigogine, I., 1994. *Les lois du chaos*. Flammarion (The laws of chaos).
- Pugh, D.S., 1969. The context of organisational structures. *Administrative Science Quarterly* 14, 91–114.
- Rasmussen, J., 1986. *Information Processing and Human-Machine Interaction*. North-Holland, Amsterdam.
- Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science* 27 (2/3), 183–213.
- Rasmussen, J., 2000. Human factors in a dynamic information society: where are we heading? *Ergonomics* 43 (7), 869–879.
- Rasmussen, J., Svedung, I., 2000. Proactive risk management in a dynamic society. Swedish rescue service agency. Karlstad.
- Rasmussen, J., Svedung, I., 2002. Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents. *Safety Science* 40, 397–417.
- Reason, J., 1993. *L'erreur humaine*. Presse Universitaire de France, Collection Le Travail Humain.
- Reason, J., 1997. *Managing the risk of organisation accident*. Ashgate.

- Richter, A., Koch, C., 2004. Integration, differentiation and ambiguity in safety cultures. *Safety Science* 42 (8), 703–722.
- Roberts, K.H., 1990. Some characteristics of one type of high reliability in organisation. *Organisation Science* 1 (2), 160–176.
- Roberts, K.H., Desai, V.M., 2004. Regulators and regulatees: a system perspective on high reliability organisational performance, Seminar on the relationship between regulators and regulatees, Université de technologie de Compiègne, Paris, France, April 28.
- Rochlin, G.I., 1996. Reliable organisations: present research and future directions. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 4 (June).
- Rochlin, G.I., 1999. Safe operation as a social construct. *Ergonomics* 42 (11), 1549–1560.
- Rochlin, G., 2001. Les Organisations “Hautement Fiables”: Bilan et Perspectives de Recherche. In: Bourrier, M. (Ed.), *Organiser la Fiabilité*. Coll. Risques collectifs et situations de crise. Paris, l’Harmattan, 2001, pp. 24–58.
- Sarewitz, D., Pielke, R., 1999. Prediction in science and policy. *Technology in Society* 21, 121–133.
- Sagan, S.D., 1993. *The Limits of Safety*. Princeton University Press, Princeton.
- Scott, W.R., 2003. *Organization, Rational, Natural and Open Systems*, fifth ed. Prentice Hall.
- Selznick, P., 1949. *TVA and the Grass Roots*. University of California Press, Berkeley.
- Senge, P.M., 1990. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organisation*. Doubleday, New York.
- Snook, S.A., 2000. *Friendly Fire, The Accidental Shootdown of US Black Hawks Over Northern Irak*. Princeton University Press.
- Simon, H., 1996. *Les sciences de l’artificiel*. 3ème édition. Folio essai (The science of the artificial).
- Simon, H.A., 1997. *Administrative Behavior: A Study of Decision Making Processes in Administrative Organizations*, fourth ed. Free Press, New York (First published in 1945).
- Simon, H., 2000. Barriers and bounds to rationality. *Structural Change and Economic Dynamics* 11, 243–253.
- Stacey, R., 2003. *Strategic Management and Organisational Dynamics, The Challenge of Complexity*. Prentice Hall.
- Taylor, F.W., 1911. *The Principles of Scientific Management*. Harper, New York.
- Turner, B., 1978. *Made-man Disaster: The Failure of Foresight*. Butterworth-Heinmann.
- Tyler, L.E., 1983. *Thinking Creatively: A New Approach to Psychology and Individuals Lives*. Jossey-Bass, San Francisco.
- Vaughan, D., 1996. *The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA*. University of Chicago Press, Chicago.
- Vaughan, D., 1997. The trickle down effect: policy decisions, risky work and the challenger tragedy. *California Management Review* 39 (2).
- Vaughan, D., 1999. The dark side of organizations: mistake, misconduct, and disaster. *Annual Review of Sociology* 25, 271–305.
- Vaughan, D., 2004. Theorizing disaster: analogy, historical ethnography, and the challenger accident. *Ethnography* 5 (3), 313–345.
- Waring, A., 1996. Practical system thinking. Thompson learning.
- Waring, A., Glendon, A.I., 1998. *Managing risk, critical issues for survival and success into the 21st century*. Thompson learning.
- Weaver, W., 1948. Science and complexity. *American Scientist* 36, 356.
- Weber, M., 1968. In: Roth, G., Wittich, C. (Eds.), *Economy and Society: An Interpretative Sociology*, 2 vols. Bedminster Press, New York (First published in 1924).
- Weick, K.E., 1969. *The Social Psychology of Organizing*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Weick, K., 1979. *The Social Psychology of Organising*. Mc-Graw Hill.
- Weick, K., 1993. The collapse of sensemaking in organisation. *Administrative Science Quarterly* 38, 628–652.
- Weick, K., Sutcliff, K.M., Obstfeld, D., 1999. Organising for high reliability: processes of collective mindfulness. *Research in Organisational Behavior* 21, 81–123.
- Wheatley, M., 1999. *Leadership and the New Science, Discovering Order in a Chaotic World*, second ed. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco.
- Whyte, W.F., 1959. *Man and Organisation*. Richard D. Irwin, Homewood, IL.
- Williamson, O.E., 1975. *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*. Free Press, New York.
- Woodward, J., 1965. *Industrial Organisation: Theory and Practice*. Oxford University Press, New York.
- Zielhuis, K., 2001. Complex systems. *Nature* 410, 241–284.

Article 5

Le Coze, JC. A proposition of hybrid model of industrial safety. En cours de révision pour publication dans Safety Science.

Moving beyond the limits of safety audits (a proposition of hybrid model for industrial safety assessment)

-
Jean-christophe LE COZE

-
INERIS

Abstract

This paper presents the elaboration of a hybrid model of industrial safety which has been applied and developed during empirical researches and studies in different industries. Its purpose is to support industrial safety assessment by taking into account organisational dimensions. One of the main objectives of this endeavour is to try to move beyond traditional audits as practised in many industries in order to introduce insights from modern developments in safety, based on social sciences. One challenge faced is however to organise the related existing literature on safety and organisations in order to elaborate an operational model for this purpose. The first part of the paper deals with this issue. A historical approach is favoured, introducing four research traditions (safety management system, safety culture, high reliability organisations, accident investigations and models), and a classification scheme is produced to make sense of the diversity of traditions. In a second part, a model of industrial safety supporting assessment is introduced. It is elaborated through the articulation of two generic models, one from a sociological descriptive background and one from a normative managerial one.

1. Introduction

Certainly one of the most challenging tasks in safety science today is to develop ways of assessing safety with the scope and content of major accident investigations. This challenge is an empirical, methodological, theoretical and epistemological one (Le Coze, 2011). This paper deals more specifically with the theoretical aspect of this challenge. A recent event such as the Deep Water Horizon (2010) disaster demonstrates again the necessity to move beyond traditional methods and tools designed for assessing safety. Current and next generation of technological developments to come require enhanced abilities, both from states and private companies, to better anticipate technological, human, organisational and socio-cultural type of failures (Evan, Manion, 2003). For a long time, safety has been mainly assessed ‘technically’,

identifying accidental scenarios and evaluating the adequacy of technical strategies implemented to reduce their likelihood or mitigate their consequences through appropriate design. This approach was performed at the expense of other factors (human, organisational) that could not be easily fitted in the quantitative frameworks that these methods then implied, despite diverse sophisticated attempts to do so (Hollnagel, 1993, 1998). In the last thirty years, complementing the insights provided by ‘human factors’ scientists, ‘organisational factors’ scholars and practitioners have contributed to widen the scope of safety science.

In different research projects, studies and interventions aiming at introducing ‘organisational factors’, along with ‘technical and human factors’, in safety assessment, it had become apparent that a clarification was nevertheless necessary. I made such a claim and move in a earlier article, providing some directions (Le Coze, 2005). There was however still a need to go further and deeper in specifying an organisational model that would support this endeavour. Along with an introduction to the challenge of complexity for safety science, two main messages were contained in this previous paper. First, I stated that no framework was yet available to introduce and link explicitly several models of organisations, as often used in major accident investigations (but in hindsight). Secondly, I made explicit that, for coping with a world complexity producing rare events such as major accidents, it was time to complement, extend or replace traditional audits as performed in many high risk industries. There are some empirical works supporting this last claim. They do indicate either a cautious or a more radical position.

In a study raising the question of the impact of audits, Chaplin and Hale (1997) analysed the implementation of ISRS (International Safety Rating System) in a company of the petrochemical industry. Their conclusions were that *‘the ISRS system is quite clearly designed for organisations which are used to working with the paperwork systems typical of bureaucracies.(...) it would be less likely to work in organisations where there needs to be constant improvisation, or where the organisation is small enough not to need to commit everything to paper’* (Chaplin, Hale, 1998, 183). For these organisations in high risk contexts which need to rely on improvisation and adaptation to unforeseen events, these conclusions undermine some of the value of the auditing approach. But around the same time, outside the field of industrial safety, a much more critical orientation was found in Power’s book (1997). For this author, *‘standardized elements, such as the auditable management system (...) represent the rationalizing tendencies of audit to reproduce ever more formal auditable structure, regardless of demonstrable effectiveness’* or *‘Images of control over pollution and*

derivatives (...) get manufactured by an audit process which necessarily insulates itself from organizational complexity in order to make things auditable and to produce certificate of comfort'. (Power, 1997, 123, 140).

Applied to financial, medical and environmental activities, the picture depicted by Power is then much darker and radical than the one suggested by Chaplin and Hale. While they identify the problem of improvisation, Power does not hesitate to criticize further the result of framing everything under auditing principles (among which the drawback of *'paperwork'*, *'what audits really procure, other than working papers, is more opaque than is commonly admitted'* Power, 1997, 39). Although not grounded in the traditional high risk industries, many of Power's insights do echo with, for instance, what major accident investigations have revealed since many times. The BP Texas City accident is one recent example among others (CSB, 2007, Hopkins, 2008) for which many organisational problems were without any doubt in the background of the disaster but never described in a systematic and systemic manner beforehand, whether publicly or within the corporation itself where actions could have been taken.

These accidents do reveal again and again that *'individuals are infinitely more complex and adaptable than normalizing attempts to measure and control them; a substantive, messy rationality always reasserts itself over formal, technical rationality'* (Power, 1997, 120). Although, without any doubt, major contributors of improvement in safety over the years, as asserted by Chaplin and Hale, auditing practices can also therefore be criticised, as Power does, for clearly oversimplifying organisational complexities and misleading organisations in the appreciation of their own limits (Starbuck and al, 2005). Alternative views on organisations than audits, promoted by social scientists (i.e. psychologists, anthropologists, sociologists, political scientists) that have been produced so far, whether in hindsight or foresight, have rarely been *'operationalised'* for safety assessment purposes with the content and scope (or depth) of accident investigations. One reason is that they rely on very different conceptual and philosophical assumptions than audits.

One typical and central divergent assumption in comparison with audits is well described by Pidgeon *'While consultant and engineers seek answers which provides the 'best' solution to a risk management problem, social science is often ambivalent or even hostile to making either rapid or strong normative claims. This reflects a genuine epistemological concern with the conditional nature of our interpretation of events (...), as well as the very real difficulty of defining what should count as 'dysfunctional' in ill-structured risky environment'*. (Pidgeon,

1998, 204). This quote introduces the divide between descriptive and normative positions, a key issue for understanding the state of organisational contributions to safety science, across research traditions, up to now. This distinction will be fully exploited in this article in order to argue that it remains an inherent tension to any project aiming at producing alternative ways of assessing safety beyond the practices of audits, while relying on social sciences inputs.

1.2. Four research traditions

In order to produce an alternative to current audits and operational model for ‘organisational’ safety assessment reflecting scope and content of accident investigations, a development, based on the literature, was consequently felt necessary. Indeed, the last two or three decades of research and practice both in safety and accident investigation (or models) provide many empirical and theoretical insights. However, no ‘synthesis’ is today available to incorporate data from this range of insights for operational purposes, although clearly one never starts without a theory in mind. A different option is indeed to present instead the various accident and safety models and to stress their specificity and diversity (Rosness et al, 2004). A more recent strategy is to attempt to combine them into a unique model (Shrivastava et al, 2009).

This last perspective is certainly more likely to suffer criticisms considering for example that incompatibilities make these different models incommensurable and that what they need is empirical support (Perrow, 2009), not a grand theoretical and unifying paradigm quest. The proposition made here does not present itself as a grand theory unifying different models but positions itself instead as a framework using compatible insights from different research traditions for providing alternative ways of assessing safety in normal operation (not in hindsight), compared to traditional audits, based on what scope and content of major accident investigations. In order to do so, in a first section, a historical and ‘genealogical’ approach of different research traditions is introduced and interpreted in the perspective of this objective.

When it comes to organisational safety, four traditions of empirical and theoretical researches can be distinguished: safety management system (SMS), safety culture (SC), high reliability organisations (HRO) and accident investigations and models (AIM)¹. Each of these research traditions has its own history, a degree of autonomy but also a diversity of studies and evolutions within their own boundaries. In the next part, a presentation of each is proposed,

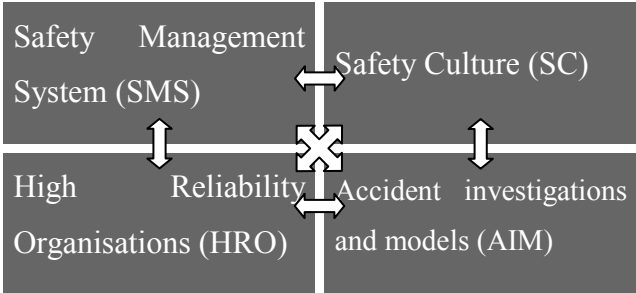
¹ The resilience engineering approach (Hollnagel et al, 2006) is not included in this study. Although a promising field, it seems a little too early to identify stabilised concepts and/or trends given the body of theoretical and empirical works available in this area so far, when it comes to organisational dimensions.

keeping the descriptive and normative distinctions as one central ‘red line’ across sections. The logic that has been applied for this is:

- firstly to provide a short introduction to the research traditions,
- secondly, a part dedicated to what is retained as their key outcomes,
- thirdly, recent evolutions and/or debates within these research tradition selected for the paper.

Previous attempts have been made to try to combine, to connect or simply to discuss some of these traditions together (for example safety management system with safety culture, or safety culture with high reliability organisations studies). Some of these will be discussed in a separate section, after the presentation of the research traditions. Table 1 illustrates this and (potential) connections between the traditions are represented by arrows.

Table 1: Four research traditions



2. Safety management system (SMS)

2.1. Introduction to the research tradition

The historical background of the ‘safety management system’ research tradition has been reviewed, for instance, by Hale (1985), Hale et al (1991), and more extensively in Hale et al (1997). It includes empirical and conceptualised knowledge from industrial and consulting practices (i.e. Petersen, 1988a and 1988b), guidance promoted by control authorities (i.e. Health and Safety Executive - HSE in UK), standards from international bodies across industries (i.e. International Standard Organisation – ISO, with strong quality management influences) or entities in a specific industrial domain (International Atomic Energy Agency – IAEA for the nuclear industry). All these many identified sources demonstrate a very important activity around this tradition, reflecting the existence of a great body of knowledge. Its roots can be located in the quality movement. However, although soundly based on (more or less) shared experiences between different high risk industries, consulting companies and

control authorities, the field has remained for quite some time, according to Hale, without established ‘foundations’. The conclusion of these reviews was therefore that *“There have been few attempts to produce coherent and comprehensive models of an SMS (...) There is a need for a framework to represent the complexity and dynamics in this area”* (Hale et al, 1997, 124). The developments of Hale who has been one of the main promoter, from an academic point of view, of this research tradition in the following years, help identifying the key outcomes as well as current developments and debates in this research tradition.

2.2. Key outcomes

One way to find an answer to this lack of sound foundation consists in identifying and linking together a number of safety related activities (or functions) that companies should implement for managing safety, based on functional type of decomposition. One approach is to represent them in a graphical way. It is translated into a management and normative perspective, meant at making more explicit a model for action purposes, such as safety auditing and design of organisation: *“Its objective is to provide a systematic and complete description of what elements should be present in an SMS and how they should be related to each other (...) The framework therefore aims to provide the basis for assessing or improving an existing SMS and for designing a new one from scratch”* (Hale and al, 1997, 125). The program of this research tradition can be defined as the conceptualisation of an ideal model against which organisations can be compared to and assessed. Gaps between the ideal model and reality of practices as perceived reveal rooms for improvements but reveal as well a certain level of safety.

As indicated, an influential approach in this research tradition relies on graphic representations, linking activities together through boxes and arrows, indicating inputs and outputs, in the spirit of process descriptions of organisations but also in the spirit of a branch of cognitive sciences that some have described as *“boxology”* (i.e. Andler, 2002). Hale’s contribution (i.e. Hale, 1999, 2003a) in different industrial domains (i.e. chemical industry, aviation or railway) integrates a number of activities such as risk analysis, management of change, auditing, maintenance and inspection, training, learning from experience (figure 1) relying on principles *“delivery systems”* including issues like communication and coordination, conflict resolution, involvement etc (these are not represented in figure 1 but included in others, available in Hale, 2003a).

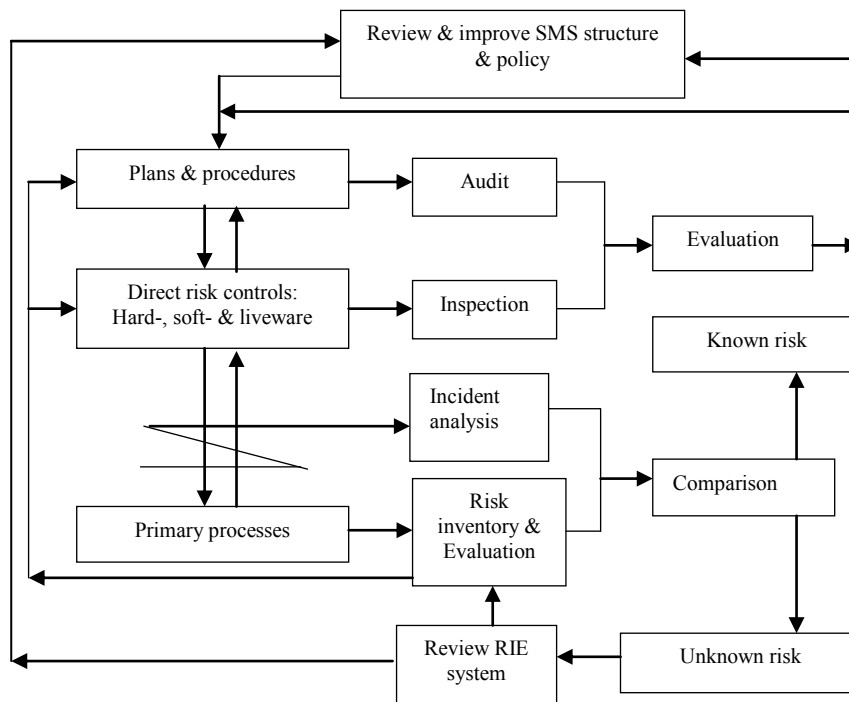


Figure 1: Example of safety management system model (from Hale, 2003)

It is through the implementation and monitoring of all these activities (or functions) that an organisation can be said to create and maintain safety. It points to a global feedback-feed forward loop based on the design of an interrelationship between specific safety activities or functions. Safety is an outcome of the quality of this global loop. An audit is based on the state of the relationship between all the activities that are combined together to create the control loop. This cybernetic principle applied to safety management has been well captured by Hutter and Power (2005, 2) *‘The ideal typical concept of risk management is often represented as cybernetics in form, involving the sequential collection of information about these environmental uncertainties, the formulation of policy, the making of decisions and the processing of feedback from implementation processes’*. (Hutter and Power, 2005, p 2).

The general features of this representation are to be translated in the specifics of the organisation, in terms of roles and responsibility, resources (time, personnel, skills) and methods dedicated to the specific management tools and methods designed for each activity at the execution, the plans and procedure and the system levels. *‘The framework gives a normative statement about the way in which a SMS should be structured and should operate (...) For example, it prescribes that specific problem solving tasks should be carried out to control hazards, but it does not specify who in the company should perform them.’* (Hale et al, 1997, 133).

2.3. Recent evolutions and/or debates

Recent developments in this safety management research tradition have attempted theoretically and empirically to establish links with technology through safety barriers (Hale, 2003b, Hale et al, 2006) and with other organisational dimensions such as (safety) cultural ones (i.e. Hale, 2000, 2003a). Culture indeed brings in key concepts as attitudes, beliefs, norms, values, lacking in safety management systems treating rather functional and/or structural dimensions (Hale, 2003a). It will be however treated as a separated topic, as safety culture research covers a rather wide scope of works not always automatically connected with safety management system research. It is actually only one among other possible connections (see table 1). Approaching safety management system modelling with the help of barriers offers a very useful tool for describing and assessing risks in installations (but also for investigating accidents). It offers a clarified link for safety management models; with technology. Early, Johnson (1973) in the area of accident investigation offered definitions of safety barriers and more recently, some refinements have been made available (Hale, 2003b, Hollnagel, 2004, Sklet, 2006, Larms Ringdahl, 2009). Definitions of barriers include decomposition between passive and active barriers, hardware, software and human tasks for avoiding, preventing, controlling and protecting targets from hazardous phenomena².

A combination of barriers is often found for a scenario of a specific accident to be prevented. Their evaluation can integrate different aspects such as effectiveness, independence, redundancy, response time leading to estimate a level of confidence. The interest of a focus on technical and human barriers, is, that instead of having safety management activities applying in a generic manner across an entire organisation, there exists with this intent a tight connection with major hazard prevention. The relevance of this link is now not much debated as disasters studies demonstrated that a focus on occupational health and safety indicators did not provide reliable data for process safety (i.e. Hopkins, 2000). A focus on barriers designed for disaster prevention is a more reliable candidate. The consequence for auditing is also very clear: it must be demonstrated that safety management activities provide the necessary

² A very famous safety barriers representation is Reason's one (1990), known as "Swiss cheese" model (a history of the genesis of the model in the last 20 years is provided in Reason, 2008, p 95-103). This representation captures and illustrates the core idea that hazardous installations are built on principle of defence in depth (another term for safety barriers). Accidents result from holes that align together to create a path throughout barriers. However, whereas barriers in the works introduced in this section of the paper apply at a local level (namely to hardware, software or human tasks spatially and temporally close to technological accident sequences), Reason's simplified model encompasses much wider issues and classifies as barriers anything from technology to safety management activities. Although an extremely powerful tool for practitioners, it does not specify the organisational model behind the "slices" of the representation. Therefore, users implicitly introduce themselves their own models.

resources for choosing appropriate barriers and maintaining them as initially designed, or updated to new configurations.

3. Safety culture (SC)

3.1. Introduction to the research tradition

‘Safety culture’ is very often referred to as a concept introduced by accident investigation reports. For instance, *the term ‘safety culture’ first came to prominence as a result of the International Atomic Energy Agency’s (IAEA) report on the Chernobyl nuclear accident (...) since then it has been discussed in other major accident enquiries and analyses of safety failures, such as Piper Alpha oil platform explosion in the North Sea and the Clapham Junction rail disaster in London. In both cases the public inquiry report argued that a poor safety culture within the operating company was an important determinant of the accident’* (Flin, Cox, 1998, p 190). The notion of ‘culture’ has been a core concept in social sciences, particularly in anthropology, for quite some time. In the eighties, at the time of these accident investigations (i.e. Tchernobyl, 1986), it had already migrated from anthropology (or sociology) to organisational studies (Smircich, 1983). This is most likely the reason why this expression was then coined by investigators in the context of these accidents. It was in the air. But while it made a kind of ‘common sense’ for these investigations that something like a problem of (or a bad) ‘safety culture’ contributed to the genesis of the events, translating it concretely into normal operation has proved to be rather daunting.

The translation of the concept of culture into organisational studies broadly reflected two competing (or complementary) growing bodies of researches in this field, one with (normative) managerial purposes and the other with (descriptive) neutral (or sometimes ‘critical’) objectives. This distinction was clearly at the heart of the proposition of Smircich in a paper that provided a very influential overview. She concluded her paper with these words *‘By considering together all research efforts stemming from the linking of culture and organization, the differences in interests and purposes pursued by organisation scholars are emphasized. Some researchers give high priority to the principles of prediction, generalizability, causality, and control; while others are concerned by what appear to them to be more fundamental issues of meaning and the processes by which organizational life is possible’* (Smircich, 1983, 354). She took great care though not to reject any of them by stating that *‘each of these five represents a viable model of inquiry’* because *‘when we question whether or not a ‘cultural framework’ is a useful one, we need to ask more precisely ‘useful for whom and for what purpose?’* (Smircich, 1983, 342, 354). Subsequently, many

syntheses on organisational culture, for instance Martin (1992, 2003) or Alvesson (1993, 2002), refined this basic distinction. The former developed a three dimensional model (distinguishing integration, differentiation, fragmentation) when the latter borrowed the principle of images (or metaphors) of organisation culture, a principle applied previously successfully and more generally to organisations by Morgan (1980, 1986). However, the initial input by Smircich has remained a standard. This broad dual distinction is reflected in the safety culture research tradition, retaining on the basis of Morgan & Burell (1985), often instead the expressions of functional (associated here with managerial or normative) versus interpretive (for neutral, descriptive or more critical) approaches of SC.

3.2. Key outcomes

Behind the choice of the notion of safety culture by authors of accidents reports, one purpose was without any doubt to target the subjective dimensions of organisations, against the mechanistic, rational or objective views. Individual behaviours within organisational contexts are indeed far from being rational. This was one of the first significant contributions of the founding fathers of the sociology of organisation to oppose then to these ideas framed by Taylor and Weber. For instance, natural (Gouldner, 1959) or informal (Selznick, 1948) views as opposed respectively to rational and formal ones, allowed these authors to introduce more realistic accounts of organisational life, relying on seminal empirical case studies (i.e. Gouldner, 1954). Of course, translated into safety issues following major accidents, it became the problem of being able to better understand and/or to ensure (or guarantee) that this informal or natural aspect produced by individuals adapting to local and contextual circumstances within organisations would not threaten safety. Doing the right thing in the mind of many would mean following procedures (or behaving as cleverly as possible according to them), and it would also include topics such as taking time to think about what one is doing, being committed to safety, being supported with proper management commitment, leadership and communication, etc.

Based on the analysis of articles produced in the past ten years (Pidgeon, 1998, Reason, 1998, Flin, Cox, 1998, Gherardi et al, 1998, Hale, 2000, Gundelmund, 2000, Glendon & Stanton, 2000, Richter & Koch, 2004, Hopkins, 2006, Hudson, 2007, Haukelid, 2008, Antonsen, 2009), and without excessive simplification, a basic layered model of interactions between attitudes, beliefs, norms and values of SC can be retained here as a widely shared basic theoretical outcome of SC. In this simplified model, it is conceptualised that individual's behaviours (operators and/or managers) are determined by their attitudes, beliefs, norms and

values. If one could understand, or even better, influence them, it could lead to higher level of prediction, thus of control and consequently as a result also, to higher safety. From this simplified layered model, two options have been and are still today broadly deployed, consistently with the dual distinction brought by Smircich, between a managerial (normative) orientation and a more neutral (descriptive) one. Leaving behind, because of the qualitative orientation of this paper, the psychometric approach relying on quantitative and questionnaires methodologies of safety culture (or climate), the next paragraphs comment the ethnographic side of the SC tradition (inspired by practices of anthropology, sociology) as well as its managerial side.

3.2.1. The managerial (or normative) angle

The first option is perfectly illustrated by Hudson's several years of experience in collaborating with Shell (Hudson, 2007). His involvement in trying to engineer (this is another word for describing this managerial option, see Reason, 1997, 1998 for the definition of this 'social engineering' program) safety culture has reinforced his vision of the need for establishing useful models for influencing practices. *There is an advantage to well-grounded scientific theories and, at the same time, there is a problem with academics (...) Fine distinctions of theory, the daily fare of the fundamental scientist at the cutting edge, are too fragile to base a system on if that system is to work (...) If an approach does not work in the long run there will a lot of problems created, including the believability of the academic world'* (Hudson, 2007, p719). Therefore for Hudson, safety culture can be engineered from top to bottom if supported by appropriate and specifically designed tools in order to motivate participation of employees. The outcome of this process is ranked at the level of a specific plant (or site) according to a scale from pathological (bad) to generative (good) safety culture. This 'culture ladder' associated with tangible criteria elaborated specifically for this purpose (Parker, Lawrie, Hudson, 2006) enables organisations within the group, to locate themselves to see how to improve or maintain their good safety culture. In what could be identified in this example as a '(total) social engineering experiment' on a very large scale³, it is implied, therefore, in a sense, that 'attitudes', 'beliefs', 'norms' and 'values' can be successfully shaped by the overall framework designed and promoted by the company's staff dedicated to safety issues, with the support of active and convinced employees at all level within (and outside, i.e. contractors) the organisation.

³ As it is indicated *This would have to be applied worldwide with a work force totalling many more than 100,000 individuals, up to 250,000 when contractors are taken into account'* (Hudson, 2007, 705).

3.2.2. The descriptive orientation

The second option is well exemplified by Richter and Koch (2004) and further discussed for instance by Haukelid (2008). These authors provide an alternative perspective to the monolithic, ‘designed from the top’ and managerial one. The first sidestep that they make, joined in this position by Hopkins (2006), is to consider dubious the theoretical and empirical efforts made to distinguish an independent ‘safety culture’, standing on its own, extracted from an organisational context. It would seem more appropriate in this view to identify the aspects of organisational culture(s) that have an impact on safety. In this respect, for Hopkins, culture(s) of ‘silos’, of ‘rules’, of ‘on time running’ and ‘risk blind’ combined together within a railway organisation, to produce the conditions of the train crash that he interpreted (Hopkins, 2005, chapter 2). Although he finds a link in hindsight, he also warns about the difficulty to translate it to the assessment of safety *‘Where research does not take place in the context of an accident investigation, the impact of elements of organisational culture on safety will be more difficult to demonstrate’* (Hopkins, 2006, p 887).

The contribution of all these authors in this second option is to suggest a high sensitivity to the subtleties of organisational cultures and their many manifestations on safety. Rather than seeing a ‘safety culture’ as a global phenomenon covering every aspects of an organisation, sensitivity to differences between distinctive groups representing for example, occupations, professions or functions, is strongly advised, as an alternative approach. Such an example has been reported by Antonsen (2009a) in an empirical study of occupational cultures of sailors, a very much orally and ‘hands on’ regulated work environment, confronted to the attempt of the company management to proceduralise their activities. In this second option therefore, ‘attitude’, ‘beliefs’, ‘norms’ and ‘values’ which influence behaviours are products of interactions between individuals that can’t be neither fully predicted, neither entirely shaped by managers, and must be approached from a description of real practices in order to be justified as valid description of phenomena.

3.3. Recent evolutions and/or debates

This last study is interesting as it introduces recent developments about the relationship between (safety) culture and power (Le Coze, 2008a, Antonsen, 2009b). These authors are interested in better understanding how power is analytically distinguished but also interrelated with (safety) culture. Although power is a cornerstone social science concept, this topic has been underestimated in previous empirical studies in this field. They also both start with Perrow’s critics of the cultural rationale behind Vaughan’s normalisation of deviance *—We*

miss a great deal when we substitute culture for power” (Perrow, 1999, p 380). Perrow indeed, with a sociological and critical orientation, defended the interpretation that NASA’s manager’s exerted strong pressures on their subcontractors during the debates that led to the loss of the shuttle. It was not for Perrow, a *normalisation of deviance*’ (Vaughan, 1996) which favoured a *social construction of risk*’ type of interpretation, but *sheer power*’. The conclusions of Le Coze and Antonsen, although based on slightly different theoretical background but also case studies (respectively BP Texas City and Challenger), is that it is useful to differentiate the two concepts, as they are very much intertwined. This depends on the sociological angle that is favoured about the relationship between power and culture.

For example, cultural-cognitive frameworks stressing the institutional (Scott, 2003) external influences (i.e. engineering profession, namely the way engineers have been trained and socialised through education, universities then companies,) can constraint organisations and therefore be seen as a kind of broad and external (as well as highly implicit) source of power. But power through individual leadership also shapes internally cultural traits of organisations or parts of organisations (i.e. a company founder or a charismatic group leader, Von Braun in the case of NASA for example) whereas group cultures can also resist or challenge to a certain extent managerial discourses and representations (as for work cultures resisting to proceduralisation, as described in Antonsen, 2009a). The power of *elites*’, from the private or public sectors, can also decide the fate of entire organisations according to their strategic choices. There is therefore a range of internal and external sources of both power and culture. Reducing an accident (and conversely safety) to either culture or power would be therefore a simplification. This is what Weick argues (Weick, 2004, 31) –*Culture and power are not opposed explanations, but rather that culture shapes the way for power, defines power, is shaped by power, masks power, embodies power.*”

4. High Reliability Organisations (HRO)

4.1. Introduction to the research tradition

What has been labelled as high reliable organisation (HRO) is an empirical and theoretical research tradition launched by scholars in the mid-eighties. These researchers decided to better understand the specificity of what was seen as technically and organisationally complex high risk systems which were considered as performing with a high level of success. Aviation, army and nuclear organisations were then investigated by a multidisciplinary team representing a multi disciplinary mix of psychological, engineering, political and organisational backgrounds. Historically, La Porte’s paper of 1981 is probably one of the first

input to the definition of the core programme of these studies (La Porte, 1981). Written in the aftermath of the Three Miles Island incident in 1978, as part of a book devoted to various social sciences insights on the case (Sills, 1982), he already stated then what became the key problem of organisations such as a nuclear power plant, namely the constraint of *‘nearly error-free’* operations.

As the members of these organisations cannot afford to experiment in full scale scenarios leading to major disasters in order to learn from them, they are bound to learn within the constraints of very limited feedbacks. *‘Improvement is impossible: the severity of consequences renders errors useless as a basis for improvement.’* (La Porte, 1981, 188) Any relevant information deserves full attention and the ability to be entirely exploited in case it would reveal weaknesses that could threaten the level of safety. How do a complex socio technical systems maintain such successful *‘nearly error-free’* operations is a question that justifies spending time and resources, and introduces the core programme of this research tradition. *‘When risks regarded as wholly unacceptable are associated with the wide use of a technology rich in benefits, what is required to ensure extraordinarily reliable and safe operation if the technology continues to be deployed?’* (La Porte, 1981, 185). It is interesting to note that Perrow in the same book also put the first ideas which expanded into the normal accident theory three years later (Perrow, 1981).

4.2. Key outcomes

A series of articles in the end of the eighties and the beginning of the nineties widely referred to within the safety literature provide most of the responses offered by the group to La Porte’s question (Roberts, Rochlin, La Porte 1987, Weick, 1987, La Porte & Consolini, 1991, Roberts, 1993, Rochlin, 1993, Schulman, 1993). Some features have been described: organisational redundancy, learning based on *‘requisite variety’*, socialisation of members through organisational cultures of *‘safety as a priority’* and *‘sensitivity to failures’* as well as self-organising properties of teams successfully adapting, through different regimes (normal, high tempo, emergency) to the variability of encountered situations. From there, a second wave of HRO empirical studies in the nuclear industry also explored *‘normal operations’* of plants in the following years. Bourrier (1998, 1999, 2001), a sociologist, showed by focusing on maintenance operations, how plants in France and US responded with different organisational designs to similar problems, creating their own advantages and constraints. She observed differences in interactions between operators and engineers

regarding the implementation of rules, without nevertheless associating those with the divergence of national cultures between the two countries.

Instead, she demonstrates that it is the different organisational designs or structures rather than cultural differences that explain the strategies of actors over implementation of procedures. These strategies involve power relationships between fieldworkers and engineers (designers), in the tradition of Crozier's analysis of bureaucracy (Crozier, 1963, Crozier, Friedberg, 1977). One of her conclusion is to remain cautious about any normative statements that could be inferred about these different models, about one more reliable than the other. Perin (2004), a cultural anthropologist, identifies three logics of control through her ethnographic analysis of several incidents in nuclear power plants: calculated safety (designers estimating risks), real time logic (operators handling risks) and policy logic (managers making tradeoffs). These different logics participate in creating much of the *tradeoff quandaries* met by actors of organisations such as nuclear power plants. Bourrier and Perrin are both very cautious about not establishing criteria of high reliable organisations, in the words of Rochlin (1993) these organisations are *high reliability seeking* instead. However, other works within this tradition have contained some normative tendencies which turned into managerial purposes.

4.2. Recent evolutions and/or debates

Thus, in a less empirical fashion, the model of *collective mindfulness* developed by Weick et al. (1999), Weick and Sutcliffe (2001) is one of this development clearly offering a normative model. It has subsequently been praised by an author such as Hopkins (2009) as a powerful ideal yardstick for companies to try to comply with. *Weick has reconceptualised HRO as mindful organisations. This is a useful change of terminology since it gets away from questions of just how safe an organisation has to be before it can be considered an HRO, and it highlights instead what an organisation needs to do in order to reach the required end state* (Hopkins, 2009, 9). In this model, properties such as preoccupation with failures rather than successes, reluctance to simplify, sensitivity to operations, commitment to resilience, deference to expertise, contribute to ensure highly reliable performances. Following these precepts should help companies to reach the desired state of highly reliability. Weick and Sutcliff elaborated a self-questionnaire for organisations in order to assess themselves, based on a *check list* decomposing the features in key statements attributed to high reliable organisations (i.e. *questioning is encouraged*, *we make it hard for people to hide mistakes of any kind*).

For Hopkins *‘Above all else, HRO’s are learning organisations’* (Hopkins, 2009, 14). This side of the research tradition tends to show a managerial face, whereas originally, the position within this research tradition was a careful one on this issue. Rochlin illustrates it well *‘While the present study does not and cannot present recipes for designing organizations in such way that they can operate safely and reliably, it does at least address some criteria which, if not present in an organisation’s form or design, make it unlikely that it will in fact perform at a high level over long periods of time’* (Rochlin, 1993, 13). Few years later, he confirmed his statement *‘for the present purpose, it is more appropriate to continue to be descriptive, to focus attention on organizations that are broadly and generally considered to be safe (in some cases remarkably and even surprisingly so)’* Rochlin (1999, 1552). La Porte also establishes an interesting distinction between theory and practice, *‘researchers in this field assert that identification of the characteristics of highly reliable organisations is not the same thing as knowing as to make them so’* La Porte (2006, 151).

5. Accident models and investigations

5.1. Introduction to the research tradition

The history of investigating organisational dimensions of accidents is at least thirty years old. In the seventies, Turner (1978) was able to analyse more than eighty cases of accident investigations reports in order to elaborate what he called the *‘incubation model’* of disaster. Turner illustrates then at this occasion an empirical and social science mode of research, favouring the study of many different cases in search of patterns likely to be shared between them. This strategy has offered one of the most fruitful concepts for investigators willing to probe deeply into the failures of socio technical systems. This model is based on the principles that information is available before accidents but not treated by individuals, within organisations, beforehand. Turner’s theorising input will be followed few years later by Perrow, who looked into accidents from a much more structural or technological angle (Perrow, 1984).

Around the same time, with M.O.R.T (Management Oversight and Risk Tree), Johnson (1973) was probably one of the first to collect a great number of safety practices identified throughout several industries and to coherently integrate them into an investigative framework, coupled with principles of barriers. The model serves as a basis for systematic questioning of incidents or accidents. Applying the model in retrospect shows, according to its elements, gaps between what could have been expected given good practices, and what is observed in hindsight. The use of this model is therefore directly associated with

recommendations. It is also in the seventies and eighties that major accidents investigations reports are produced (Kemeny, 1979, Challenger, 1986). The shared programme of these different normative and/or descriptive works is to explain how local technical failures and human ‘errors’ are the product of macro levels of decisions including design and management of operations. These failures and ‘errors’ are therefore starting points of investigations, not the end result.

5.2. Key outcomes

The interest of this research tradition is the depth and the quality of data available regarding the link between technological scenarios, human errors, organisational, social, political and economical dimensions. First, the depth. Because of administrative and social pressures following these disruptive events, organisations very often have to cooperate to answer questions about matters usually not openly debated, including top managers or board of directors’ decision making processes. It is not surprising as a consequence to read about the BP Texas City accident that *‘What is remarkable about this case is the amount of information that has come to light on the causes of the accident; most importantly, information about the internal working of the corporation’* Hopkins (2008, 1). Secondly, the content. With these investigations, there is usually no problem for investigators to demonstrate (in favour of hindsight) what will always remain a missing link for researches studying normal operations (foresight). By starting with establishing the technological causes of an event, it is possible to go back to multiple decisions at different levels of organisations, within and outside formal boundaries of the primary organisation involved. As a consequence, the interesting outcome of this research tradition is the ability to link together a vast range of data about interactions between technology, operators, engineers, managers, executives, subcontractors, regulators etc.

5.3. Evolutions and/or recent debates

In the past years, the scope of these investigations has kept on expanding, including organisations within their environment (Le Coze, 2008, 2010a). This move can be seen in social scientists contributions (Vaughan, 1996, Snook, 2000, Starbuck et al, 2005, Hopkins, 2008), accident investigations reports (Ladbroke Grove, 1999, Columbia accident investigation board, 2003) but also in normative models (Leveson, 2004). One noticeable outcome is, among sociological contributions to the study of disasters, Vaughan’s attempt to outline the basics of a generic proposition of what is described as the ‘dark side of organisations’ (Vaughan, 1999). This model is grounded in empirical case studies conducted

by the author, first a misconduct (Vaughan, 1983) and secondly, the Challenger explosion (Vaughan, 1996, 1997). They are both associated to shape a theoretical proposition about deviancies in organisations (errors, misconducts, disasters). The interest of the proposition is its ability to encompass and link key dimensions together. The principle that one needs to combine together and dynamically micro-meso-macro levels makes it extremely relevant as general principle.

Thus, in her analysis of the Challenger's explosion (on which the 'dark side' model is built), Vaughan (1996) elaborates on the effects of the production of a culture, a culture of production and structural secrecy that generated a normalisation of deviance. Looking at the conditions that historically contributed in shaping the context of the launch decision, she investigated at three levels, a macro level (the environment of Nasa), a meso level (Nasa's organisation) and a micro level (cognition of individuals) (Vaughan, 1999). Doing so allowed her to exemplify the systemic trend behind this failure of foresight. She joins internal cultural dimensions, for instance Nasa's local "can do" culture inherited in the course of the Apollo era through the influence of a leader such as Von Braun (but also fashioned by wider external institutional influences like the engineering profession) with external power dimensions such as Congress budgetary constraints converted by Nasa's top managers into a new commercial strategy (replacing the previous research and development scheme). This model is therefore the first attempt at producing a generic one with this clear micro-meso-macro systemic principle, beyond the specifics of unique cases. This model has again proved its usefulness when applied a second time for the Columbia accident, where its core features were mobilised for interpreting a similar pattern between the two cases (Vaughan, 2003, 2005).

6. Combining research traditions

6.1. Making sense of a diversity of research traditions

This presentation of the different research traditions introduces specific purposes, disciplines, practices and also industries investigated. This variety of works defies any possibility of creating a unique coherent synthesis of them all. This would certainly make no sense. But there are however possibilities of combining some of the works of these different traditions, when one specifies under which conditions, and for what specific purposes. Some of them offer compatible basic features for the purpose of going beyond current safety audits while reflecting accident investigation findings, as it will be suggested.

As a first step, one way of representing coherently the diversity of traditions consists in distinguishing their normative or descriptive orientation. It has been indeed shown that this distinction was a common feature across them. To refine this first distinction, their scope can also be introduced, more specifically whether the tradition introduces explicitly or not macro dimensions (environmental-macro influences on organisations), beyond meso (organisational) levels. Finally, the research traditions can be differentiated between normal operation studies and investigation of accidents. When one applies these three categories, the following picture can be drawn (figure 2).

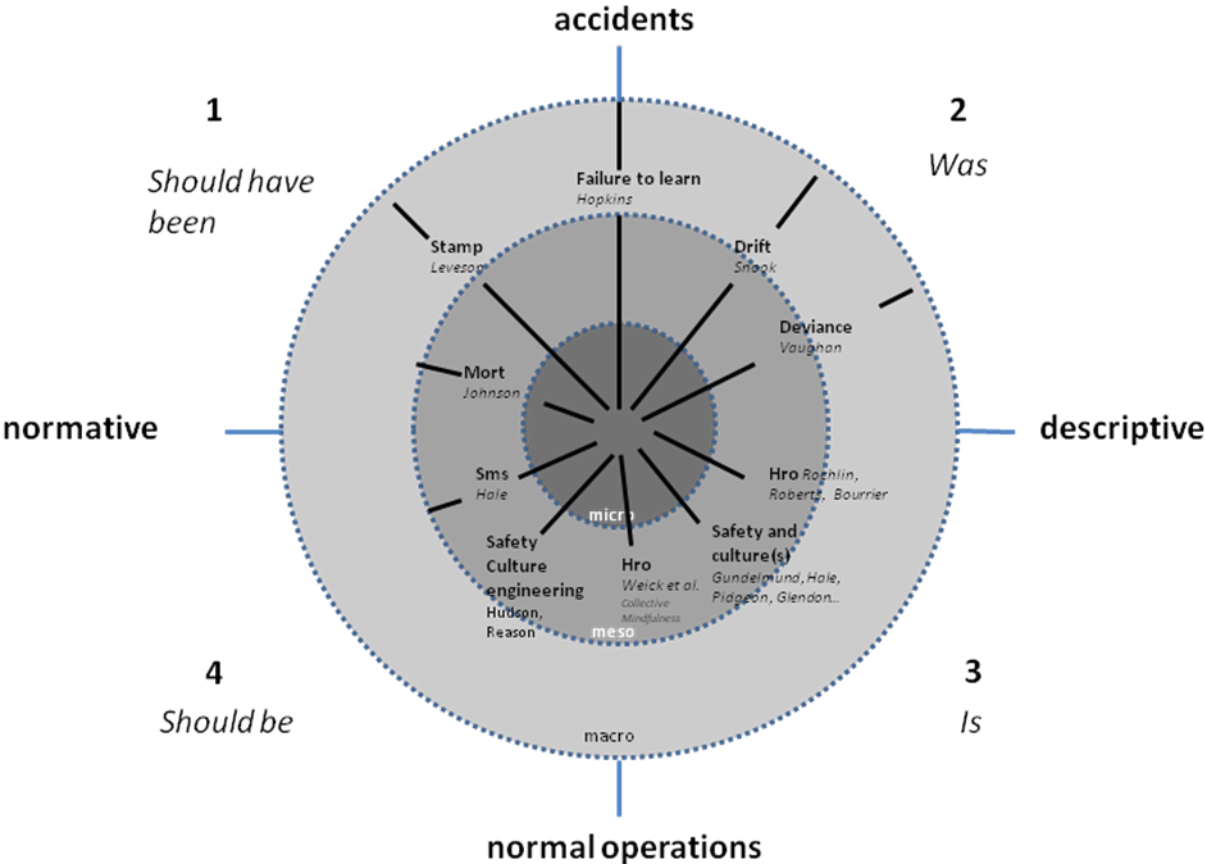


Figure 2: Four traditions organised according to three dimensions.

When normative and about accidents, models indicate what *‘should have been’* (1) for the accident not to happen. When being descriptive and about accidents, models are about what *‘was’* (2) before the events. When about normal operation and with descriptive purposes, models are concerned with what *‘is’* (3), and concerned with what *‘should be’* (4) when normative and designed for normal operations. This structure indicates a certain number of things. Based on these distinctions, one can indeed locate different works. For instance, HRO empirical studies are descriptions of normal operations in industries presented as successful,

so rather about what *–is*” and at a meso level. But, as mentioned, there are also HRO related works that contain normative principles (*‘collective mindfulness*’, Weick et al, 2001) thus moving closer to the *–should be*” area of the figure. This move is indeed very tempting, once features of what is considered safe (or highly reliable) organisations have been described, they can in principle become good examples to follow, and transformed into normative characteristics to be compared with (see Hopkins argument in section 4).

Let’s take another example. For some authors, *‘safety culture*’ can be defined as something to be engineered (through leadership supported by appropriate tools) and ranked according to, for instance, a scale from pathological (bad) to generative (good) safety culture (Hudson, 2007). In order to do so, a normative framework is defined, describing what *‘should be*’ in normal operations. Some methods (for assessing and then implementing) are devised for this objective. It illustrates well the *‘functionalist*’ or *‘engineering*’ perspective of researches on safety culture. Now, as written in section 3, there are also works on the safety cultural dimensions, with more descriptive orientation, about what *–is*”. These studies raise doubts about the possibility of talking of a unitary or monolithic *‘safety culture*’, and advocate instead a view of safety as parts of organisational cultures without trying to discriminate between good or bad one(s).

A last example is presented with Hopkins (2000). In this analysis, he is half way between a description and the suggestion of recommendations by comparing the findings with known good practices in the field of safety, from either the same or different industries but also academic models (i.e. collective mindfulness). The practices could inspire the company which suffered the accident to implement some of them to improve. He is therefore quite close to the *‘should have been*’ (1), while remaining descriptive about what *‘was*’, thanks to a strong sociological anchoring (2). He takes a bit of both worlds, a trade-off between the two positions (this is also often the aim of major accident commissions, Le Coze, 2008b). One can see from here, how other examples of works have been classified, and there is no need to carry on with all of them, as the principle should be clear by now.

6.2. Some examples

One interest of this figure is to allow a different view about the research traditions than the genealogical and rather linear approach afforded initially with sections 2 to 5. It visualises them all together, showing what differentiates them. But it also calls for links between some works across the boundaries of these research traditions. In fact, in the past twenty years, many authors discussed or attempted to combine (more often from a conceptual point of view

rather than from an empirical one), some of these traditions. Here are some examples of two, among others. They are selected as they illustrate two different ‘combining’ strategies.

The first one is the proposal of Pidgeon’s who identifies the challenges of a consistent use of ‘safety culture’ as an analytical category. *‘The present paper is motivated, however, by the observation (...) that, some 10 years on from Chernobyl, the existing empirical attempts to study safety culture and its relationship to organizational outcomes have remained unsystematic, fragmented, and in particular underspecified in theoretical terms.’* (Pidgeon, 1998, 203). Based on experiences in accident investigation and risk assessment studies in collaborative and multidisciplinary team (engineering, psychology and sociology, see Pidgeon, et al, 1986) as well as strongly influenced by Turner’s framework (Turner, 1978), he sketches relations between works. In particular, he shows the relevance of connecting studies conducted in hindsight (Turner, 1978, Perrow, 1984, Sagan, 1993, Vaughan, 1996) and foresight (for example HRO, Roberts, 1993 but also on resilience, Wildavsky, 1988), instead of separating them. It is a conceptual proposition which is very much grounded in descriptively oriented empirical contributions. He criticises indeed the normative and narrow focused literature on ‘safety culture’ as a ‘reduction to a combination of administrative procedures and individual attitudes to safety (...) at the expense of the wider organisational issues.’ (Pidgeon, 1998, 203). In doing so, his proposition is very much a theoretical attempt to bridge the gap between what is classified as some descriptive works in normal operations and accidents theorising, (2) & (3) on figure 2.

Pidgeon’s emphasis on the need to approach ‘safety culture’ from a descriptive angle contrasts with other authors seeking another combination. In this second example, the strategy is instead to select works that approach the question of safety from a normative angle and in normal operations. Weick and Sutcliff (2003) or Hopkins (2005) are good examples of researchers surfacing similarities between ‘collective mindfulness’ and ‘safety culture’ when seen from a social engineering (or normative) perspective (Reason, 1998). When doing so, they conceptually connect some of the works located in areas (3) and (4) of figure 2. They show the possibility of a synergy between the two. While Pidgeon’s aim is to stress the need for a broader descriptive view on ‘safety culture’ rather than one focused on individuals attitudes and administrative procedures, the purpose of Weick and Hopkins is closer to the idea of producing useful and normative models for companies in order to find ways to improve their safety management.

7. A proposition of hybrid model of industrial safety

7.1. Combining two models

With the purpose of moving beyond the practices of current audits while covering depth and content of accident investigations, it is another combination that is suggested here and that has proved extremely useful for researches and studies. It suggests for this specific purpose to combine safety management system model (Hale, 1999, 2003a) with the ‘dark side of organisation’ model (Vaughan, 1999). It establishes a connection between areas (2) and (4) of figure 2. Both models complement each other interestingly for this objective. While Hale’s model is good at showing from a normative point of view what is expected of an organisation for creating a virtuous feedback-feedforward loop, it lacks the descriptive content contained in Vaughan’s approach. But what is the strength of this latter model is also its weakness from a normative point of view. While it provides an excellent example of grounded approach, in the ethno-sociological tradition, it does not tell much about what would have been expected, something that Hale’s model brings from a generic point of view.

Because of the limits of these two models for the specific purpose as defined here, the proposition made now is to combine the normative nature of the first model (Hale’s) with the descriptive nature of the second (Vaughan’s). As both have generic ambitions, the resulting model is also generic. The proposition is summarised in table 1. The core idea is to translate the ethno-sociological approach of Vaughan (1996, 1999) into safety management categories (Hale, 1999, 2003a). It provides the twist needed for safety assessment purposes beyond current auditing practices. The dimensions obtained are in the left column. The right columns indicate how the dimensions have been matched to elements of the two models, first to Hale’s safety management activities, secondly to Vaughan’s ‘dark side model’ (with reference to the Challenger and Columbia cases, as this paper is interested in disaster prevention, and not misconducts⁴).

Table 1. Dimensions of the model.

Suggested model	Relationships with models	
	Hale’s	Vaughan’s
1. Constraints and resources (financial, technological, human and social, regulatory, contractual). Ability and power of the organisation	System evaluation. Indicators.	Macro-meso level. Economical, political, cultural (institutional), demographic

⁴ Vaughan (2003, 2005, 2007) applied the model to Columbia accident and made interesting connections with Nasa’s organisation that further illustrates how safety management activities were influenced in the agency between Challenger and Columbia following recommendations of the Challenger’s investigation.

to reflect and to influence them.		and sub-contracting of NASA.
2. Anticipation of impacts of changes (technical as much as organisational, changes decided or not) on safety.	Management of change.	Meso level. History of evolutions (for example in terms of strategy and policy) of NASA and impacts on safety.
3. Safety design: safety barriers architecture's adequacy (technical and human).	Technical and human barriers.	Micro level. Technological, rules and management tools designed for ensuring safe operations.
4. Influence of safety function within the organisation.	Risk analysis. Learning from experience.	Meso level. Independence, resources and competence of safety department in the case of Challenger and Columbia.
5. Ability to reflect critically and act proportionally after incidents or accidents. Sensitivity to weak signals (importance of balance of power and requisite variety).	Learning from experience.	Meso-micro level. Experience's influence in collective decision making, normalisation of deviance. Balance of power between engineers and managers.
6. Quality of external (regulatory authorities) and internal safety oversights on technical and organisational safety issues. Ability of the organisation to take them into accounts.	Auditing.	Macro-meso level. Auditing committees following incidents and accidents (i.e. from Challenger to Columbia), responses to NASA to them.

The six dimensions obtained are now commented with the help of the well known cases of Challenger and Columbia.

Autonomy, reflexivity (translated in leader's strategies) of the organisation regarding its environmental (economical, political, social and technological) resources and constraints

Important factors in Challenger and Columbia (as in other well documented analysis of accidents), are the economical and political constraints from the environment of the agency which contributed in maintaining it in a difficult situation, more strenuous than in the past (due, in particular, to the geopolitical context decreasing its national strategic importance). The increase of launches in the spirit of a commercial use of the shuttle was the illustration of the search of internal ways of funding the agency in front of external resources regularly going down. The commercial regime indeed provided money and secured an alternative source of resources instead of relying only on public funds (for examples through contracts with the army for launching satellites).

However, the shuttle was an innovative technology with still rather limited learning from experience, and with a research and development tempo that does accommodate well with commercial rhythms including tighter schedules and greater pressures. This political, economical and technological context went along with a specific human resources situation, based on an important level of sub-contracted activities. The result has been well described for example in Vaughan's analysis, combining contractual dependence creating a power imbalance and an increase of bureaucratic workload for engineers, workload needed to ensure co-ordination.

These macro dimensions and forces, such as economical, political, technological and social must be clearly addressed and assessed by organisation's top managers. Nevertheless, the power (and therefore the autonomy) to change some of these constraints varies according to the situation of the organisation within its environment. This is an important aspect of Vaughan's interpretation of both NASA's accidents. *—Cultures of production, whether production of police statistics, war, profits or timely shuttle launches, are a product of larger historical, cultural, political, ideological and economic institutions. Making organisational changes that contradict them is difficult to implement (...) The extent to which an organization can resist to this condition is likely to vary as its status and power vary*"(Vaughan, 2005, 56).

This will also reflect the experience, creativity and strategies of top managers, according to the principles designed for screening and acting on organisation's environment (Weick, Daft, 1984). For example, for Starbuck and Farjoun, it can go as far as attempting to influence public opinion as part of NASA's environment *—It seems relevant that, despite the multiple initiatives to improve NASA that have been occurring both within the agency and in its political environment since the Columbia disaster, there has been no discussion of the need to improve its image with the American public. Awareness of the desirability of public support, in itself, could be one of NASA's greatest needs*" (Starbuck and Farjoun, 2005, 322).

Anticipation of the impact of changes

In this respect, in the case of NASA, the *'better, cheaper, faster'* policy has been challenged following the Columbia accident by questioning its adequacy with regards to the agency activities. The *'better, cheaper, faster'* policy aimed at ensuring the agency survival in the context in which it was at the time of budget restrictions *'Nasa was viewed by many in the new administration as a bloated bureaucracy pursuing missions that took too long, cost too much, and used old technology'* (Farjoun, 2005, 29). This is a clear example of managers

attempt to adapt to challenging times due to environmental changes (congress budget cuts), which shows how important for safety is the degree of power and autonomy an organisation has against its external environment. As good as this policy proved to be for ensuring the survival of the agency in its new context for a time, one could indeed retrospectively also consider that this policy showed its limit before any adjustments were timely made.

Vaughan (1997) identified in the Challenger case how the management strategy indeed *‘trickled down’* with great impact on safety management activities. But adjustments are obviously very difficult because one must wait, with no explicit and rather complex as well as ambiguous relationships of causes and effects, between a variety of changes (decided or not) and their impacts on safety. But it is also because it can be difficult for top managers in organisations to accept information challenging their views or *‘ideologies’* (there’s a link with treatment of signals, discussed later). *‘Top managers are especially likely to misperceive and fantasize. Like all humans, they see successes as resulting from their own actions, and they blame failure of environmental events. However, stronger biases probably afflict top managers than other organisation members. Having fashioned their organization’s strategies, or least having come to believe they designed the strategies, top managers are especially liable to discount evidence that the strategies have outlasted their usefulness. In addition, top managers often operate with less accurate and up to date information than their subordinates. Their firsthand experience in making products, selling or applying technology is usually obsolete, and people relaying secondhand information often omit messages that might displease them’* (Meyer and Starbuck, 1993, 105-106)⁵.

Disasters can be considered extreme examples of this problem, where feedbacks are blurred and unclear for executives and top managers, until the accidents demonstrate that limits have been crossed. In the words of Weick *‘Despite the public face of organizations suggesting that they are rational systems designed to attain goals, organizations are also loosely coupled systems in which action is underspecified, inadequately rationalized, and monitored only when deviations are extreme’* (Weick, 1995, 134). The way an organisation is structured to anticipate impact of all kind of changes therefore matters but faces again ideology, cultural rationales and power of key actors of the organisation (executives, top managers).

State of safety (technological – hardware/software, human) barriers

It is at an operational level that impacts of these changes are likely to take shape where safety

⁵ Some of these problems are addressed by Starbuck and Milliken in a paper about the *‘perceptual filters’* threatening executives and managers (Starbuck and Milliken, 1988).

barriers, as indicated earlier, are designed to prevent specific scenarios. For example, in the Challenger's case, the flight review process before launch could be identified as a barrier, given that this was a procedure dedicated to organise collaboration between engineers and managers for decision making. The pressure tests on the putty as well as joints redundancy are two other examples of barriers, a procedural and a technical one. The assurance that these are maintained as expected contributes in reaching a certain level of risk. However, and paradoxically, it is, according to Vaughan's thesis (1996), over confidence in this safety architecture (particularly the joints redundancy), confidence in the conformity to rules and the respect of the formal decision making process (however under conditions of long historical social, political and economical changes and constraints exerted on NASA), that precipitated the group into the decision to launch.

Paradoxically indeed, because, what accidents investigation reports usually taught readers is that it is through non conformity that accidents unfold and find trajectories throughout the defence in depth of systems, not in conformity. One issue is as a consequence for organisation to attempt to close the gap between safety rules as designed and real practices. However it introduces issues of power between designers of rules (often engineers and managers) and operational people implementing them (or between engineers and managers in the case of NASA and subcontractors). It involves indeed here again differences between rationales. For La Porte *–The result is a tension between operators and technical experts, especially when operators judge an activity to require extensive on-the-ground operating and tacit knowledge about system operations that is based on long experience”* (La Porte, 2006, 107).

On the one hand, rules help coping with the stable and what is foreseen; on the other hand, they can lock users into rigid responses that need adaptations in front of unexpected events, so that manual and mental flexibility is therefore necessary. A classic example of this is Weick (1993) analysis of fire-fighters caught in an unusual fire configuration. The ones who made it out of the natural trap were those who *–dropped their tools”*, namely that discarded usual practices to invent new repertoires of responses that led them to a safe ending. Rather than strictly expecting rules to be followed in any case, resilience, the ability to adapt, is also to be favoured and promoted.

On the technical (hardware/software) side of safety barriers, things tend to be a bit clearer when it comes to following programs, compared to humans. Technical barriers are designed for specific functions to be fulfilled for preventing scenarios. Outside their specifications, they do not adapt. They either work or not work for they intended purpose. Problems begin

nevertheless when technical safety barriers are not chosen, purchased, installed, maintained, tested or operated properly (due to organisational issues including social, economical or political constraints translated into inappropriate resources – time, personnel, competence) and when interpretations about their behaviour in face of unusual conditions divide opinions and create debates between different categories of personnel (as for managers and engineers in the case of both Challenger and Columbia, about o ring's behaviour in a context of exceptional cold temperatures for the former, and size of the crater in the protective shield for the latter).

Ability to hear signals

Therefore, instead of waiting for unusual events (provoking possible debates and tensions between personnel) to repeat and to finally turn into disasters, instead of waiting for technological, social, political or economical context, leading to changes, to challenge the ability of the safety (technical and human) barriers to perform their functions, organisations should be able to hear signals. In this respect, both Nasa's accidents, in 1986 and 2003, following Turner's incubation model (Turner, 1978), contributed in putting forward questions about treatment of (weak) signals. The analysis of the collective decision making process in both Challenger and Columbia accidents demonstrated the importance of the issue of learning from experience. Following these analyses, the concept of weak signals has been debated because it is always retrospective and only revealed when things have gone wrong (‘hindsight bias’ or ‘retrospective fallacy’). Opinions are consequently divided whether weak signals can in principle always be caught or whether the ‘retrospective fallacy’ (or ‘hindsight bias’) will always stop investigators from definitely concluding.

Before the accident, uncertainties regarding the future are handled without the certainty of looking back. An indirect appreciation of the ability of the organisation to treat signals can nevertheless in principle be inferred from the balance of power between the different cultures and rationalities of the organisation . Therefore, *“Nasa personnel are very aware that issues have appeared repeatedly over the last three decades about the balance of power among engineers, managers, and scientists. The organizational hierarchy gives dominance to managers, whereas the people with the most direct information are engineers or scientists. One result has been that each time there has been a serious accident, retrospective analyses have inferred that engineers were trying to communicate concerns while managers were ignoring or overruling these concerns.”* (Starbuck and Stephenson, 2005, 324). Given world complexity, enhancing the ability to treat different signals consists in having a variety of

points of view expressed but also to develop managers' sensitivity towards the expression of scientists, engineers or operators when they manifest an excess of stress or fear about specific issues for which they have expertise (Mayer, 2003, 2007).

Equally important is, when incidents occur and have been well identified or publicly released, to be able to criticise openly the organisational dimensions behind them. Very often, for obvious reasons, among which the power to do so, managers are unwilling to question (or be questioned about) their decisions, about the organisations and policies that they designed and participated to the genesis the events. *In a study of several failures by units of a large corporation, Baumard and Starbuck (2005) found that managers generally explained away large failure as having idiosyncratic or exogeneous causes. The larger the failure, the more idiosyncratic or exogeneous causes they saw. As well, managers saw no relation between new large failures and previous ones, even when the same people had managed more than one failed venture'* (Starbuck and Stephenson, 2005, 330).

The intensity of the response (beyond technical fault and blaming of individuals for errors) of the organisation is critical but not always adequate. The Columbia explosion, sixteen years after the Challenger one is a testimony of the difficulty for an organisation to critically review its processes in face of high risk and technological uncertainties, but also its difficulties in front of a challenging and evolving social, political and economical environment . This indicates that for learning from experience, although often structurally implemented through ad hoc channels of information and group analysis, actors within an organisation must be aware of obstacles, among which power and ideologies of top managers as well domination of cultural traits over others (managers over engineers, engineers over operators), diminishing requisite variety that stops signals from being potentially treated accordingly.

Influence of safety department

It is in this respect, one of the key roles of the safety department to apply its expertise throughout the main safety management activities of the organisation such as learning from experience and helping signals (conveyed often by *whistle blowers'*) to be considered, but also risk analysis or management of change to be performed adequately. According to the position within the organisation (a structural feature), the power, the technical expertise as well as relational skill and availability of this function within contexts where tradeoffs between quality, safety, environment, production, social climate etc, are common features, levels of safety is likely to vary. Good relationships with departments or services despite inherent tensions generated by their different purposes and occupations, facilitate

communication and co-ordination, and help the integration of safety dimensions in the different areas of the organisation. It raises here again for the safety function this time questions about (sub) cultures interactions, as pinpointed by Starbuck and Stephenson for Columbia (2005, 324) –*Differences between occupational groups are not distinctive to NASA, as conflicts between the values of engineers and managers occur in many organisations, and so do conflicts between scientists and managers (...) thus the differing values of engineers, managers and scientists make conflicts endemic*”.

One conclusion of Challenger and Columbia accidents is that the lack of independence, authority and centralisation of an expert safety function contributed to the genesis of the events. How safety expertise is used in daily operations contributes greatly in defining relevant margins or appropriate tradeoffs. It depends on the ability of the safety department to provide a relevant expertise despite differentiation of functions and complexity of organisations, created by the size and specialisation of activities (among which sub contracting). This issue has been labelled as –*structural secrecy*” and was one of the key factors in Vaughan’s interpretation. This phenomenon leads information not to ideally circulate between departments and lessens the safety aptitude to afford expertise on technological evolutions that can become too complex. If safety is certainly to be shared by every individual regardless of his or her position in high risk industries, the power and expertise of a safety department is with no doubt a higher chance of success against, for example, negative and unanticipated effects of changes.

Quality of safety (internal or external) oversights

As a kind of organisational redundancy to the work of the safety department, the quality, frequency and acknowledgement by the organisation of external safety oversights (i.e. control authorities, investigative commissions following incidents or accidents, outside experts on specific topics) and internal (as corporate auditors within a group) is crucial. La Porte calls them –*external watchers*”. For this author –*Continuous attention both to achieving organizational missions and to avoiding serious failures also requires repeated interactions with elements in the external environment (...) external watchers can enter at any point but they are especially common when major failures are seized upon as a chance to ventilate concerns about operation reliability*.” (La Porte, 2006, 108). But the openness of an organisation to safety oversights is not always simple as for example it is not easy to always get the expertise required externally to produce relevant assessments. In her Challenger’s

interpretation, Vaughan (1996) insisted on the difficulty for safety internal oversights to be performed given the technological complexity of the shuttle.

The safety oversight by regulatory authorities also contains certain limits, for example the ability for the regulator to access relevant data (this is the concept of ‘regulator capture’), and the possibilities and interest for an organisation to communicate on all its problems, like incidents. One entry into the Challenger case for Vaughan was therefore to insist on the autonomy and dependence between the regulator and regulatee (Vaughan, 1990). Moreover, some recommendations can sometimes be difficult to carry out for companies, given the resources and skills available, difficulties not always taken into account by outsiders who formulate judgements and sometimes recommendations. Thus, recommendations of Columbia Accident Investigation Board (CAIB) following Columbia have been only, to a degree, implemented. On the one hand, CAIB did not explain in detail how to carry them all out, and on the other hand, managers and engineers of the agency were mostly familiar with individuals or structural type of solutions to management problems, not cultural and systemic ones. *Whereas CAIB recommendations for changing structure were specific, CAIB directions for changing culture were vague (...) The CAIB left no clear guidelines. (...) It was clear that NASA leaders did not understand how to go about changing culture. Trained in engineering and accustomed to human factors analysis, changing culture seemed ‘fuzzy’* (Vaughan, 2005, 53).

7.2. A dynamical model

Graphically, figure 4 illustrates the dynamical properties of safety (or accidents) that are derived from the combination of the two models selected:

- (1) A specific environmental context (economical, political, social and technological) require strategic choices or adaptations by leaders leading to
- (2) A number of changes at different technical and organisational levels, which may impact positively or negatively
- (3) the design or implementation of (technical and human) safety barriers, a situation monitored by
- (4) firstly, an ability to treat signals (possibly conveyed by ‘whistle blowers’) about specific safety related problems or negative impacts of evolutions on design or implementation of (technical and human) safety barriers, relying on,

(5) secondly, a safety department (or function) which can challenge the organisation about the impacts of changes on design and implementation of safety barriers and/or about status of (weak or strong) signals treatment, and backed up by

(6) thirdly, safety (external or internal) oversights that play a role of ‘redundancy’ for the internal safety function (or department) on these very same issues.

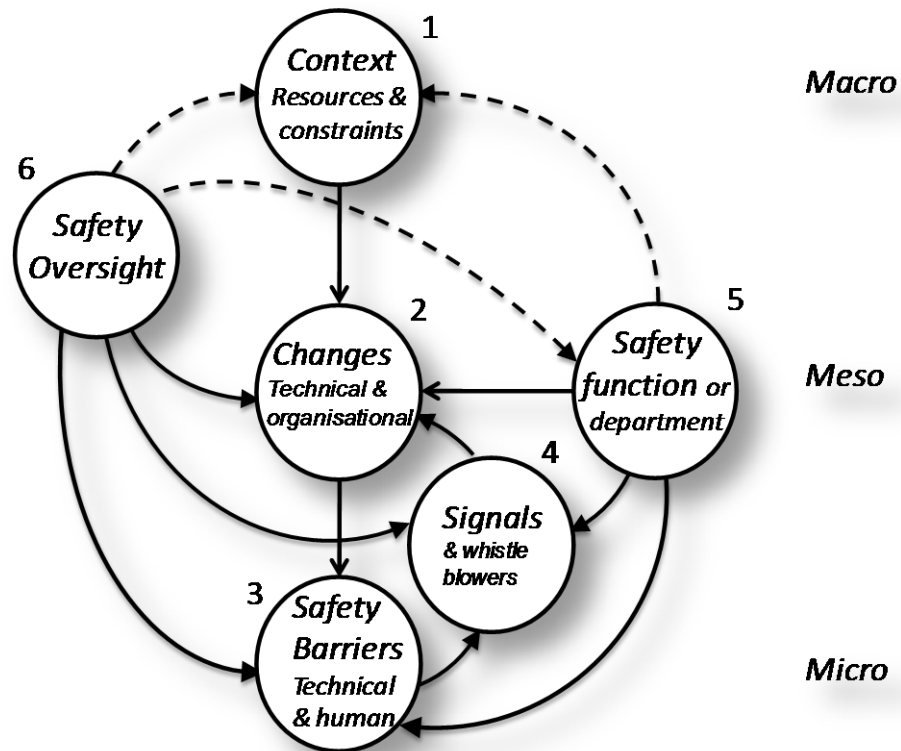


Figure 3: A simple pattern found in accidents

Although a very simple graphical pattern or model, it must not hide its complex dynamical nature. Cause-effect relationships in such systems are complex. This model must therefore be seen as highly dynamic. Relationships between the six dimensions of the model can compensate each other in many ways. In principle, different configurations are possible. For example a company in a difficult market situation leading to budget cuts and many organisational changes in order to cope with its interpretation of a new context can be controlled by a strong safety department amplifying signals of problems, relying also on a good safety barrier design and teams as well as efficient safety oversights strengthening the messages of the safety department to the board of directors. One can easily imagine many different configurations, indeed *—although separating issues into distinct subsets helps to keep*

the discussion simple, it understates the complexity of relationships and the flexibility of options.” (Starbuck and Stephenson, 2005, 321).

These configurations must be appreciated by relying and introducing a wide range of dimensions as discussed in the presentation of this hybrid model, including issues of technological design, structural features of organisations but also cultural and power features, all of them being connected together through micro, meso and macro interaction. It does not hide the many trade-offs that companies face but puts them instead in perspective with the overall dynamic of the system. It differs in this respect from excess of audits techniques that are based on strong normative models and standards, an issue well identified again by Power *“As the means becomes the end, there is a continuing overcommitment to create politically acceptable image of control. ‘Off the shelf’ (Nolan and Scott, 1993) audits are used to represent auditee organization so as to make its activities less heterogeneous, less complex, and less uncertain.* (Power, 1997, 121). This model has not the purpose of creating ‘certificate of comfort’ and remains realistic about the real constraints and complexities involved with managing high risk systems.

7.3. From ‘audit’ to ‘assessment’ (or ‘evaluation’)

It could, as a consequence of the elaboration of this hybrid model, be suggested to differentiate the terminology of ‘audits’ (based on strong normative models and standards) from safety ‘assessment’, or ‘evaluation’, which has as a purpose to better understand and appreciate the complex dynamic of systems. Power contrasts the two approaches. *(...) Audit is a normative check whereas evaluation provides empirical knowledge and addresses cause and effect issues; audit is oriented towards compliance as a normative outcome whereas evaluation seeks to explain the relationship between the changes that have been observed and the programme. Without standard of conduct, audit is undermined. Hence the importance of standards of performance which create a normative template to make an operation auditable. In contrast it is argued that evaluation is much less affected by ambiguity about standards of performance and objectives.’ (Power, 1997, 118).*

In this respect, a certain amount, type, quality and depth of data from a diverse range of perspectives is necessary for making use of the model’s potential for assessments. The collection of these data relies on open interviews of many different individuals within (involving operators to managers and executives) and sometimes, when possible, outside the boundaries of organisations, and depends also on observations and exploitation of documents, at different moments of an organisation life, including normal operation, incidents and/or

accidents. It necessitates training in social sciences methodologies (along with more traditional knowledge from safety engineering and auditing). This can be performed through the collaboration of experts in different disciplines within a multidisciplinary team (putting together safety engineering, ergonomics, sociology, management and political sciences) but can also be employed in (limited) cases when the researcher is knowledgeable in these different disciplines and has the opportunity to access to a wide range of data. This paper does not elaborate on these issues but an example of use of this hybrid model for industrial safety assessment (or evaluation), in a small and decentralised company, relatively simple technology speaking, is reported in Le Coze (2010b). It provides a methodological and empirical illustration. More empirical case studies have been, are and will be performed in diverse high risk industries in order to explore and refine model's potentialities.

The status of this approach needs to be further examined to determine whether it complements, extends or replaces audits, but also under which conditions such type of safety assessments can be performed. For some authors, alternatives to traditional safety views, clearly conveyed by audits, face socio-political resistance. *‘The view of high-risk activities and their management via compromise, normal error and failure, sufficiency and non-optimality, obviously poses problems of acceptability and receivability, given the nature of current debate on risk’* (Gilbert et al, 2007). This model has undeniably been developed in a research context aiming at better assessing industrial safety, with the intent to increase the level of expertise on these issues. In doing so, it has moved away from auditing practices. Despite a clear interest shown by the companies, its translation into internal practices of high risk systems with a long tradition of safety audits requires now empirical and experimental studies to fully appreciate the extent with which this would mean complementing, extending or replacing these practices. Equally, a transfer to control authorities would need to define the institutional conditions under which such a hybrid model is to be translated into practices.

Conclusion

This paper has introduced a hybrid model of industrial safety that is designed for moving beyond the limits of current safety audits and reflecting the scope and content of accident investigations. An audit tendency to oversimplify organisations has indeed been identified and it has been suggested therefore to explore alternative approaches, based on modern developments in safety science. This challenge has been described as an empirical, methodological, theoretical and epistemological one, and the paper focused on the theoretical part of this challenge. In order to do so, the strategy followed has been to distinguish different

organisational research traditions in safety science in order to reveal their specificities. In doing so, a great variety of works have been identified and a graphical representation served as a basis for organising coherently this diversity. It has been defended that a grand synthesis of them all was not a viable endeavour but that a more restricted combination indicating clearly its purpose was possible. From there, a combination of two models extracted from different research traditions has been introduced. While keeping a normative view, the model must rely on a descriptive approach borrowed from an ethno-sociological grounded methodology. It has also been suggested to differentiate then ‘audits’ from ‘assessment’ (or evaluation) to stress the change of methodology and model. The model is highly hybrid, based on both descriptive and normative traditions, depending on inputs from different disciplinary backgrounds including engineering, ergonomics, sociology, management and political sciences. The question of whether this type of approach supported by this type of model would complement, extend or replace audits performed by either authorities (in the practice of inspections) or companies (for their own internal control) is a research but also practical question for the future.

References

- Andler, 2002. Processus cognitifs. In Andler, A., Fago-largeault, A., Saint-Sernin, B. 2002a. Philosophie des sciences. Volume 1. Folio essai.
- Antonsen, S. 2009. The relationship between culture and safety on offshore supply vessels. Safety science.vol. 47, n°8, pp. 1118-1128.
- Antonsen, S. 2009. Safety culture and the issue of power. Safety Science (47), 183-191.
- Alvesson, M. 2002. Understanding organizational culture. Sage.
- Bourrier, M. 1998. ‘Elements for Designing a Self-Correcting Organization : Examples from Nuclear Power Plants’, in A. Hale & M. Baram (Eds.), Safety Management & the Challenge of change, Amsterdam, Elsevier, 133-147.
- Bourrier, M. 1999. Le nucléaire à l’épreuve de l’organisation. Presses Universitaires de France.
- CAIB (Columbia Accident Investigation Board), 2003. Report, Vol. 1. Washington NASA.
- Daft, R. L., Weick, K.E. 1984. Toward a model of organizations as interpretation systems. Academy of management review, 9, 284-295.
- Farjoun, 2005. History and policy at the space shuttle program. In: Starbuck, H.W.,Farjoun, M. (Eds.), Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster. Blackwell Publishing.
- Gilbert, C., Amalberti, R., Laroche, H., Pariès, J. 2007. Errors and failures : towards a new safety paradigm. Journal of risk research. Vol 10 n°7, 959-975.

- Glendon A.I., Stanton, N.A., 2000. Perspectives on safety culture. *Safety Science* **34**, 193–214.
- Gouldner, A. W. 1954. *Patterns of Industrial Bureaucracy*. The free press.
- Gouldner, A. W. 1959. Organizational Analysis. *Sociology Today*, pg. 400-428. Ed. Robert K. Morton, Leonard Broom and Leonard Cottrell, Jr. New York: Basic
- Guldenmund, F.W., 2000. The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science* **34**, 215–257.
- Hale, A.R. 1985. *The Human Paradox in Technology and Safety*. Inaugural Lecture. Safety Science Group, Delft.
- Hale A. R. 1999. Assessment of safety management systems. Paper to 2nd International conference on ergonomics, Occupational Safety and Hygiene. Braga. 27-28 May 1999.
- Hale, A.R. 2000. Culture's confusion. *Safety Science* (**34**) 1-14.
- Hale, A.R. 2003a. Safety management in production, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* **13** pp. 185–201.
- Hale, A. 2003b. Note on barriers and delivery systems. In *PRISM conference*, Athens.
- Hale, A.R., Goossens, L.H.J. and Oortman Gerlings, P., 1991. Safety management systems: a model and some applications. In: *NeTWork Workshop on Safety Policy*.
- Hale, A.R., Heming B. H.J., Catfhey, J., Kirwan, B. 1997. Modelling of safety management systems. *Safety Science* Vol. **26**, No. 1/2, pp. 121-140.
- Hale, A., Baram, M., Hovden, J., 1998, Perspective on Safety Management and Change, in Hale, A., Baram, M., 1998, *Safety Management : The Challenge of Change*, Amsterdam, Pergamon, p. 1-18.
- Chaplin, Hale, A., 1998.
- Hale, A.R., Gundelmund, F., Goossens, L. 2006. Auditing resilience in risk control and safety management systems. In Woods, D., Hollnagel, E., Leveson, N. *Resilience engineering, concepts and precepts*. Ashgate.
- Haukelid, .2008. Theories of (safety) culture revisited—An anthropological approach. *Safety Science, Volume 46, Issue 3, March 2008, Pages 413-426*.
- Hollnagel, E., 2004. *Barriers and prevention*. Ashgate.
- Hollnagel, E., Woods, D., Leveson, N. 2006. *Resilience engineering. Concepts and precepts*. Ashgate.
- Hopkins, A., 2000. *Lessons learnt from Longford. The Esso gas plant explosion*. CCH.
- Hopkins, A., 2005. *Safety, culture and risk*. CCH.
- Hopkins, A. 2006. Studying organisational cultures and their effects on safety. *Safety science* (**44**) 875-889.
- Hopkins, A. 2008. *Failure to learn*. CCH.
- Hopkins, A. 2009. (ed) *Learning from high reliability organisations*. CCH.
- Hudson, P. 2007. Implementing a safety culture in a major multi-national. *Safety science*. **45**. 697-722.

- Hutter, B., Power, M. 2005. Organizational encounters with risk: an introduction. In Hutter, B., Power, M. (eds) Organizational encounters with risk. Cambridge University Press.
- Johnson, W.G., 1973. The Management Oversight and Risk Tree – MORT including Systems Developed by the Idaho Operations Office and Aerojet Nuclear Company. Available from: www.nri.eu.com, the website of the Noordwisk Risk Initiative.
- Larms Ringdahl, L. 2009. Analysis of safety functions and barriers in accidents. Safety science (47) 353-363.
- La Porte, T. 1975. Organized Social Complexity As An Analytical Problem: An Introduction And Explication in T. R. La Porte, ed., Organized Social Complexity: Challenge to Politics and Policy, Princeton University Press, 1975. available at <http://www.polisci.berkeley.edu/faculty/bio/emeriti/LaPorte.T/publications.asp>
- Le Coze, JC. 2011. De l'investigation d'accident à l'évaluation de la sécurité industrielle. proposition d'un cadre interdisciplinaire (concepts, méthode, modèle, cas). Thèse de doctorat. Mines ParisTech. (From investigating accident to assessing industrial safety. Proposition of an interdisciplinary framework (concept, method, model). PhD Thesis.
- Le Coze, JC., 2010a. Accident in a French dynamite factory: an example of organisational investigation. Safety Science 48 (2010) 80–90.
- Le Coze, JC., 2010b. A (short) study on the impact of changes on industrial safety. Paper presented at Working on safety conference, 10-11 septembre 2010. Roros. To be published in 'Safety Science Monitor'.
- Le Coze, JC., 2008a. BP Texas city accident : weak signal or sheer power ? In Hollnagel, E., Rigaud, E. (ed.) Proceedings of the third symposium on resilience engineering. Juan les Pins.
- Le Coze, JC., 2008b. Organisations and disasters: from lessons learnt to theorising. Safety science (46) 132-149.
- Le Coze, JC., 2005. Are organisations too complex to be introduced in technical risk assessment and current safety auditing? Safety science (43) 613-638.
- Leveson, N. 2004. A new accident model for engineering safer systems. Safety Science. 237-270.
- Martin, J .1992. Cultures in organizations. Three perspectives. Oxford University Press.
- Martin, J .2002. Organizational culture. Mapping the terrain. Sage Publications.
- Mayer, P., 2003. Challenger. Les ratages de la décision. Presses Universitaires de France.
- Mayer, P., 2007. Organisation détraquée. Revue française de gestion (33) 69-84.
- Meyer, A, D., Starbuck, W. H. 1993. Interactions between ideologies and politics in strategy formation. In Roberts, K. H (eds) New challenges to understanding organizations. Mc Millan publishing.
- Nolan, M., Scott, G. 1993. 'an exploration of some tensions and paradoxical expectations. Journal of advanced nursing. 18-759-766.
- Perrow, C., 1984. Normal Accidents, first ed. Princeton University Press, Princeton.
- Perrow, C., 1999. Normal Accidents, second ed. Princeton University Press, Princeton.
- Perrow, C. 2009. What's needed is application, not reconciliation: a response to Shrivastava, Sonpar and Pazzaglia. Human relations. Volume 62 (9):1391-1393.

- Perrin, C. 2004. *Shouldering risks. The culture of control in nuclear power industry*. Princeton University Press.
- Pidgeon, N, F., Blockley, D. I., Turner, B. A. 1986. Design practice and snow loading: lessons from a roof collapse. *The structural engineer* 64A (3), 67-71
- Pidgeon, N. 1991. Safety culture and risk management in organizations. *Journal of cross-cultural psychology*, vol 22 n°1 129-140.
- Pidgeon, N. 1998. Safety culture: key theoretical issues. *Work and stress*. vol 12. n°3. 202.216.
- Pidgeon, N., O'Leary, M., 2000. Man-made disasters: why technology and organizations (sometimes) fail. *Safety Science* 34, 15–30.
- Power, M. 1997. *The audit society. Rituals of verification*. Oxford University Press.
- Reason, J. 1997. *Managing the risk of organisational accidents*. Ashgate.
- Reason, J. 1998. Safety culture: Some theoretical and practical issues. *Work and stress*. vol 12. n°3. 202.216.
- Reason, J. 2008. *The human contribution*. Ashgate.
- Reimann, T., Pia, O. 2009. Evaluating safety-critical organizations – emphasis on the nuclear industry. Available at www.stralsakerhetsmyndigheten.se
- Richter, A., Koch, C., 2004. Integration, differentiation and ambiguity in safety cultures. *Safety Science* 42, 703–722.
- Rosness, I., Guttormsen, G., Steiro, G, T., Tinmannsvik, R, K., Herrera, I, A. 2004. Organisational Accidents and Resilient Organisations: Five Perspectives. Sintef report. Available http://www.sintef.no/upload/Teknologi_og_samfunn/Sikkerhet%20og%20p%C3%A5litelighet/Rapporter/STF38%20A04403.pdf
- Selznick, P. 1948. Foundations of the Theory of Organization, *American Sociological Review*, Vol. 13, No. 1. pp. 25-35
- Shrivastava, S., Sonpar, K., Pazzaglia, F. 2009. Normal accident theory versus high reliability theory : a resolution and call for an open systems view of accidents. *Human relations*. Volume 62 (9): 1357-1390.
- Sills, D. L., Wolf, C. P., Shelanski, V. B. 1982. (eds), *Accident at Three Mile Island: The Human Dimensions*, Westview Press, Boulder.
- Smircich, L. (1983). Concepts of culture and organizational analysis, *Administrative Science Quarterly*, 28, 339-385.
- Starbuck H. W., Milliken, 1988a. Executives' perceptual filters: What they notice and how they make sense ", pp. 35-65 in D. C. Hambrick (ed.), *The Executive Effect: Concepts and Methods for Studying Top Managers*; JAI Press.
- Starbuck, H.W., Stephenson, J. 2005. Making NASA more effective. In: Starbuck, H.W., Farjoun, M. (Eds.), *Organization at the Limit. Lessons from the Columbia Disaster*. Blackwell Publishing.
- Sklet, S. 2006. Safety barriers: definition, classification, and performance, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19, pp. 494–506.
- Turner, B. 1978. *Man-made disasters. The failure of foresight*.

- Vaughan, D. 1983. Controlling unlawful organizational behaviour. The University of Chicago Press.
- Vaughan, D. 1996. The challenger launch decision: risky technology, culture and deviance at NASA, University of Chicago press, Chicago.
- Vaughan, D. 1999. The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster. *Annual Review of Sociology*. 25. 271-305.
- Vaughan, D. 2002. Signals and interpretive work: the role of culture in a theory of practical action. In Cerulo, K, A. (ed.) *Culture in mind: toward a sociology of culture and cognition*. New York: Routledge.
- Vaughan, D. 2004. Theorizing Disaster: Analogy, Historical Ethnography, and the Challenger Accident. *Ethnography*. 5,3:313-45.
- Vaughan, D. 2005. System effects: on slippery slopes, repeating negative patterns, and learning from mistakes? In Starbuck H. W., Farjoun M. 2005. *Organization at the limit. Lessons from the Columbia disaster*. Blackwell publishing.
- Vicente, K, J., Mumaw, R, J., Roth, E, M. 2004. Operator monitoring in a complex dynamic work environment: a qualitative cognitive model base don filed observations. *Theoretical issues in ergonomic science*. Vol 5. N° 5. 359-384.
- Weick, K. 2004. University of Michigan, *Academy of Management Review*, July 2006, pp. 766-769.

Article 6

Le Coze, JC. 2010. A study about changes and their impact on industrial safety. Publication présentée à la conférence Working On Safety, les 8,9 et 10 septembre 2010 à Røros, Norvège. Retenu par le comité scientifique de la conférence pour publication dans le journal en ligne 'Safety Science Monitor'.

A STUDY ABOUT CHANGES AND THEIR IMPACT ON INDUSTRIAL SAFETY

JEAN CHRISTOPHE LE COZE

INERIS Institut National de l'environnement Industriel et des Risques, Parc Alata - F - 60550 Verneuil en Halatte, E-mail: Jean-christophe.lecoze@ineris.fr

ABSTRACT

The aim of this paper is to introduce a case study aiming at better taking into account the impact of changes on industrial safety. It has been well documented in the past years that many accidents did happen because of changes, combining together technological and social dimensions, making of this issue a complex one. This case study had as a purpose to reduce the complexity of the problem by choosing a technologically and organisationally rather limited system, exploiting hazardous processes, where implications of changes could be identified and discussed with a limited number of persons. Silos, with risk of fires and explosions, are main installations of the seed industry and exploited by a limited number of persons within often medium size organisations. This was therefore a rather good case to start with. After that a company agreed to take part of the research, interviews with individuals and visit of a site was organised. Changes were identified and analysed in relation to industrial safety. Regulatory, organisational and technological changes were retained as significant. The interesting turn of this study occurred when a serious accident happened a few days before the feedback session on the outcomes of the study. The company asked then an investigation to be performed and this provided a very good opportunity to go further in the appreciation of the impact of changes in the light of the accident. The investigation showed that many of the changes identified in the first part of the study did play a strong part in the genesis of the accident, although they were not formulated with the level of details one is able to produce retrospectively with an investigation. This case study brings therefore very interesting empirical data to the question of whether or not one is able to anticipate incidents or accidents given specific technological and organisational configurations and evolutions. This approach of combining both perspectives (a study of changes in normal operation and an accident investigation for the same case) also brings diachronic considerations to the mainly synchronic approach explored so far in studies of normal operations.

1. INTRODUCTION, THE PROBLEM OF CHANGE IN RELATION WITH SAFETY

After many incidents or accidents of the past years across high risk industries (transport, chemical, nuclear), it appears that, when reading investigations reports, changes always play an important part in the genesis of these events (i.e. our own investigations do show this very well too, Le Coze, 2010). Yet the problem of change is quite complicated because it includes a wide range of issues, better identified in favour of hindsight. It is indeed much more difficult to predict beforehand these changes that will combine together to lead to a specific unexpected accident scenario. Several problems can be related to this difficulty, problems that one finds when dealing with any complex systems linking technological, psychological, cognitive, social, cultural, economical and political dimensions together (Le Coze, 2008a). One of them is that changes are permanent. Changes happen all the time. But their effects are not always immediate. They might need for instance to be associated with other changes to generate an adverse outcome. Another problem is that there is not necessarily proportionality between the magnitude of a change and its effects. A last one that is mentioned here is that one change somewhere might have some effects somewhere else.

Organisations that need to ensure safety to employees and to external parties due to hazardous processes must, in their daily management, integrate this issue. Very often, one of the items of formal safety management system (sms) is therefore dedicated to it ('management of change'). However, it is also known from accident investigations or studies of normal operations, at least in the chemical industry where the author is knowledgeable, that beyond technological modifications, little is done formally to tackle other type of internal or external transformations (social, cultural, economical, and political) on safety. Little is done as well with regards to the effects of technology on other aspects than technology itself (i.e. ergonomics or team coordination). One reason is that there is a lack of methodologies in this area but also because there isn't really any clear typology of changes available and their link with industrial safety.

2. DESIGNING A CASE STUDY TO APPROACH CHANGES

In order to approach this problem in a way that was manageable and not too ambitious given the complexity of the topic, a study has been designed to start with, in an industry where installations are simple and number of employees exploiting them limited. Silos were in that respect good candidates. Silos are hazardous installations exploited by a small amount of people, are relatively simple technologically speaking and decentralised entities within bigger organisational structures, comprising traditional functional departments (i.e. production, maintenance, human resources, safety, quality). The opportunity to do so has been made possible through the health, safety and environment director of an organisation in charge of centralising supportive actions for several organisations of the seed industry, in many areas such as safety, quality, production, etc. This organisation plays a lobbying role in general in favour of this industry at National or European level. As I worked with him previously on designing policies on learning from experience, I asked him if his organisation would take part of a project on changes sponsored by the ministry. He thought the subject to be very relevant as the companies he works for all evolve continually and, according to him, even more so in the past years. One issue is definitely for them to better anticipate potential safety problems as a result of these evolutions. I explained to him that I needed access to voluntary companies willing to ask themselves questions and to be open enough to be perhaps challenged about their own practices in this respect. I agreed to present the project in a few hours to any interested companies he could gather through its network of members. We agreed on a date and about ten persons participated (I don't know the number invited initially and the proportion who responded positively, but this was a good enough figure) to a common presentation about the purpose and implications of the study.

2.1 Finding an interested organisation

To sensitise the audience, the presentation relied on some of the results of the investigation of the BP Texas City accident, mainly from an organisational point of view, and ended up with identifying some of the key changes found in the analysis (i.e. decentralising of safety function, high turnover of managers, poor design and aging of some installations, see Le Coze, 2008b for some discussions of these findings), and their impact on safety. It then introduced the steps likely to be followed for the study (individuals to be interviewed, observations needed, documents required). The meeting was successful and individuals, for the most part of them health, safety and environment managers, were really keen on openly debating these issues referring to their own experiences and current situations within their organisations. They could refer easily to some of the findings of the BP Texas City investigation. Many even believed that it would be relevant to introduce these results to their top managers, because as hse managers, they often couldn't make anything about organisational changes that were not their decisions but sometimes strategic decisions of executives. One person showed a lot of interest in applying this kind of approach in her organisation. Following the session this person was the quickest to contact me and to create the opportunity for being part of the project. She had first to convince her boss but thought that she could do this quickly, and so I had the case that I was looking for. As it will be shown, it turned out that this person had already some ideas in the back of her mind when creating this opportunity. It is assumed now that she could see in the presentation of BP Texas City accident investigation some of the problems of her company in a rather accurate way.

2.2 The 'turn' of the study

I performed interviews during three days between October and November 2009, then organised the feedback session for the end of February 2010. One very interesting side of the study is that some of my initial outcomes about changes and their potential impacts on industrial safety anticipated an accident, a fire due to self-combustion of colza (a specific kind of seeds) of several cells in a silo, which happened only a few days before my planned feedback session in February 2010. This accident represented a costly event for the organisation, damaging silos infrastructure and destroying seeds, although there was no harm to any employees. It was publicised in the local news because of its spectacular effects (flames and smoke) but also because of the

intervention of firemen. The image of the organisation also suffered within the profession, when for years it had been seen as an example to follow. One immediate conclusion about the origin of the events was that temperatures monitoring of seeds in the cells of the silos, an operation carried on site by operators and considered as a basic practice, was not performed according to standards. Self-combustion of products is one of the risks of the activity and checking temperatures (about twice a week) is as much a requirement for quality of product as a safety parameter (more about this later). Above a certain temperature threshold, the likelihood for a fire is very high.

The feedback session in February (only a few days after this accident) happened without much debating whereas I expected conflictual interpretations over some of the findings that questioned, for example, strategic decisions of top managers about changing the structure of the organisation and its impact on safety practices. I started again this session with BP Texas City presentation to indicate why and what I was looking for, and then moved on with my findings. As mentioned, there was almost no opposition from the members of the organisation attending (managing director, human resources manager, maintenance manager, safety manager and operational managers), but a sense of general approval instead about my attempts to elaborate on the links between changes and level of safety. They, in fact, at that moment, could easily project themselves in what they then already knew about the recent accident, and these relationships that I was trying to establish. The managing director intervened once or twice to approve problems of information flow between silos operations and top management. Given the implication of the results, the hseq manager asked me to proceed with an investigation of their accident, with a specific focus on the organisational dimensions. She convinced the managing director again of the interest of doing so, and he then participated quite openly as much as he did for the first part of the study.

This situation transformed the initial approach on changes in a rather unique opportunity to compare what I was able to foresee, and what I had missed, in hindsight. This study became also therefore a very relevant input to the debate about the possibility or not to infer from the state of a system (i.e. from a specific technological and organisational design), the likelihood of an incident or an accident. It gave the possibility to deploy an approach (as experienced and described elsewhere Le Coze, Dupré, 2006) that can be seen as a way to move beyond the 'normal accident' and 'high reliability organisation' dead end (Rijpma, 2003), by combining within a same case study (figure 1, from Le Coze, Dupré, 2008), an approach of normal operations ("*what's happening when nothing's happening?*", the left part of figure 1) with an approach of investigating incident or accident (getting into the '*darkside of organisation*', Vaughan, 1999).

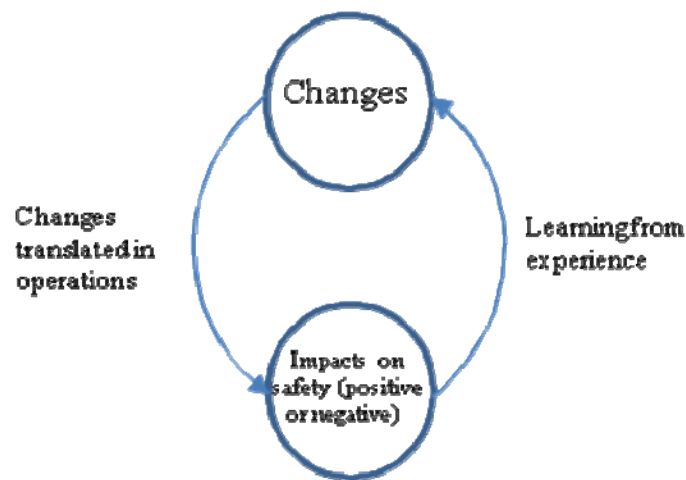


Figure 1. Combining study of normal operation (targeting changes) with investigating incidents/accidents (in relation to changes)

The second phase of this study (the right part of figure 1), investigating the accident, was pursued between March and April 2010, and results were presented in the beginning of June 2010. The presentation went well, although given this time to a much more restricted audience (managing director, hseq manager and human resources manager). Apart from few problems with some wordings, they accepted the interpretations and conclusions, although these were debated and that it remains, as always, a bit unclear what has filtered and has been acknowledged by the different persons. Some indications for strengthening their current safety management and strategy were discussed, and could be developed in the months to come.

3. METHODOLOGICAL APPROACH

Methodologically, the first part of the study consisted in visiting and interviewing, within a three days period, people operating a silo, chosen for its importance (three persons working full time) and key people of the organisation (six persons from various departments: human resources, safety, maintenance) including the managing director. The angle followed was to question all the interviewees about the changes that they could think of in the past, present (and in the future, as expectations may have an influence on the present) in relation with their work, without restrictions and without imposing a specific typology to them. According to positions and experience, it was expected to hear about different type of changes. The study confirmed this assumption. The next phase consisted in extracting changes more likely to raise safety issues, but also to specify, in general or more precise terms, how. This requires defining the underlying model(s) directing choices of relevant changes. Such an effort has been done elsewhere (Le Coze, submitted, Le Coze, 2011), but has also limits given that expertise always contains implicit dimensions, such as intuition (Klein, 2004). It can't be fully developed here for lack of space and is only described very briefly. In this model, safety is understood as a dynamical property obtained by the systemic articulation of environmental (macro), organisational (meso) and individuals (micro) dimensions (Vaughan, 1999) while performing safety management activities (Hale, 2003). This property is obtained through the on-going interactions of internal and external (or collective) actors with technology, mediated by structure(s), culture(s) and power. Balancing conflicting goals (safety, production, quality, social climate, etc), defined for instance as tradeoffs quandaries (Perin, 2005), is at the heart of this vision of safety. The power of safety department (i.e. relationship between this department and executives) is one of the elements of the quality of the tradeoffs operated within the system, but other dimensions, such as the ability to deal with controversies over technological problems (i.e. handling of whistle blowers) is another one. Obviously, high sensitivity to the impact of a wide spectrum of changes is an important factor too. Identifying changes is therefore closely related to the model directing choices, and therefore somehow, a test of the adequacy of the model.

The second part of the study consisted in investigating the accident. Interviews with the same people were conducted again this time retrospectively in the light of the events, and interviews were also extended to other individuals in order to compare practices across territories of the company, and silos (twelve persons in total). Of course, persons directly involved in the accident were interviewed, although indirectly for two of them, out of three. Indeed, the company, before the beginning of my investigation, ended up firing these two employees, not so much because of their implications in the genesis of the accident, but rather because of their behaviour after the facts, especially one of them, who kept on taking decisions against the organisation's position, and compromising safety of silos while the latent risk of fire was still dealt with. As sanctions, they demoted them to lower positions within the organisation, an offer that two of them declined, and were as a consequence fired. One of these two intended suing the organisation through the legal institutions in charge of judging conflicts between employers and employees. Quite understandably, they did not wish to be part of the investigation. However, interviews with these two persons were in fact conducted by the hseq manager the day following the accident, weeks before this accident investigation. These interviews were written down and signed by the individuals, before that any sanctions were taken and therefore before the tensions and conflicts experienced afterwards. At this stage, they were open minded and not reluctant to admit what they considered to be 'mistakes' on their part in retrospect but also organisational problems in the background of their 'mistakes'. These interviews were then available and provided a lot of information needed for interpreting the case. The focus of interpretation was not so much on the technical side of the event, but rather on its 'organisational side', as requested by the company. Identically, underlying models are here very important, as for any accident investigations. This question has also been discussed elsewhere previously (Le Coze, 2008c). Main models behind these were borrowed both from the more normative tradition (i.e. Johnson, 1973) and the more descriptive one (i.e. Turner, 1978, Vaughan, 1996) of investigating accidents.

4. SOME FEATURES ABOUT THE TECHNICO-ORGANISATIONAL SYSTEM STUDIED

4.1 A decentralised type of company

The organisation which participated to the study is highly representative of this type of industry, both from an organisational and technological point of view. One of the core businesses of these types of organisations is to collect and store different kind of seeds (i.e. wheat, barley, corn, sunflower, colza) in silos, and then send them through either trucks, train, barge or ship. It is based on a physically decentralised mode of working created by the geographically dispersed situations of silos. One of the challenges is to plan the flows of seeds between silos for organising transport between destinations and type of transports (trucks, trains or barges). Covering sometimes very large territories, silos from a same organisation can be far apart, sometimes four to five hours away by car.

This situation met in many of companies in this industry results from a trend of mergers of the past years, where cooperatives¹ have started to group together to form bigger entities. Headquarters of the organisation involved in the study has for instance a more or less central position so that silos are all in a maximum range of 3 hours by car from the administrative building of the company, which obviously constraints the number of visit and oversight that can be performed. The very nature of this geographical situation of dispersion makes of this industry a good example of decentralised system.

4.2 Industrial risks of silos and barriers

Depending of the location of the silo and its design, different type transports are, or are not, available. More complicated silos are those cumulating:

- Railway tracks allowing trains to be used for sending seeds,
- a canal allowing the use of barges for sometimes very large quantity of products (depending on the depth the river) and,
- for all of them, roads for trucks.

They are therefore a bit more complicated technologically and require an ability to manage all the type of installations involved but also a higher level of activity (which is normally compensated by adequate staffing level). There is however very rarely a silo combining the three types of transport, and other features contribute to distinguish between a simple and a complicated silo, for instance:

- the number and size of cells constituting the silos as well as their shapes,
- the type of human machine interface and level of automation of the silo (including temperatures, alarms, etc)



Photo 1. Examples of silos

The organisation studied operated around 65 silos, divided in three territories or areas, with two main areas of about respectively 25 and 30 silos, and about the same number of employees to operate them, out of about 250 employees, including administrative, support and other functions or activities such as stores (about 50 persons). Some silos, the small ones, are left without full time operator, and the bigger silos require sometimes two or three persons, full time, a silo manager and silo operators. The exploitation department is the biggest, with a third of the total amount of people (with the maintenance department). Main industrial risks are fires and explosions. Fires can be produced by self combustion of seeds, and explosions can be generated by clouds of dust ignited by any sources of energy coming from mechanical equipments. Dust is a normal by product of loading, working or transporting grains. Prevention relies on different type of barriers, including aspiration of dust through automation or through manual work, but also actions such as checking temperatures, either directly in silos with instruments

¹ The term “cooperative” defines the specific status of these organisations. A cooperative is owned by farmers who put resources together for planning, collecting, selling and distributing their crops. However, although represented by elected pairs who take part of an administrative committee of the company, they do not interfere directly into the management of the company that is left in the hands of a managing director, part of the administrative committee himself but who remains the formal manager of the cooperative. However, these farmers remain a strong source of power. One of the task of the managing director is to handle the many interfaces with the farmers, on site (farmers live around the sites all year long and have regularly opinions or comments about the silos exploitation), and through the administrative committee.

or through computerised systems. Although for years silos had not really been perceived as high risk technologies, two accidents in France, in 1982 (Metz, 12 casualties) and 1997 (Blaye, 11 casualties), demonstrated the potential severity of dust explosions within confined spaces such as silos.

4.3 Regulatory context

These two accidents led to new and then successively updated regulations, in 1983, then 1998, and a new version of the law came out in 2004, and then again in 2007 to add requirements including near miss management system, to be available for inspections. Early regulations required prescriptive technical measures (aspiration of dust, etc) for preventing fire and explosions, whereas latest versions moved on to safety management principles (in line with other regulations in industrial safety), including:

- producing risk analysis,
- safety procedures to be written and available to personnel,
- training to be ensured to personnel,
- establishing a learning from experience process to be.

It is however only after the Blaye's 1997 accident that a certain level of consciousness gained strength in the industry and in the control authorities, throughout specific programs of inspections targeting silos safety.

5. RESULTS

5.1 Identifying relevant changes in foresight (1st part of the study, oct/nov 2009)

During interviews, many changes were identified, ranging from technological to organisational but also environmental ones. Among all of them, four attracted my attention: new regulations leading to the creation of a hseq function, a new managing director designing a new organisational structure, a new generation of employees and some gradual and rapid technological modifications. They seemed to be significant for safety, either positively or negatively (which is one of the fundamental difficulties with changes, to distinguish or weight their value and drawbacks). They are now introduced. This section attempts to present the findings such as I saw them before investigating the accident. In hindsight, things appeared sometimes differently, for instance more radically than it seemed to be at first, but this will be explored in the section dedicated to the accident investigation. For each of the change retained, there is a conclusion about the potential impact on safety associated with it.

5.1.1 Introducing a new hseq function

The few elements already mentioned above indicated some of the changes of the past years in the environment of the cooperative. During our interviews, many indeed discussed about the increase of regulations (and not only in industrial safety, but also for instance in product quality) and the resulting higher number of outside constraints and inspections throughout the years. One consecutive major implication of the new context after the Blaye accident in 1997 and the new regulation of 1998 was the recruitment of a person in charge of quality, safety and environment. Indeed, facing a more demanding regulatory environment, the organisation had to respond with more resources in order to cope with it. Recruiting someone became a pressing option whereas they had managed all these years without it. A woman was chosen to take on the task of implementing a quality system, then to slowly improve the way safety and environmental issues were managed, for aligning the organisation with the new external pressures. As a result, the department grew, and there are now two more persons working full time under the hseq manager. Describing the ups and downs of her experience as hseq manager for the past ten years, it appeared, while interviewing other individuals about this too, that this new function had to overcome many oppositions from the other departments, which used to be more autonomous before. Introducing quality and safety across the organisation meant sharing information and centralising actions in order to ensure compliance with quality and safety requirements. People, including the hseq manager, talked nevertheless about it in the past, as if all these problems were now behind. Many of the identified tensions with the other managers, like the maintenance manager or human resources manager, were seen as things no longer significant.

One of the key discussions and conflicts throughout the years between these managers was about the relevance of elaborating formal procedures to prescribe working practices (either for quality or safety). As many emphasised during our interviews, the work culture of silos operators had been for many years an oral culture with little description through written rules. This was sustained by a managing style based on proximity with employees, what they described as a family approach of the business. It was a work culture shaped by the autonomy of silos operators, a feature well understandable given the decentralised configuration of this kind of organisation (Antonsen, 2009, as described a similar situation on boats, creating strong work cultures). As most of their days are spent out of sight of managers, trust had become throughout the years the glue holding the system

together in this decentralised mode of functioning. Without definition of what is expected at work (as found in modern quality and safety management systems), trust put in expertise and involvement of operators in their activities (in the past, first line managers or operators were very often local individuals that worked for life in the same silos, and the turnover was low), replaced the interest of having a formal approach where everything is specified under a quality or safety assurance principle. This was an important feature of the organisation for many years, and some of the top managers defended the idea that too much description did not serve quality or safety, as a drawback could be that operators would only apply rules without stepping back or thinking for themselves. Globally however, it seemed that, after ten years and despite tensions due to the introduction of a new and constraining function in the organisation (qhse), the trend was rather positive, and according to a majority of interviewees, the company did progress in quality and safety.

My conclusion was also rather positive but I remained cautious whether this change could be seen as a fully ‘digested’ one or a still potentially conflicting one. It seemed indeed that some recent event told by some had demonstrated enduring frictions between the hseq and some departments (especially maintenance and its manager).

5.1.2. A new managing director followed by a new organisational structure

A new managing director was appointed in 2007. The profile of this new manager was different than his predecessor. His experience was not in operating silos but was based and developed in another department of the organisation, dealing with other issues, including developing products to enhance quality of crops, a central department within the organisation although not as influential as the department of exploitation (which included silos operation and maintenance). The previous and experienced (in exploitation) director left the organisation in 2005 to take other functions in another company, after almost 25 years of acclaimed management. After an ambiguous and unsuccessful replacement by a manager appointed from outside who didn’t fit the job, the current new director from inside the company took the position in 2007. Not long after, he designed a new organisational structure. Because of his lack of knowledge of silo exploitation (and following an inspection by control authorities identifying a regulatory non compliance in a silo, leading to a fine), he decided to move on with a new structure. Safety would be in the hands of operational managers with knowledge of silos exploitation, while he would step back and deal with strategic and managerial issues. In order to do so, his approach consisted in transforming the current organisation (figure 2), and moving from one model to another. While previously there were ‘silo operating managers (or operators)’ under the supervision of ‘area managers’ (between 7 or 8 of them), themselves under the supervision of the ‘exploitation manager’, he added a layer with an almost equivalent function to the ex ‘exploitation manager’, but not completely so: the ‘area exploitation managers’ (aem) function (3 of them, recruited internally). Under the ‘aem’ function, he created a ‘team managers’ (tm) then an ‘operating silo managers (or operators)’ (osm) functions. Figure 2 illustrates also the years before 2000 when the hseq function was introduced.

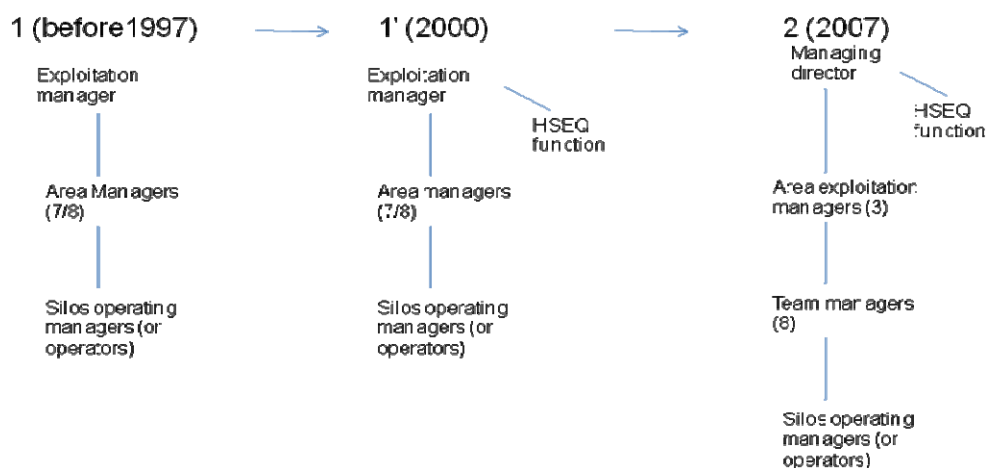


Figure 2 : Moving from model 1 to model 2

In order to ensure the efficiency of this new organisational structure, the managing director required from the newly appointed ‘aem’ to develop auditing frameworks to be used as guiding principles for ensuring compliance with good practices. This type of reporting system based on auditing implemented by the ‘aem’ themselves would allow him to maintain supervision from a centralised point of view, without being physically on

site. It would help taking on the challenges for these persons appointed to these new functions. This new strategy went along a formal delegation of responsibility, developed in 2009, written with the help of a lawyer who advised the top manager to be less exposed to personal liability in case of an accident. This delegation was introduced to the selected 'aem', who had to sign and agree with its terms. As the managing director told us, he expected these changes to increase motivation towards safety. He acknowledged the pressure that it had put on them with the auditing framework as much as with the legal delegation of authority but thought that it was for the good of the organisation. In order to ensure the configuration to work as best as expected, he also spent time describing job definition of the new functions created ('aem' 'tm'). His view on this was that a system is full proof if resources are dedicated to define precisely 'who's doing what' and that information about how things operate in reality is produced and made available. It is therefore confidently, but not without a bit of anxiety because of the mix of trust and pressure that he had to put in the 'aem', that he talked about these changes that he himself introduced and designed.

My conclusion was that these changes were major ones, with implications on real practices and safety that were nevertheless difficult to predict exactly. One was obviously, in theory and in line with the managing director strategy, that these 'aem' would better integrate safety as they would be legally in charge, at least on paper. But I however identified two potential issues, first in the relationship between the hseq manager and the new 'aem'. While for the past ten years the hseq manager had, slowly and with pain, established a centralised position in the organisation, at the right of the managing director(s), the new configuration would be likely to create problems or/and tensions. Safety was to be indeed more decentralised with these three new 'aem' positions and I wondered how safety decisions would be taken between the managing director, hseq manager and them. It seemed that in this domain, decisions would be likely to suffer some difficulties, in case of divergent opinions. Who would have the last word on safety topics, the hseq manager or the new 'aem'? How would the managing director position himself in case of conflicts? The second point that I raised was the problem of the distance this new structure would create between real operations and the managing director. I could imagine that more difficulties would be met for the information to circulate from top to bottom. A known issue, as found in many accidents, is for difficulties met by managers to be discussed with top managers. Aem, especially with the pressure that they had from the managing director, could be in a position of trying to deal with their problems without revealing them in order to be seen as efficient. As the managing director didn't have much knowledge of silo operation, he wouldn't be in a position to challenge real practices when discussing them.

5.1.3. A new generation of workers

In the past three years, fifty percent of the experimented silos operators had been replaced by young ones. A clear impact was well explained by the maintenance manager. For his service, the increase of younger employees implied a higher number of interventions. Whereas in the past, maintenance problems were partly treated locally without informing the maintenance service, the new recruits, on the contrary, called now for any problems, even minor ones. They do not do anything themselves. Even changing a bulb is processed through a maintenance form request, for many of them. This has put stress on the availability of the personnel of the maintenance department. Interestingly these many requests helped also to find out about some corrections brought to silos before, unknown to the maintenance service. Previous common practices of silos managers and operators in some areas consisted, instead of filing a request, of finding themselves solutions to their technical or maintenance problems. This supports well the idea that the decentralised nature of work contributed to the development of local practices and of a specific work culture.

My conclusion was that this change in the maintenance regime had two faces in terms of safety. One positive side exists in the fact that there is a better view on the technical problems that need to be treated properly instead of independently with solutions that can't be evaluated by an adequate level of expertise. But, at the same time, this also means potentially that younger generation is not as knowledgeable about the installations as before. If they do not try to find, at least temporary solutions, could indeed also mean that they have less understanding of silos. One can therefore wonder in case of safety issues whether their knowledge would be sufficient to improvise adequate solutions preventing incidents. A decrease of resilience, at least from the time being, could result from a lack of technical expertise about the functioning of silos. Somehow, this point of view based on the inputs of the maintenance department can be linked with the feeling shared by many of our interviewees that new recruits were not as much involved as their elders, who were really dedicated to the company. From what I exchanged, it seemed that younger employees came to work and left when expected to leave (working from 9 to 5, and not more), and did not show much interest in the company or to silos. Many said that these could be working somewhere else, it wouldn't make a difference to them.

5.1.4. Some technological evolutions

A last category of changes that were retained concerned technology. Many different aspects of technological evolutions could be linked together, some more gradual, some more rapid. First the gradual automation of silos changed working conditions, with slowly removing operators from manual work and silos. The nature of the work changed due to these transformations, but was also combined with a higher demand of quality of the seeds. This new demand, a combination of quality and safety constraints (from customers and regulations), led to the introduction of many new instruments of analysis, requiring different competence, in line with a more and more computerised working environment. Throughout the past 25-30 years, the number of employees dropped considerably because of these higher levels of automation allowing more to be done by less people. To these gradual technological changes, recent ones caught my attention: the higher level of transport capacity of farmers' truck, from seven tonnes to forty tonnes. One activity of silo exploitation consists in collecting crops. Farmers unload their crops in the silos, from July to September. It is the busiest period of the year for silos operators or managers (they employ then temporary workers in order to compensate with increase of workload). The rest of the year is quieter and involves different type of activities (cleaning of grains, control of temperature, drying the grains etc).

One part of their job at this busy time is to organise the unloading of trucks. Farmers can at that moment, queue, wait for their turn. Handling of this situation is important as the pressure is at its highest, farmers do want to proceed as quickly as possible, and do not hesitate to try to influence the workers in this direction. It is indeed within these three or four weeks that farmers ensure their income for the year. A safety issue is to know whether this change consisted in higher chance of bypassing of safety rules in order to accommodate with the new situation. When it took only one minute to unload a truck of seven tonnes, it now takes six minutes. Queues are longer, and impatient farmers can push for greater speed.

But, for the silo that I visited, this was not the only technical change involved recently. For this silo, barges could also be used for transport thanks to the canal nearby. Similarly, barges have considerably increased their capacity, from 500 to 1500 tonnes. One consequence was the need to augment the unloading rate capacity of the installations of the silo. However, it turned out that the project to modify the installations with this objective did not include any consideration of the impact of this technological change on the local practices of managers and operators. My conclusion was that, in terms of safety, there could be concerns about the cumulative effects of these many changes, more gradual throughout the years, but also more rapid ones. Although I couldn't specify exactly how and in what way, I expected problems to be met in the future on this specific silo if the modification was to be carried out without care about impacts on practices.

5.2. A synthesis of identified changes

One way to organise data and conclusions was to show that the changes identified as relevant to investigate in relation with their impact on safety could be located on a continuum including past, present and future (figure 3). Some changes were older than others, and the closer they were to the present the more difficult it was to predict how they would impact safety. My conclusion was that it would be very interesting to study more precisely how they might interact in the future, especially the change of organisation and the hseq position. But other issues such as the integration of the new generation in relation with the changes (gradual and more rapid) of technology could also be seen as interesting to explore. And overall, it would be useful to attempt to go further into the interactions of all these changes together. Whereas for convenience, the four categories of changes extracted were discriminated indeed at first, it was clear that it was an artificial view that could give the wrong impression of independence between them. The challenge consisted in imagining scenarios resulting from their combination (figure 2). For instance, would safety issues related to change of practices resulting from the combined effects of technological evolution and the presence of the new generation be adequately dealt with, given that the safety department had a different position in the system (with latent tensions) and that safety was in the hand of a new decentralised 'aem' function?

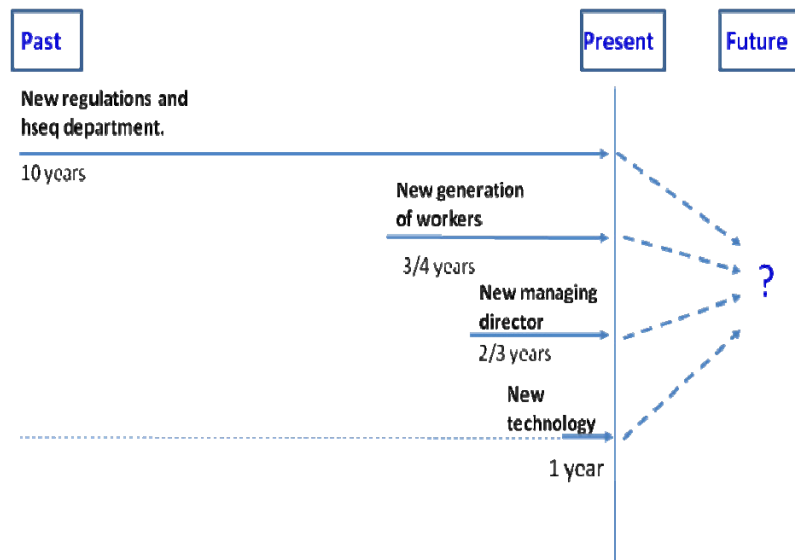


Figure 3. Different changes, what combination in the future?

The accident that occurred demonstrated exactly this, namely how some of these changes (and others not identified in foresight) combined, towards a specific scenario.

5.3 Investigating the accident

As introduced earlier above, the accident, from the silo operator perspective, can be introduced as a lack of temperature checking, although a basic practice of silos safety and product quality. In order to understand why, one needs to describe the sequence of events that led to the accident (the proximate events) then to go back in time and within organisational dimensions to understand the remote conditions that made this accident possible. Some of the changes described in the first part will be met along the way, with some more precision due to the hindsight position.

5.3.1 Proximate events

- **Silo operator**

Technically, the fire was caused by a self combustion of colza seeds. It appeared quite quickly while investigating that one of core human ‘sharp end’ contribution was the lack of follow up on temperatures that is meant to prevent such dangerous rise. If temperatures had been followed regularly and communicated, the tm and aem would have intervened to stop it, by either emptying the cells of the silos concerned by the rise, or by using fans to cool down the seeds. However, beyond a certain threshold of temperature when combustion has slightly started, using air to cool down the seeds is doing exactly the opposite, namely increasing combustion speed and intensity. The operator in charge of this was a young recruit, with less than two years experience. One immediate interpretation by many in the organisation, especially managers, was to blame his lack of involvement and professionalism. It was a good example of this new generation of employees. This young recruit was indeed depicted as not really professional, for instance not tidying up the silo, not logging into the system for recording the temperatures checking, or other parameters. He was described as not really involved, and farmers living nearby, coming around the silo from time to time, once witnessed him playing with his gameboy in the office during working hours. Nevertheless, opinions were divided as some who knew him were saying that he worked hard when being part of a team and under the supervision of a manager. He was not that lazy person described now that the accident happened. Many stressed in this respect that the fact that he was working on his own in the silo did not help.

But as in many accidents; it is only when ‘mistakes’ are put within their context that one can understand them. Here again this principle applied fairly well. When questioning his working conditions, it appeared that he was not allocated full time on this silo, whereas in the past there was an experienced full time operator for the same silo. So he couldn’t dedicate as much time to it, and didn’t have time to get to know the silo very well. Looking at his working conditions, he appeared then to have a very disturbed schedule, making it more difficult to work as expected. One day he would be helping other operators at a different silo, and another day he would be at his silo. This lack of stability played a role in creating a degraded situation. Another issue was the problem of

working the seeds. Because of the really good crops of the year, all cells of his silos were full, and he couldn't easily perform this task, as one needs to be able to transfer grains between cells to work on them (mainly filtering and cleaning). To do so they need one empty cell for the rotation. Another limiting factor was that the installations designed for transfer were very slow ones in this silo, and instead of taking less than a day to do one transfer, it took him two and half days. Given his schedule, being one day there and another somewhere else, this made his work rather difficult to plan and to carry out, especially as he was not fully trained and had to learn on his own.

But that's not all. It turned out that colza is also the most difficult and most dangerous seed to store. In the past and as a consequence, colza was not stored in this silo, but in another one, equipped with automatic temperature checking and also powerful fans that cooled down well the colza, much better than the fans then available in the current silo where the colza was now stored. The density of the colza is high, and powerful fans are needed to go through the tons of seeds from the bottom to the top of the cells. The young operator didn't really know how long it took for the air to go through the seeds stored in the cells. In the past, the colza was also stored where an experimented silo manager was available. All these constraints combined together (disturbed activity, full cells due to good crops, slow transfer rate between cells, rather inadequate fans in comparison with other fans) revealed a particularly complicated context, especially for a young and inexperienced operator. An interesting story demonstrated his lack of awareness over colza's rise of temperatures. Few days before the fire, a farmer said that he saw at the top of two silo's cells (out of ten cells) that snow had melted, indicating high temperature inside these two cells. He informed the operator but it did not trigger any response from him apart from only putting the fans under the cells to cool them down (in retrospect, the fans must have contributed to accentuate the problem). He did not pass on the information. This clearly shows that he didn't have the expertise to understand the severity of the situation.

Even if issues of lack of involvement, laziness and unprofessionalism could be heard and partly accepted as contributing factors to the absence of systematic follow up on temperatures (the operator did say nevertheless that he was checking them but not recording them in the system), his working conditions nevertheless guided the investigation towards the organisation: first for the lack of supervision by the tm, and secondly for the choice of the aem to store colza in this silo (not the best equipped for it), and allocating it, without worrying about the risks involved and consequently ensuring tight supervision preventing drifts, to an inexperienced operator not working full time on the silo.

- **Team manager**

Supervision was supposedly ensured by the new tm function. His tm was working in the silo nearby, about ten minutes away by car. First of all, this silo manager, in charge of one of the busiest silo of the company, did not have much enthusiasm for his new position, as he commented to me. He didn't like to be on the back of people, although an excellent silo operator, employed since 1982 on that very same silo, he didn't have much interest in supervising people. He had three silos to supervise but didn't have much time for them anyway given the level of activity of his own silo. He nonetheless knew about the problems of this young operator, he did notice his lack of recording, his poor tidying up of the place. He also admitted that this young operator had trouble doing his job given his level of expertise but also because of the feature of the installations (i.e. transfer issues). He recalled telling him to be careful about neglecting visual aspects such as housekeeping or recordings because he could be in trouble one day for not doing it (following an audit or incident for instance). He therefore notified few times these problems orally to the aem, who, although acknowledging his comments, did not intervene with the intensity expected. Secondly, his relationship with the aem was not great. For him, he didn't see the aem often enough, communication was very little and from a distance, without strong presence on the field, he also regretted, as tm, not to be included in decisions involving strategies for organising flows of seeds between silos etc. Given that they know well their silos, it is best for them to be asked whether such or such option is more appropriate or not. That was not all. The tm complained about the fact that the aem decided without consulting him about where to put the silo operator in one place or the other to compensate for personnel variation (holidays, illness, absenteeism). We know now from the analysis of the sharp end of this accident that the silo operator was moving from silo to silo according to the varying needs. This was done while bypassing the tm. Given all these elements, the tm was far from being fully involved in his supervising function. The result is that the silo operator, who didn't see the temperature rise, lacked close supervision.

- **Area exploitation manager**

The last comments indicate the part played by the aem in the genesis of the accident. His 'mistake', as he admitted himself during interview with the hseq manager the day after the accident, was to maintain colza for too long in this silo without full time supervision, and with an inexperienced young operator. It is indeed out of good practice, but not impossible to manage such a situation, if close supervision is granted. Thus, in another part of the company's territory in 2004, before the new organisation of 2007, they had already proceeded like this, namely storing colza in a silo not dedicated and supervised by an inexperienced operator, for a few months. They then got

really close to a similar scenario (the colza started to heat) but stopped it thanks to appropriate supervision. On commenting this previous incident, an interviewee explained a very interesting side of silos management. He explained that one difference with younger operators is that they didn't oppose to aem decisions (or previous 'area managers', before the 2007 new structure) as older operators used to do. For example, storing colza in silo not very well equipped for it (in comparison with better and available silos) was not accepted by operators with expertise. They knew that it was difficult and more dangerous. However, according to interviewees, they still had to fight their case because aem would insist. Young operators nowadays did not resist and did not oppose as much to aem decisions.

One wonders why the aem made this 'mistake'. One explanation that comes to mind is that he experienced a blind spot, he didn't see the situation developing, while struggling and juggling with allocating personnel to silos (according to most people there was less people than in the past to operate silos, a statement that human resources manager did not confirm, although the figures did show it). One possible answer is found in his trajectory within the organisation. Recruited in 2007, he is one of the employees who made the best out of the reorganisation. The managing director and human resource manager were looking internally for profiles to take on the new aem functions. This silo operator stood out for his leadership qualities. While under the supervision of a silo manager, he slowly seemed to have taken over. He came to be informally recognised as the manager of the silo. He was selected, among other internal candidates, with the help of an outside human resources consulting company comforting them in their assessment of the potential of this employee (at least on the non technical side). This consulting company saw him as confident, ambitious and with good leadership skills. Although a big step in his professional career, this silo operator became an aem.

One could have expected difficulties, as many commented. So far in the history of the company, only individuals with knowledge of silos and team management could gradually go up and take positions such as aem (or equivalent), and are about ten years older than the new aem when taking on this kind of position. Considering the huge gap between his previous function and his new one, his 'mistake' is not so surprising. Is it not a 'mistake' of someone who is still learning his job? In this respect, it is relevant to note that no specific training was dedicated to non technical skills, either for the aem or the tm, although as stated by many of the interviewees, you can be good technically but bad on the non technical side. This is all the more important for a managing position. I compared then the 'non technical' practices of the other experienced aem (elicited during his interview) with the information that I could gather during all the other interviews about the practices and profile of the aem who made the 'mistake' (some are found in the 'team manager' section). A strong contrast appeared (table 1). As this table show, the contrast helps understanding what decreases likelihood of 'mistakes' for an aem. The experienced aem also added that despite offering the new aem to come and exchange on practices and on his difficulties from his new positions, he never heard from him.

Table 1. Comparing style between experienced and new aem

Style of the experienced aem	Style of the new aem involved in the accident
Cautious	Highly confident
Collective decision making process	Individual decision making process
Technical knowledge of silos and their individual specificities in his area	Little knowledge of all the silos of the area and their specificities
Visit of every silos regularly	Selective visits of some specific silos instead of all
Ensuring motivation of employees	/
Building a network of experts and building trust among them	/
Not being afraid to question oneself	Excess of confidence in the quality of his judgments
Accepting difficulties and being able to discuss them with hierarchy	Hiding problems to keep an image of control in front of hierarchy

In fact, in the light of the accident, the hseq manager revealed the many problems that she had with this aem since he started in his position. He would for example refuse to apply basic safety rules and would oppose many of her suggestions for improving safety. She gave me three concrete examples of procedures not really followed or argued by this aem. Although she would refer to the managing director about these difficulties with this aem, there was no strong action taken. While getting into the different interviews, the profile of the aem slowly took shape (see table 1) and did enlighten the context of his 'mistake', but then triggered also questions about the handling of this individual by top managers.

5.3.2 Remote conditions

The managing director summarised his interpretation of the accident as '*a silo operator who doesn't do his job + an aem and a tm who do not supervise him enough and control his work=a fire*'. Although quite right, it only covered the proximate events. What about the organisational side of this accident? In line with previous models established on grounded analysis of disasters (Turner, 1978, Vaughan, 1996, Hopkins, 2008) and previous personal experience (Le Coze, 2010), it was easy to show the very organisational nature of their accident. Two lines of approach showed this very well. The first one is the absence of treatment of signals (conveyed by the hseq manager), in favour of the new structure, supporting the new aem positions. The second is the absence of understanding that the organisation moved on to a new mode of functioning where trust did not play anymore the regulating role it used to fulfil in the past.

- **Missed signals**

In light of the accident, the interview with the hseq manager went further into the description of the tensions that were mentioned, but only lightly and as a thing of the past, in the first part of the study on changes. The day of the fire, the events started with outsiders (most likely neighbours of the silos) calling firemen because of a gas odour nearby the silos (at the time there was no one working there, the silo operator being somewhere else to replace someone, a frequent situation, as discussed). When informed about this both the hseq manager and the aem came on site to assess the situation. At that point their opinion differed radically about what course of action to take. They realised quickly that it was not gas but smoke coming from one of the cell due likely to a (beginning) self combustion of seeds. But while the aem suggested a conservative angle consisting in emptying the cell and to transfer the good seeds to other cells in order to save what could be saved, the hseq manager had a much more radical strategy consisting in completely emptying the cell to minimise risks. Given these two options, the decision had to be taken by the managing director. After hearing both positions over the phone, the managing director decided to follow the aem. It appeared to be a 'mistake' afterwards as it was already burning to the point that it was not possible to save the seeds by extracting separately the good from the bad. But confronted at that moment with the uncertainty of the situation, he preferred following the aem rather than the hseq manager, although the most expert person on this matter.

This exemplified the fact that for the past months, the hseq suffered from a weakened position within the organisation, and in her relationship with the managing director. With a strong personality and straightforward approach of problems, some did not find it easy to interact with her (and tensions of the past with other departments were also put partly on her personality). The new aem was one of them. He openly complained about her attitude to the managing director and human resources manager (there were written traces of these complains found in his yearly individual appraisal that I had access to). Confronted with tensions between the two, the managing director, given the good results obtained by the aem in general, favoured his judgment and position over the hseq manager. An audit, few weeks before the accident showed that there were problems in that very same silo (housekeeping, recording of temperatures checks, etc). But instead of triggering the right answer to the problem by ensuring for instance a closer supervision, the managing director was satisfied with emails from the aem stating that he was taking care of the situation, by refreshing silo operator's knowledge. The aem's own audit, a few weeks before, did show problems too, but it will not be followed by the appropriate managerial response to the situation.

The hseq manager could see how the aem was influencing the managing director for getting away with safety issues that he thought he could handle without having to be told how to do by the hseq manager. It worked so well, as far as the managing director threatening the hseq manager of job loss if she would carry on interfering with the aem and creating more constraints that needed. At this stage, it really became difficult for the hseq manager to impose and to convince the managing director while taking risks of losing her job. As she described it well, the power plays and influences around the managing director blinded him, who, without knowledge and experience of silo operations, found it very hard to assess the concrete situations for which existed conflicts between the hseq manager and aem. Looking back, the managing director confessed that he had been blind. His will to support the new structure that he created, to facilitate aem new position and to find ways of appeasing the recurrent state of conflict between the two managers (aem and hseq) by favouring one over the other led him to

neglect the warnings of the hseq manager. As he revealed it after the accident, for him (and for the human resources manager), the accident was a huge surprise. It was like a shock that they did not appreciate the situation correctly, and gave their trust to the aem without acknowledging some of the issues pointed at by the hseq manager.

• **From one organisational model to the other, the issue of trust and control**

This failure of hearing the hseq warnings was the indication also of a lack of understanding by the managing director (and human resources manager) that the organisation had shifted from one model to another, and that the hseq function had a very strong role to play in this new model. Table 2 indicates the different features that can be seen as creating a transition or ‘rupture’ with the past. Putting now together many of the observations and data collected throughout the first part (figure 1) and second part of the study, it is possible to sensitise to key differences between the two models and to dig into why the second model failed to prevent this accident.

Model 1 (before 2000 then gradually)	Model 2 (from 2007)
A exploitation manager with experience of silo operation and visiting silos regularly	A new managing director without exploitation experience and more distant from silos
Experts workers with many years of experience and committed to silo operation and to the company	<ul style="list-style-type: none"> • An gradual replacement by young recruits: • with another relationship with work, silos and company, • who need supervision and training • who do not oppose to aem decisions because of lack of expertise
Proximity of area managers to teams due to small areas (less than 10 silos) and presence of a centralisation of exploitation through the exploitation manager.	A wider area covered by area exploitation managers (between 25 and 30 silos) compared to previous areas after new structure and formal legal responsibility of safety
A gradual progression through the organisation	Possibility of going up quickly without going through all steps
A short distance between silos and operations, a good flow of information <ul style="list-style-type: none"> • Limited hierarchical chain • Direction frequently on site 	A reduced information flow, a greater distance between silos operation and direction <ul style="list-style-type: none"> • Longer hierarchical chain • Less time spent on site
No strategy of control of practices through audits, trust and professionalism as principles of functioning of the system	Two different audit systems implemented under the supervision of the hseq manager and areas exploitation manager, trust and professionalism replaced by formal approaches
A limited external regulatory pressure <ul style="list-style-type: none"> • No exposure to oversights by control authorities on industrial safety matters • A low level of external constraints on industrial safety compliance and integration in practices 	A highly regulated context <ul style="list-style-type: none"> • Compliance with regulation requirements • A pressure for more proceduralisation as a demonstration of safety • Frequent interaction with control authorities

One question that one has when investigating such an accident is very much why for so many years such an event never occurred in model 1 and that it suddenly happened in model 2. The answer to this is the absence of understanding that the old model based on trust needed to be based on a different perspective. This evolution has been in fact well described by the managing director who said many times during interviews that *'trust doesn't exclude monitoring'*. This sentence sounds right in this new context where audits have slowly become a core safety tool and where the external regulatory environment requires a formal approach of safety. But his first 'mistake' was to put trust in an aem who should have been supervised and trained to learn good practices of the position (knowledge available in the organisation through experienced managers). If trust is a lever for managing, it can only be granted to experienced people, not someone that should have been seen as a beginner requiring close supervision. His second 'mistake' was to pretend ensuring monitoring when audits and signals conveyed by hseq manager were denied and not followed up with adequate actions. The model 2 is not necessarily less efficient in principle than the previous one, as long as the logic of auditing and safety management system is fully implemented and not maintained in a 'in between state', which was very much the impression that the organisation gave, to be in an intermediate regime.

The same reasoning that the managing director applied, in retrospect, to both the tm and aem who did not act accordingly whereas they had information about problems with the silo operator, could be used at a higher organisational level. Indeed, whereas the managing director had information about problems with the aem (hseq manager) and audits showing problems at the silo, nothing had been done to act accordingly. To replace the managing director's summary *'a silo operator that doesn't do his job + an aem and a tm that do not supervise him enough and control his work=a fire'*, the following sentence was thus suggested *'a new organisational model in place + weaknesses not corrected in this new model= a fire'*.

6. DISCUSSION

This rather unique case study was an excellent opportunity to test the attempt to predict the likelihood of accident due to changes. It is very interesting to see through the investigation that many of the changes retained in the first part of the study played a part in the genesis of the event. The most accurate predictions were about the difficulties of the hseq to position itself within the new structure leading to potential conflict in decisions, but also the fact that information would be likely to be retained at local levels (one of the criticism from the managing director to the team manager was to not report to him about the young silo operator) and not reaching the managing director. There were however information completely missed or unheard of during interviews, although there were clearly important changes. I think for example of the fact that nobody mentioned the decrease and lack of personnel and the resulting constraints for the aem and the tm on work planning. Also surprising is that no one mentioned, especially the hseq manager, the problems met with the aem. I was surprised that the hseq manager did not tell me more about the difficult current situation she was in (the threat of being fired, the conflict with the aem), although not really a change, it was a direct outcome of the change. A last change that was not identified but a very important one is that young people do not oppose as much as experienced silo operators or managers used to.

Perhaps that with more time, more observations and more interviews, these changes and related problems that were not identified in the first part would have come up. Perhaps also that it is much easier for interviewees to talk about some of these issues of change and their impact with the help of an accident in mind, as much as it is easier to reconstruct events in hindsight than in foresight for an investigator. Another aspect is that although I did identify some important issues beforehand through changes, it is only thanks to the investigation that a much clearer picture appeared about what I saw as constituting a shift from one model to the other (table 2). Whether spending more time observing and interviewing people in normal operations would have led to the same conclusion is not sure. It is like if this accident had stopped time and revealed that a new model failed, whereas without the accident, I considered only a flow of changes, instead of a shift with the past. As well explained in many writings, the hindsight bias is a very strong one, and things are not seen the same before and after. This applies to this study. This of course introduces the question of normality of accidents, one of the classic questions of the field since Turner (1978) and Perrow (1984) and further challenged by followers.

In this respect, this experience is rather encouraging and does favour a more optimistic view than the normal accident one, at least on limited systems of this kind. This experience seems to indicate that looking at changes can contribute to see weaknesses and to consider a system more likely to suffer an accident than another system not confronted to these types of changes. This points to the interest of a complementary diachronic emphasis (introducing a time dimension) for studies of normal operations, to the mainly synchronic angle of early high reliability organisations (Roberts, 1993). While at first initiated in studies of accidents (Vaughan, 1996, Snook, 2000), this move has also started in normal operations, from a theoretical point of view (Shrivastava et al,

2009) and from a more empirically based perspective (Roe and Schulman, 2008). This paper has also attempted to show the importance of considering the interaction between a wide spectrum of changes, when they imply, diachronically and synchronically, a shift from one model to another and the ability of the organisation to learn from this shift in order to be able to adjust before the occurrence of bad surprises. Combining both views, bringing together synchronic and diachronic perspectives, is needed in order to understand and assess better dynamical safety properties.

7. CONCLUSION

This paper has introduced then discussed a study conducted in the seed industry, with the purpose of better anticipating impact of changes on industrial safety. Starting with an identification of what appeared to be the most significant changes and how they could translate into practices to challenge safety, it moved on to the investigation of an accident produced by the combinatory effect of some of these identified changes (but also others) of different kind: regulatory, social and organisational over a period of time (2, 3 and 10 years). The interest of the study was to show how these different evolutions defined a new model containing weaknesses not identified and prevented by managers and operators of the organisation. Two next opportunities following this study have been discussed with the managers of the organisation and other people from the seed industry. One would consist in helping the company to implement recommendations, and see how these can practically put in place within the organisation. Some options have already been suggested but it is not sure what will be done. Another one would be to compare a similar organisation of the seed industry which also evolved in the past years and has recently experienced several incidents for which explanations could be found in these evolutions.

8. REFERENCES

Hopkins, A. 2008. Failure to learn. CCH.

Johnson, W.G., 1973. The Management Oversight and Risk Tree – MORT including Systems Developed by the Idaho Operations Office and Aerojet Nuclear Company. Available from: www.nri.eu.com, the website of the Noordwisk Risk Initiative.

Klein, G. 1998. Sources of power. How people make decisions. The MIT Press.

Le Coze, JC. Moving beyond the limits of safety audits. A proposition of hybrid model of industrial safety. Submitted.

Le Coze, JC. 2011. De l'investigation d'accident à l'évaluation de la sécurité industrielle. Proposition d'un cadre interdisciplinaire (concept, méthode, modèle).

Le Coze, JC., 2010. Accident in a French dynamite factory: an example of organisational investigation. *Safety Science* 48 (2010) 80–90.

Le Coze, JC., 2008a. Complexity and learning from accidents. In *Learning from accidents: an anthology on thoughts and ideas from young research fellows*. Swedish Rescue Services Agency.

Le Coze, JC., 2008b. BP Texas city accident : weak signal or sheer power ? In Hollnagel, E., Rigaud, E. (ed.) *Proceedings of the third symposium on resilience engineering*. Juan les Pins.

Le Coze, JC., 2008c. Organisations and disasters: from lessons learnt to theorising. *Safety science* (46) 132-149.

Le Coze, JC., Dupré, M., 2008. The need for translators and new models of safety. In Hollnagel, E., Nemeth, C., Dekker, S., 2008. *Resilience Engineering Perspectives. Volume 1: Remaining Sensitive to the Possibility of Failure*. Ashgate.

Le Coze, JC., Dupré, M. 2006. How to prevent a normal accident in a high reliable organisation : the art of resilience. A case study in the chemical industry. In Hollnagel, E., Rigaud, E. (ed.) *Proceedings of the second symposium on resilience engineering*. Juan les Pins.

Roberts, K. 1993. (ed) *New challenges in understanding organisations*. Mc Millan.

Roe, E., Schulman, P, R. 2008. *High reliability management*. Stanford University Press.

Shrivastava, S., Sonpar, K., Pazzaglia, F. 2009. Normal accident theory versus high reliability theory : a resolution and call for an open systems view of accidents. *Human relations*. Volume 62 (9): 1357-1390.

Snook,S.A. 2000 *Friendly fire, the accidental shutdown of US black hawks over northern Irak*, Princeton university press.

Turner, B. 1978. *Man-made disasters. The failure of foresight*. B

Vaughan, D. 1996. *The challenger launch decision: risky technology, culture and deviance at NASA*, University of Chicago press, Chicago.

Vaughan, D. 1999. *The Dark Side of Organizations: Mistake, Misconduct, and Disaster*. *Annual Review of Sociology*. 25. 271-305.