

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Centre de Metz

THÈSE

présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR

de

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE

D'ARTS ET MÉTIERS

Spécialité : Génie Industriel

par

Samuel BASSETTO

**CONTRIBUTION A LA QUALIFICATION ET AMELIORATION DES MOYENS DE
PRODUCTION**

~

**APPLICATION A UNE USINE DE RECHERCHE ET PRODUCTION DE
SEMICONDUCTEURS**

Soutenue publiquement, le 28 Juin 2005 devant le jury composé de

Mr.	R.	TETI	Professeur à l'Université de Naples	Président
Mr.	E.	CAILLAUD	Professeur à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg	Rapporteur
Mr.	M.	TOLLENAERE	Professeur à l'ENSGI, Grenoble	Rapporteur
Mr.	P.	MARTIN	Professeur à l'ENSAM, Metz	Directeur de thèse
Mr.	A.	SIADAT	Maître de Conférence à l'ENSAM, Metz	Co-directeur de thèse
Mr.	S.	HUBAC	Responsable du groupe process control, STMicroelectronics, Crolles	Directeur Industriel
Mr.	F.	VERNADAT	Professeur, Université Paul Verlaine, Metz	Examineur

« La réussite : 99% de transpiration, 1% d'innovation »

Fernand Petzl – Spéléologue

Avant Propos - Remerciements

Ces travaux de thèse ont débuté dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation à la Recherche en Entreprise (C.I.F.R.E.) avec le Centre Etudes et de Recherche de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Metz, le Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique (LGIPM) et les sociétés SYNLOG puis STMicroelectronics.

Qu'il soit donné à chaque doctorant de rencontrer les personnalités que je vais tenter de remercier dans ces quelques lignes.

Tout d'abords, je tiens à remercier collectivement Patrick MARTIN, Ali SIADAT, Stéphane HUBAC et Alain BOULZE, sans qui ces travaux n'auraient ni pu voir le jour, ni se terminer aussi honorablement.

Je remercie Roberto TETI Professeur à l'Université de Naples, de m'avoir fait l'honneur d'être le président de mon jury. Je remercie Emmanuel CAILLAUD Professeur à l'université Louis Pasteur de Strasbourg, et Michel TOLLENAERE Professeur à l'ENSGI de Grenoble, d'avoir accepté de rapporter mes travaux et d'y avoir porté tant d'intérêt.

Je remercie Patrick MARTIN, professeur à l'ENSAM de Metz, de m'avoir accepté dans son équipe et d'avoir dirigé mes travaux de recherche. Sans son ouverture et sa présence, les recherches auraient été impossibles. Je remercie Ali SIADAT, Maître de Conférence à l'ENSAM de Metz, sa grande ouverture, sa disponibilité, son encadrement subtil et sa gentillesse le rendent pour moi plus qu'un encadrant, un ami.

Je remercie Stéphane HUBAC, Responsable du groupe Process Control chez STMicroelectronics, pour m'avoir permis de continuer et terminer mes travaux de recherche. Grâce à lui les travaux se sont poursuivis et ont convergés. Merci de m'avoir conseillé, soutenu et d'être pour moi un véritable mentor industriel. Je remercie Alain BOULZE, Directeur de la société SYNLOG, pour m'avoir fait confiance et avoir permis de commencer ces travaux de recherche ainsi que mon parcours professionnel.

Merci à Monsieur BAUCHAT pour son soutien et à qui j'attribue l'origine de mon orientation vers la recherche. Un grand Merci à Magali MAUCHAND, et Jean Yves DANTAN pour leur précieuse relecture, mais également aux autres membres du laboratoire et futur docteurs pour nos échanges très intéressants et instructifs.

Merci à mes parents, Christiane et Rodolphe BASSETTO, et à ma famille pour leur soutien constant, leur dévotion et leur amour. Je remercie Aude CAILLE, ma fiancée, à côté de qui j'ai trouvé l'équilibre et la force nécessaire pour mener à bien mes recherches.

Nombreux sont ceux que je n'ai pas cités, qu'ils m'en excusent et trouvent toute ma reconnaissance dans ces quelques lignes. Merci à toutes et à tous.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	12
CHAPITRE I. LE « PROCESS CONTROL», LE MOTEUR DE LA QUALIFICATION ET DE L'AMELIORATION DES MOYENS DE PRODUCTION	16
1 Caractéristiques des produits semi-conducteurs	17
1.1 La fabrication de ces produits	17
1.2 Les grandes étapes de fabrication des produits	17
1.3 Les caractéristiques des fabrications « Front-End »	18
1.4 Des circuits et des technologies	19
1.5 Le cycle de vie des produits, le cycle de vie d'une technologie et la rentabilité	20
2 Caractéristiques d'une technologie de semi-conducteurs	20
3 Un modèle conceptuel des moyens de fabrication	23
4 Le travail du «process control»	25
4.1 Aspects organisationnels : le service «process control»	26
4.2 Présentation d'axes de travail relevant de la qualification	28
4.3 Présentation d'axes de travail relevant de l'amélioration	30
4.4 Quelques outils	31
5 Problématique et axe de recherche	31
5.1 La complexité de la mission du «process control»	31
5.2 Problématique	34
5.3 Axe de recherche	34
CHAPITRE II. UNE METHODOLOGIE DE GESTION DES RISQUES CONTRIBUTANT A LA QUALIFICATION ET A L'AMELIORATION DES MOYENS DE PRODUCTION	36
1 Description du besoin	37
1.1 Le monde parfait...et la réalité	38
1.2 Un constat de manques	38
1.3 Le besoin	39
2 Quelques recherches sur les AMDEC	40
2.1 Quelques références normatives	40
2.2 Quelques travaux spécifiques	42
2.3 L'AMDEC, le vilain petit canard ?	44
3 Construction de la démarche de gestion des risques	44
3.1 Une démarche systématique d'analyse	45
3.2 Le cadrage des analyses	46
3.3 Comment se concentrer sur les problèmes opérationnels ?	47
3.4 Comment obtenir des informations pertinentes ?	48
4 Les supports de la démarche	49
4.1 Le support de déploiement	49
4.2 Les synthèses comme un support	51
5 La vie de la démarche	53
5.1 De la collecte des évènements...	53
5.2 ... à leur intégration dans les AMDEC	53
6 Rationalisation des pratiques de gestion des risques	54
7 Synthèse des réalisations	55
8 Faisons un peu de modélisation...	56
8.1 Les modèles	57

8.2 Les interactions entre les éléments	61
8.3 Les connaissances métiers dans ces travaux	72
9 Conclusion du chapitre	74
CHAPITRE III. MISE SOUS SURVEILLANCE DES MOYENS GENERAUX	76
1 Une description des métiers	78
1.1 Les spécificités de la chimie	78
1.2 Les spécificités des gaz	78
1.3 Les spécificités de l'EDI	79
1.4 Les spécificités de l'HVAC	79
1.5 Les spécificités de la salle blanche	79
1.6 Les spécificités des rejets liquides	79
1.7 Les spécificités de l'électricité	80
2 Analyses des besoins	80
2.1 L'identification des variables importantes	80
2.2 La collecte des données off line	80
2.3 Fournir des axes d'amélioration des installations	81
2.4 Liste des besoins	81
3 Quelques éléments sur la maîtrise statistique des procédés	81
3.1 Eléments de statistique descriptive élémentaire	82
3.2 Eléments pour le contrôle de production	83
3.3 Vers l'emploi de statistiques descriptives évoluées	87
4 Réalisations	88
4.1 Le plan de surveillance	88
4.2 La collecte des données off line	92
4.3 L'outillage de l'amélioration	95
5 Synthèses des réalisations	100
6 Pour en revenir à la problématique...	101
6.1 Les modèles d'activités	101
6.2 Les processus	109
6.3 Les connaissances manipulées	110
7 Conclusion du chapitre	111
CHAPITRE IV. PROPOSITIONS DE MODELES POUR QUALIFIER ET AMELIORER LES MOYENS DE PRODUCTION	114
1 Le concept de «process control» dans la littérature	115
1.1 Une vue « régulation »	115
1.2 Une vue mathématique appliquée	117
1.3 Une vue d'ingénierie qualité	119
1.4 La nécessité d'une vue intégrée	120
1.5 Nos outils de modélisation	121
2 Le thème sous jacent des connaissances	122
2.1 Le concept de connaissance et ses caractéristiques	122
2.2 Vers un invariant des connaissances métier	124
2.3 Comment supporter les connaissances métier ?	126
3 La construction des activités du «process control»	128
3.1 A21 / Collecter	129
3.2 A22 / Analyser off line	132
3.3 A23 / Gérer les risques	133
3.4 A24 / Analyser on line	134
3.5 A25 / Synthétiser	136
3.6 La vue A2/ « Réaliser la qualification et l'amélioration »	138
3.7 Vue A-0 / Qualifier et améliorer l'élément	144
3.8 Synthèse sur la partie « activités »	144

4 Les processus métier du «process control»	145
4.1 Description des processus de qualification et d'amélioration d'un élément	145
4.2 Liens interprocessus	151
4.3 Maîtrise globale des moyens de production	152
5 La robustesse de la qualification et de l'amélioration	155
6 Conclusion du chapitre	157
CONCLUSION GENERALE	160
BIBLIOGRAPHIE	166
Annexes	179
ANNEXE 1. Glossaire	180
1 Orienté semi-conducteurs	180
2 Orienté génie industriel :	180
3 Equivalence des termes	181
ANNEXE 2. Grilles de cotations des risques	183
1 Grilles de cotations pour les non conformités produit	183
2 Grilles de cotations pour le temps de cycle	185
ANNEXE 3. Quelques outils de modélisation en entreprise	187
1 IDEF et quelques applications	187
2 CIMOSA et applications	188
3 GRAI et applications	189
4 Conclusion	191
ANNEXE 4. Analyse du concept « connaissance »	192
1 Quelques développements relevant des mathématiques appliquées	192
2 La connaissance, un concept bien défini	194
3 Les cadres directeurs de gestion des connaissances	195
4 La connaissance, un objet non identifié ?	197
5 Conclusion	198
ANNEXE 5. Les concepts associés aux activités du «process control»	200
1 Modèle des concepts relatifs aux activités de «process control»	200
2 Modèle représentatif du domaine	204
3 Interaction entre les modèles conceptuels et les activités : « Alimentation » des activités	208
4 Discussion et limites de ces modèles	210
ANNEXE 6. Détail des paramètres des activités de «process control»	212
ANNEXE 7. Réalisations de la mise sous contrôle des facilities.	214
1 Modèle des données de la base de données off line des facilities	214
2 Présentation des outils SPC des facilities	215
ANNEXE 8. Réalisation de la gestion des risques opérationnels	216
1 Méthode	216
2 L'outillage	218
3 Réalisation	219

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Description des étapes de fabrication des produits semi-conducteurs. _____	18
Figure 2. Transistor NMOS dans une technologie CMOS. _____	21
Figure 3. Transistor CMOS et un niveau d'interconnexion. _____	22
Figure 4. Modèle conceptuel des moyens de production des semi-conducteurs. _____	24
Figure 5. Une cartographie du «process control» ? _____	33
Figure 6. Le coût d'une défaillance augmente lorsqu'elle se rapproche du client. _____	39
Figure 7. Schéma de la grille d'analyse utilisée. _____	45
Figure 8. Boucle de rétroaction sur les analyses en fonction des événements. _____	49
Figure 9. Extrait de l'outil de synthèse, montrant les zones à risques au niveau de l'usine. _____	52
Figure 10. Rapport graphique des risques machines pour l'atelier CMP. _____	52
Figure 11. Processus actuel de gestion des risques. _____	54
Figure 12. Processus actuel 8D. _____	54
Figure 13. Intégration 8D – AMDEC dans une activité de gestion des risques. _____	55
Figure 14. Activité de collecte des événements. _____	58
Figure 15. Activité de gestion des risques opérationnels. _____	59
Figure 16. Activité de synthèse. _____	60
Figure 17. Processus de mise sous contrôle des risques. _____	60
Figure 18. Relation entre E_i et E_j . _____	61
Figure 19. Illustration de la relation de E_i à E_j _____	62
Figure 20. Illustration de la relation de E_j vers E_i _____	63
Figure 21. Exemple pour les typologies. _____	64
Figure 22. Illustration du concept de typologies. _____	65
Figure 23. Conséquence des typologies sur les liens entre deux éléments. _____	66
Figure 24. Exemple sur les typologies. _____	66
Figure 25. Illustration des liens entre les typologies. _____	67
Figure 26. Illustration des liens entre les typologies de E_j vers E_i _____	68
Figure 27. Illustration de la stabilité de l'espace des typologies. _____	69
Figure 28. De la mise sous contrôle au retour d'expérience. _____	70
Figure 29. Histogramme de la température de « départ boucle de l'EDI » – représentation d'une campagne de 2817 mesures représentatives. _____	83
Figure 30. Schéma de contrôle a posteriori par échantillonnage. _____	84
Figure 31. Schéma de l'échantillonnage final et du suivi par carte de contrôle. _____	85
Figure 32. Schéma de contrôle d'un procédé de fabrication sur base d'indicateurs. _____	86
Figure 33. Contrôle d'un procédé unitaire. _____	87
Figure 34. Carte de contrôle multidimensionnelle. _____	88
Figure 35. Positionnement du travail. _____	90
Figure 36. Nombre des paramètres traités _____	90
Figure 37. Extrait du plan de surveillance. _____	90
Figure 38. Activité de sélection. _____	91
Figure 39. Activité de caractérisation. _____	92
Figure 40. Illustration des travaux. _____	93
Figure 41. Masque d'échange des données avec les laboratoires. _____	93
Figure 42. Activité de collecte des données off line. _____	94
Figure 43. Processus lié à la collecte de données off line. _____	95
Figure 44. Positionnement des travaux sur les indicateurs de maîtrise. _____	95
Figure 45. Activité de collecte de données. _____	96
Figure 46. Activité d'étude statistique. _____	97
Figure 47. Activité d'analyse en temps réel. _____	98
Figure 48. Activités de synthèse et de réaction. _____	99
Figure 49. Illustration du processus de maîtrise des moyens généraux. _____	99
Figure 50. Stratégie de maîtrise in et off line des moyens généraux. _____	100
Figure 51. Activité de collecte des données. _____	103
Figure 52. Modélisation de l'activité d'analyse de données off line. _____	104
Figure 53. Détail de l'activité d'analyse on line. _____	106
Figure 54. Activité liée à la synthèse. _____	108
Figure 55. Formalisme employé pour les processus. _____	109

Figure 56. Processus d'analyse off line.	109
Figure 57. Processus d'analyse online.	110
Figure 58. Modèle de «process control» pour la fabrication des VLSI.	116
Figure 59. Cadre d'un système de «process control» intelligent.	118
Figure 60. Illustration du concept de connaissance.	123
Figure 61. Caractéristiques des composantes de la connaissance et de leurs interactions.	124
Figure 62. Arborescence de décomposition des activités du «process control».	129
Figure 63. Activité de collecter.	131
Figure 64. Activité d'analyser "off line".	133
Figure 65. Activité de gérer les risques.	134
Figure 66. Eléments constitutifs de l'activité d'analyser « on line » .	135
Figure 67. Activité de synthèse.	137
Figure 68. Activité de réalisation de la qualification et de l'amélioration.	140
Figure 69. Qualifier et améliorer un élément.	142
Figure 70. Formalisme employé pour représenter les processus.	146
Figure 71. Processus d'analyse off line.	147
Figure 72. Scénario de gestion des risques.	148
Figure 73. Scénario des analyses on line.	150
Figure 74. Processus de qualification et d'amélioration d'un élément.	151
Figure 75. lien entre les scénarios de qualification et d'amélioration.	152
Figure 76. La mise sous contrôle et le retour d'expériences.	154
Figure 77. Paramètres nécessaires au fonctionnement de BP X.1 dégradé.	155
Figure 78. Paramètres nécessaires au fonctionnement de BP X.2 dégradé.	156
Figure 79. Paramètres nécessaires au fonctionnement de BP X.3 dégradé.	156
Figure 80. Modèle TO-BE en entreprise du «process control».	158
Figure 81. Synthèse de la qualification et de l'amélioration d'un élément.	159
Figure 82. Exemple d'une grille d'analyse AMDEC.	183
Figure 83. Modèle d'un système.	190
Figure 84. Modèle de contrôle des performances.	190
Figure 85. Le système de référence des flux cognitifs	195
Figure 86. Boucle de la gestion des connaissances.	196
Figure 87. Modèle conceptuel des 5 activités de «process control».	202
Figure 88. Modèle conceptuel du domaine des fabrications front-end semi-conducteur.	206
Figure 89. Modèle conceptuel de données de la base de données off line.	214
Figure 90. Photo d'écran de l'outil de visualisation des cartes de contrôles.	215
Figure 91. Photo d'écran d'une carte de contrôle.	215
Figure 92. Extrait de la méthode de gestion des risques.	216
Figure 93. Extrait des analyses de risque des machines.	217
Figure 94. Prototype informatique pour la synthèse des risques.	217
Figure 95. Extrait des risques machines.	218
Figure 96. Extrait de la synthèse des risques des machines.	219
Figure 97. Synthèse des risques des ateliers.	219
Figure 98. Synthèse des risques des technologies.	220

INTRODUCTION GENERALE

Des voitures aux ordinateurs, de l'éclairage à l'eau potable, les biens et services qui nous entourent sont pour beaucoup issus d'une démarche industrielle de production ou de transformation. Elle est justifiée par la capacité à produire en masse et en qualité¹. Par une organisation et des actions adaptées, il est possible d'agir sur les moyens de production² et ainsi relever le niveau de qualité de milliers de produits³. Pour cela plusieurs voies d'actions peuvent être envisagées :

- Au niveau des outils de fabrication, il est possible de les choisir et de les rendre robustes et flexibles.
- Au niveau des produits, des contrôles peuvent être menés a posteriori ou pendant leur production. En cas de défauts avérés, des enquêtes peuvent déterminer les sources de défaillance et des actions correctrices être conduites.
- Au niveau de l'organisation, il est possible d'apprendre des erreurs passées en vue d'implémenter de meilleurs processus. Des améliorations peuvent alors en découler agissant sur les moyens de production et sur les pratiques quotidiennes de fabrication.
- Dès la conception des produits, la prise en compte des moyens de fabrication, permet de rendre les produits robustes et ainsi améliorer leur qualité.

Notre recherche s'inscrit dans une logique d'amélioration de la qualité des produits par des actions pertinentes sur leurs moyens de production. Elle s'appuie sur des études menées en entreprise et notamment dans la production de circuits intégrés. Ce secteur d'activités est caractérisé par quatre caractéristiques majeures :

- Les produits semi-conducteurs possèdent une forte rentabilité mais sur une très courte durée⁴.
- Les produits subissent un constant renouvellement⁵.
- Les exigences clients en terme de qualité restent très fortes⁶.
- Les moyens de recherche et production doivent être rentables.

Cela contraint donc les industriels à composer avec des cycles d'apprentissage et de maîtrise de leurs moyens de production, très courts, tout en maximisant la rentabilité. La recherche de la qualité est donc une priorité stratégique de ce secteur tant d'un point de vue technologique que financier.

Des normes aident ces industries à structurer leur démarche d'amélioration continue. Mais pour être effective, cette culture qualité doit être pratiquée et ne peut pas être uniquement décrétée. Pour cela, il faut qu'elle tienne compte des contraintes industrielles. La continuité de l'amélioration ne peut donc pas être réduite aux retours clients ou aux mesures a posteriori de la fabrication.

- La notion de cycle introduit une **dynamique** tenant compte de l'évolution des fabrications.

¹ La qualité est une notion très dépendante du contexte dans lequel elle est employée. Réponse aux besoins, constance, robustesse, fiabilité, sont autant de synonymes de qualité. Vue par l'utilisateur la qualité est très subjective. C'est pourquoi hors les coûts et la rapidité de production, les perceptions de la qualité relative aux utilisateurs ne sont pas prises en compte. Cela permet d'éviter les écueils publicitaires, comme par exemple, comment assurer le caractère authentique d'un produit ?

² Le terme « moyen de production » englobe également le terme de « transformation ».

³ On parlera de manière indifférenciée de produits ou services.

⁴ Entre 6 et 12 mois de rentabilité.

⁵ Les produits ont une durée de vie de fabrication de l'ordre de 2 ans.

⁶ Moins de 1 défaut par milliard produits livrés.

- La notion de maîtrise doit être vécue au niveau de la production ; ce qui contraint la méthode à être **opérationnelle**.
- La notion d'apprentissage conduit à **supporter les connaissances métiers**, pour ne pas tout réinventer à chaque produit.

Ainsi pour composer avec ces contraintes, nous proposons une démarche de qualification et d'amélioration continue : dynamique, opérationnelle et supportant les connaissances métiers. Nous appuyons sa construction sur des activités et des processus métiers adaptés. Ainsi la démarche qualité est enracinée dans l'organisation qui se l'approprie, apprend et la promeut par la pratique. L'usine est alors parée pour viser l'excellence manufacturière. Cette proposition définit également la mission du « process control ».

Les cadres contractuels de ces travaux de recherche ont été chronologiquement : DuPont De Nemours – Teijin Films (Luxembourg), Synlog (Meylan), STMicroelectronics (Centre Commun de Recherche en Microélectronique, usine de Crolles 2 Alliance). Les travaux se sont déroulés dans et pour des services dits de «process control». Dans une dimension proche des machines, le «process control» aide à l'analyse, la maîtrise et la fiabilisation des équipements. Proche des produits, il supporte la mise sous surveillance de leurs qualités. Proche des Hommes, il intervient dans la définition des méthodes industrielles et agit au niveau des processus de formation. Ce travail porte en particulier sur notre activité d'ingénieur « process control » au sein du groupe STMicroelectronics dans le cadre d'une convention CIFRE.

PLAN DE THESE

La thèse débute (**Chapitre 1**) par une présentation du contexte industriel et pose la problématique de recherche liée à la difficulté de mise en place d'une démarche qualité d'amélioration continue : dynamique, opérationnelle et supportant les connaissances métiers.

Ensuite (**Chapitres 2 et 3**) des cas d'études opérationnelles sont abordés de façon détaillée. Chapitre 2, nous analysons la façon dont sont gérés les risques opérationnels et les besoins associés. Chapitre 3, nous analysons la mise sous contrôle des moyens généraux de l'usine de Crolles2 et les besoins associés. Chacun des deux chapitres détaille ensuite notre réponse opérationnelle :

- Le deuxième chapitre expose notre construction de la méthode de gestion des risques basée sur l'AMDEC⁷, ses supports ainsi que la vie de cette démarche.
- Le troisième chapitre, quant à lui, décrit les réalisations permettant de mettre sous contrôle les moyens généraux.

Notre démarche de recherche est alors inductive. Dans chacun des chapitres, nous introduisons différents modèles ainsi que leurs liens.

C'est en consolidant progressivement ces résultats et en intégrant la dimension liée aux connaissances, que nous construisons (**Chapitre 4**) notre réponse à la problématique. Elle est structurée en deux parties :

- Les activités permettant de réaliser la qualification et l'amélioration des moyens de production.
- Les processus métier enchaînant ces activités, rendant ainsi dynamique la qualité opérationnelle.
- Une réflexion sur la robustesse de ce modèle termine ce chapitre.

Cette thèse est **conclue** par des recommandations relatives au déploiement et la pérennisation de ce modèle au sein d'autres organisations.

⁷ AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités. En anglais FMECA pour Failure Mode Effect and Criticity Analysis.

**CHAPITRE I. LE « PROCESS
CONTROL », LE MOTEUR DE LA
QUALIFICATION ET DE
L'AMÉLIORATION DES MOYENS DE
PRODUCTION**

Les travaux se déroulent dans une usine de recherche et production de semi-conducteurs. Freescale semiconductors, Philips Semiconductors et STMicroelectronics ont joint leurs efforts au sein du site de Crolles2 Alliance, afin de maîtriser et produire des circuits intégrés basés sur des composants aux tailles nanométriques. Cette usine représente un investissement de plus de 3 Milliards d'Euros.

Cette partie a pour objectif d'introduire la problématique et l'axe de recherche envisagés. Pour cela :

- Les caractéristiques des produits semi-conducteurs sont décrites dans le premier paragraphe.
- Le second paragraphe présente les caractéristiques d'une technologie de semi-conducteurs.
- Une synthèse est proposée dans la troisième partie.
- Le travail du «process control» est ensuite présenté et notamment ses deux axes de qualifications et d'amélioration.
- Par une analyse des difficultés rencontrées, la problématique et l'axe de recherche associé, clôturent ce chapitre.

1 Caractéristiques des produits semi-conducteurs

Les ordinateurs, les téléphones portables, les télévisions, les radios, les voitures sont autant de produits utilisant des circuits intégrés. C'est grâce à leurs petites tailles (quelques mm² à quelques cm²), à leurs importantes capacités fonctionnelles et à leurs tenues aux contraintes extérieures que ces circuits sont largement utilisés. Les fonctionnalités des puces sont basées sur l'intégration de millions de transistors et autres composants élémentaires sur de très faibles surfaces. Les dimensions de ces transistors sont de l'ordre du dixième de micromètre. Les produits employant ces puces peuvent disposer de performances élevées en terme de : vitesses de fonctionnement (GHz), consommations faibles, nombre et type de composants intégrés : mémoires de plusieurs gigaoctets, décodeurs, émetteurs, récepteurs, etc.

1.1 La fabrication de ces produits

La fabrication d'un **circuit électrique** se résume grossièrement à l'assemblage et à l'interconnexion de composants préfabriqués sur une carte. Pour les **circuits intégrés**, les composants sont construits directement avec leurs connexions. Les composants et la circuiterie sont intégrés dans et sur un même support et contenus dans un même boîtier. Le support majoritairement employé est le silicium. Il possède des propriétés semi-conductrices qui sont accentuées par des opérations de dopage. La génération des composants du circuit se fait par dépôt et retrait sélectif de matériaux. Les formes des circuits sont obtenues par l'utilisation de procédés optiques (photolithographie) et de gravures physico-chimiques. Comme pour un montage électronique chaque circuit comporte des connexions entre ses composants. Elles sont créées par des couches métalliques liées entre elles.

1.2 Les grandes étapes de fabrication des produits

La fabrication de produits semi-conducteurs, Figure 1, peut être représentée par quatre grandes étapes :

Production de la matière première, du substrat : tranches de silicium ultra pur monocristallin (wafers⁸).

En parallèle fabrication des masques de lithographie.

Fabrication des circuits (puces) : production des circuits, et test électrique de validation des composants.

Découpage, mise en boîtier et tests finaux.

La production des circuits et des tests intermédiaires est l'étape dite de « **front-end** ». La découpe, la mise en boîtiers et les tests finaux sont dits de « **back-end** ».

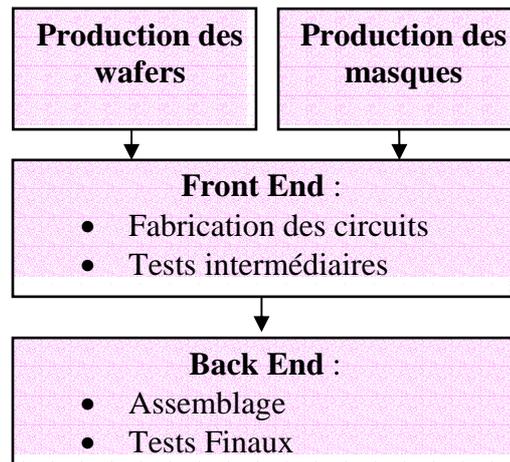


Figure 1. Description des étapes de fabrication des produits semi-conducteurs.

Ces fabrications sont très sensibles aux contaminations particulières, ioniques et organiques. Aussi, lors de la fabrication et notamment de l'étape « Front End », le produit est plongé dans une ambiance ultra pure qu'elle soit de nature gazeuse, liquide ou solide. L'usine de fabrication est donc d'une propreté extrême. Seulement quelques particules de plus d'un micron de diamètre sont acceptées au pied cube. Chaque robot déplaçant les plaques est contraint de ne pas générer de particules lors de son déplacement. Les joints, les huiles, les graisses ne doivent pas dégazer. Les produits chimiques et l'eau de rinçage en contact avec les wafers ne doivent pas être contaminés. Toute une infrastructure doit assurer le respect de la plus faible contamination. Par exemple, l'usine de Crolles 2 dispose d'une salle blanche de plus de 10000 m² d'une classe 4 (moins de 4 particules de plus d'1 micromètre de diamètre au pied cube).

1.3 Les caractéristiques des fabrications « Front-End »

Les produits semi-conducteurs sont caractérisés par :

- une forte valeur ajoutée (de l'ordre de 500 Euros la plaquette de silicium vierge à 5000 Euros la plaquette comportant les puces).
- un temps de cycle de fabrication toujours trop important (entre 50 et 60 jours).
- un nombre élevé d'opérations : ~250 opérations par produit.

Suivant la nature des procédés employés, les opérations peuvent être réalisées à l'unité ou par paquets de plaquettes. Un tel paquet est appelé « batch ». Les usines sont organisées

⁸ Différents procédés peuvent être utilisés pour le raffinage du silicium, notamment la zone de fusion locale. La croissance d'un germe de silicium monocristallin permet d'obtenir un lingot pouvant être débité en wafers.

par ateliers flexibles, en flux discontinus. Différents produits, à différents stades de maturité de la vie de leur fabrication, se côtoient sur une même ligne de production. On peut ainsi trouver en fabrication aussi bien des prototypes que des produits en fort volume. Pour réaliser cette flexibilité, les liens entre les trois pôles produits - procédés - ressources sont particulièrement surveillés afin de pouvoir adapter les capacités des équipements aux besoins de production.

Au niveau des machines, chacune d'elles peut être qualifiée pour réaliser une ou plusieurs opérations de la gamme de fabrication. Cette faculté est attribuée par un comité spécifique. Ce concept de qualification des machines est au cœur de l'ordonnement de la fabrication. Il permet en cas d'indisponibilité d'une machine de réaliser l'opération de fabrication sur une autre machine déclarée capable de la faire. Il y a alors possibilité de définir des routes de fabrication adaptées aux capacités et à la charge du parc machine. Un fort taux d'automatisation caractérise cet environnement manufacturier.

La conception et la vie de la gamme (respectivement recettes, respectivement machines) sont du ressort des groupes produits (respectivement procédés, respectivement équipements).

1.4 Des circuits et des technologies

Les circuits intégrés réalisent différentes fonctionnalités grâce à l'intégration de composants de base (transistors, résistances, capacités, etc.) aux tailles nanométriques. Chaque circuit en comporte plusieurs millions. La fabrication de ces éléments de base détermine la façon dont est fabriqué le produit. Aussi, s'intéresser à la fabrication des circuits intégrés c'est avant tout s'intéresser à la fabrication de ces composants élémentaires ainsi que leurs interconnexions.

Une **technologie de semi-conducteurs**⁹ désigne un type de composant de base d'un circuit intégré. Une **technologie de fabrication** désigne une façon de fabriquer. Les technologies de semi-conducteurs sont organisées en générations. Chaque génération (appelée CMOS090, CMOS120, CMOS065) repose sur une gamme conceptuelle de fabrication appelée, dans le métier, « process flow » (la traduction devrait être « conceptual process plan »). Différentes variantes sont proposées à partir de cette gamme pour élargir le spectre des applications possibles.

Pour une technologie donnée, beaucoup de produits d'application, différents pourront être fabriqués. Les produits d'une technologie diffèrent les uns des autres par les masques de photolithographie définissant les motifs des circuits intégrés. Un ensemble de masques de tests (appelés dans le métier véhicules de tests) sont employés pour vérifier la capacité à produire les composants élémentaires constitutifs de la technologie.

Ainsi pour maîtriser la fabrication d'un produit, il faut maîtriser la fabrication de la technologie à partir de laquelle il est construit. C'est pour cette raison que le paragraphe 2 détaille la fabrication des transistors et de leurs interconnexions. D'une technologie à l'autre, les grandes lignes de cette présentation pourront être retrouvés aux ajustements prêts.

⁹ Dans le reste de cette thèse une technologie désigne une technologie de semi-conducteurs. Si l'on se réfère à une technologie de fabrication, cela sera précisé.

1.5 Le cycle de vie des produits, le cycle de vie d'une technologie et la rentabilité

Du point de vue de l'utilisateur, la **durée de vie de ces circuits** est de l'ordre d'une dizaine d'années. Le cycle de vie de ces circuits peut être résumé en 4 étapes :

- Début de vie : Etude / Conception qui génère ou est liée à une demande.
- Fabrication : Production
- Corps de vie : Utilisation
- Fin de vie : Rebut / Recyclage

Une fois leur vie terminée, ils peuvent entrer dans un cycle de recyclage pour récupérer des matériaux précieux.

La **durée de vie de la fabrication d'une technologie** est d'environ une demi douzaine d'années. Au delà de cette date, pour des raisons de maintenance de systèmes (aviation par exemple), des produits qui ne sont plus fabriqués en volume restent susceptibles d'être fabriqués à nouveau pour des pièces détachées et des opérations de maintenance. En parallèle de la fabrication il existe un processus de transfert technologique. Il permet pour une technologie donnée, son passage de la phase de recherche aux premiers prototypes puis à la phase de montée en volume de sa production. Ce transfert est réalisé par un enchaînement de tests d'aptitude. La maturité d'une technologie est fonction de son avancement dans ce processus.

Du point de vue du fabricant, la qualification des technologies est le passage de la phase de recherche et développement à la phase de production. Ce cycle de vie d'une technologie peut être représenté par 4 grandes étapes :

- Lancement
- Maturation :
- Production
- Déclin

Ces cycles de vie sont associés à un paramètre important du point de vue industriel, la **rentabilisation** des investissements. Rentabiliser une technologie de fabrication est possible par la production de produits employant ces technologies. Or le marché des circuits intégrés se démode très vite. Un composant âgé de 2 ou 3 ans est considéré comme obsolète, bien qu'il ne soit (en moyenne) qu'à la moitié de sa durée de vie. Cette obsolescence conduit à des créneaux de rentabilité très courts et engendre une constante recherche de gisements de revenus. Cela se traduit par une recherche permanente de nouvelles technologies et de nouvelles applications.

Il est donc fondamental de doser l'innovation de rupture pour ne pas tout réinventer à chaque technologie. Il faut tout d'abord savoir **apprendre** des technologies et des produits passés. Puis, il faut **réintégrer** ce savoir dans les nouvelles technologies. Ces deux aspects sont essentiels pour maîtriser et améliorer la phase de rentabilisation des technologies.

2 Caractéristiques d'une technologie de semi-conducteurs

a) Les caractéristiques d'un transistor :

Le transistor MOS (Metal Oxyde Semiconductor) est le composant élémentaire le plus répandu dans la production actuelle de circuits intégrés semi-conducteurs. Il entre dans la fabrication du composant CMOS (pour Complementary MOS) qui représente 70% de la production mondiale de circuits intégrés.

Cette partie présente les points clés de la fabrication de transistors. Pour plus de précision, nous conseillons les lectures de [SKOTNICKI 2001, a] et [SKOTNICKI 2001, b].

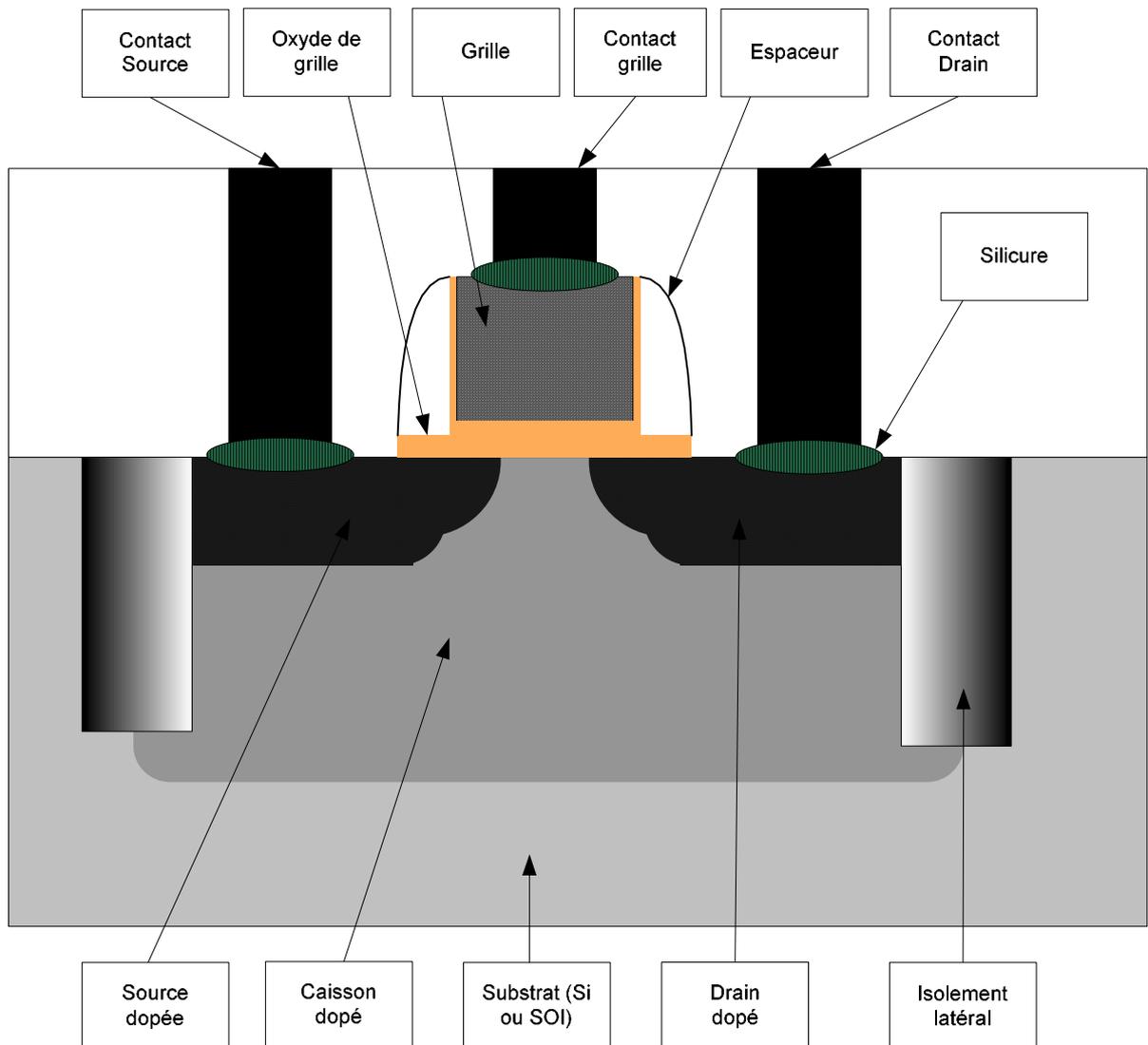


Figure 2. Transistor NMOS dans une technologie CMOS.

Les transistors sont construits sur un **substrat** semi-conducteur le plus souvent en silicium (ou SOI¹⁰). Fabriqué en plaques (wafers) de plusieurs centimètres de diamètre, le silicium est préalablement dopé. Comme chaque puce contient de nombreux transistors, des interactions électriques sont possibles entre eux. Aussi chaque transistor est différencié de ses voisins par un **isolement latéral** et un **caisson** obtenu par dopage en volume du silicium. Le principe des transistors est de contrôler le passage d'un courant entre deux zones dopées appelées **source** et **drain**, par l'application d'une tension sur une électrode appelée **grille**. La tension est appliquée à la grille au travers d'un contact appelé

¹⁰ Silicium On Insulator

contact grille. Cette tension permet de modifier la concentration et le type de charges sous la grille permettant ou non la circulation d'un courant entre la source et le drain. L'application d'une différence de potentiel entre la source et le drain, au travers des « **contact source** » et « **contact drain** », permet de mettre en mouvement des charges. Ainsi un courant est généré entre ces deux zones à travers le canal « libéré » sous la grille. Les interfaces au niveau des contacts sont améliorées par l'emploi d'un dépôt métallique appelé **silicure**. Le profil de dopage contrôlé des zones de source et de drain nécessite l'utilisation d'**espaceurs**.

b) Les caractéristiques d'une technologie :

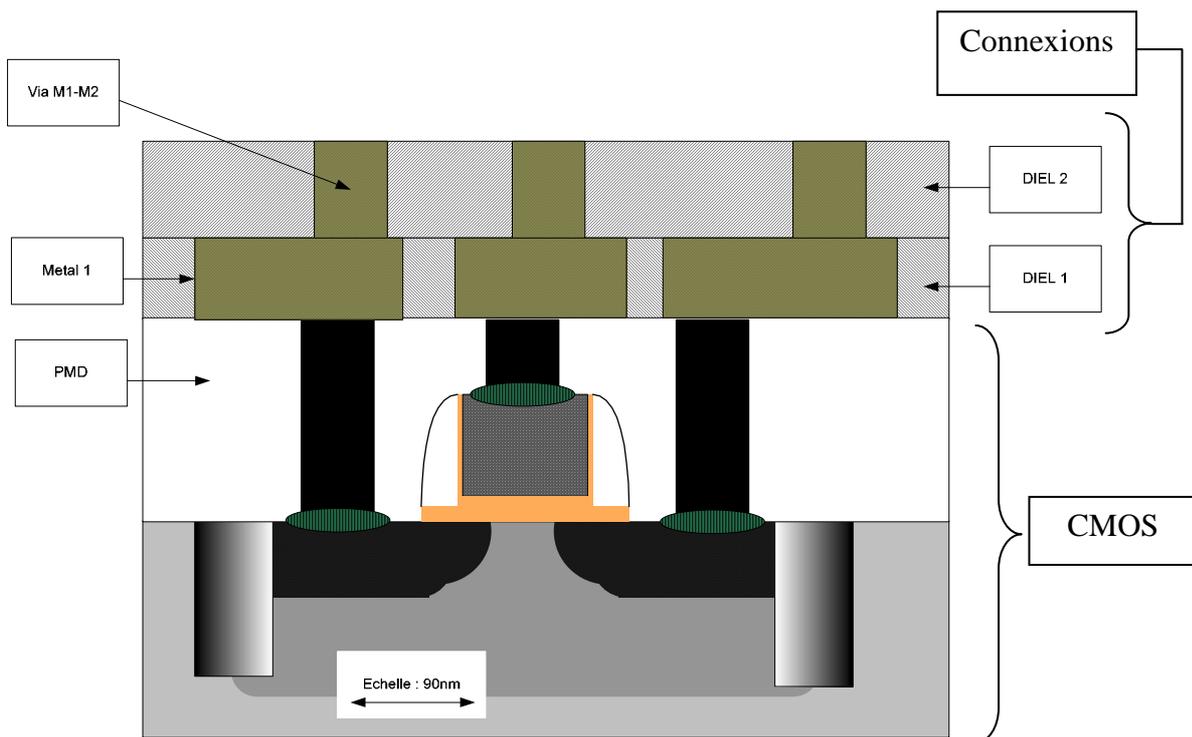


Figure 3. Transistor CMOS et un niveau d'interconnexion.

Une fois le transistor fabriqué, il est protégé par une couche dite **PMD** : **Poly Métal Dielectric**. Les interconnexions entre les transistors sont réalisées par des couches métalliques isolées les unes des autres par des couches diélectriques. Des contacts¹¹ appelés **via**, gravés dans le diélectrique, permettent à chaque couche métallique déposée d'être reliée aux autres. Lorsque tous les niveaux de métaux sont réalisés une couche de **passivation** vient protéger le circuit intégré.

Source, Drain, Grille, Oxyde de grille, Contacts, Silicure, Caisson, Isolement latéral, Espaceurs, sont les **modules du transistor**. Additionnés aux modules **couches métalliques**, **Dielectriques**, **Via**, et **passivation**, ils forment l'**architecture** de la technologie.

¹¹ en aluminium dans les technologies précédentes à C120 puis en cuivre.

c) La fabrication d'une technologie :

La gamme de fabrication d'une technologie de semi-conducteur comporte avec les étapes de métrologie plus de 250 opérations¹². Les différentes opérations de fabrication et leurs procédés associés sont détaillés dans [SHON-ROY et al, 1998]. Les principaux procédés structurent l'organisation en ateliers. Ce sont :

- La photolithographie (Photo-litho).
- L'implantation ionique (IMP).
- Les dépôts de films minces (CVD).
- Les dépôts métalliques PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition).
- Les gravures physico-chimiques par plasma (Etching).
- Les traitements thermiques (TT).
- Les opérations de nettoyage et de gravure humide (WET).
- Le polissage mécano-chimique (CMP).

A ces opérations de procédés viennent s'ajouter toutes les opérations de contrôle de fabrication réalisées par des procédés tels l'interférométrie, éllipsométrie etc.

De nombreux défis techniques doivent être relevés pour maîtriser ces fabrications. Par exemple pour la technologie CMOS 065, la taille de l'oxyde de grille est de 65nm et l'épaisseur de l'oxyde de grille est de 15Å. Produire ces circuits à l'échelle industrielle c'est pouvoir garantir une répétitivité des opérations de fabrication tout en garantissant une spécification à +/- 1 Å. De même dans les opérations de CMP ou il faut enlever de manière répétable une couche de 5000 Å sur une surface de ~707 cm², dans un intervalle de tolérance de 100 Å. Cela représente à l'échelle terrestre, ôter ~213cm de croûte terrestre, sur toute la terre, à 4 cm près.

Pour la fabrication en volume de 1800 wafers par semaine, 218 machines sont employées se répartissant sur plus de 70 familles d'équipements différentes.

D'une technologie à l'autre, cette structure va majoritairement se retrouver. Les technologies sont différentes essentiellement par la taille des transistors, mais aussi par changement progressif des choix architecturaux comme les matériaux utilisés ou une gamme conceptuelle différente.

3 Un modèle conceptuel des moyens de fabrication

Après avoir présenté les produits et les technologies, focalisons notre attention sur les moyens de fabrication. Pour bien comprendre comment le process control va agir opérationnellement, il faut comprendre les concepts qui cadrent son action. C'est ce que propose ce paragraphe.

¹² Les opérations sont dites de front-end lorsqu'elles contribuent à la construction des transistors. Elles sont de back end pour celles après le dépôt de PMD. Le dépôt de PMD est une étape charnière dite de Middle End.

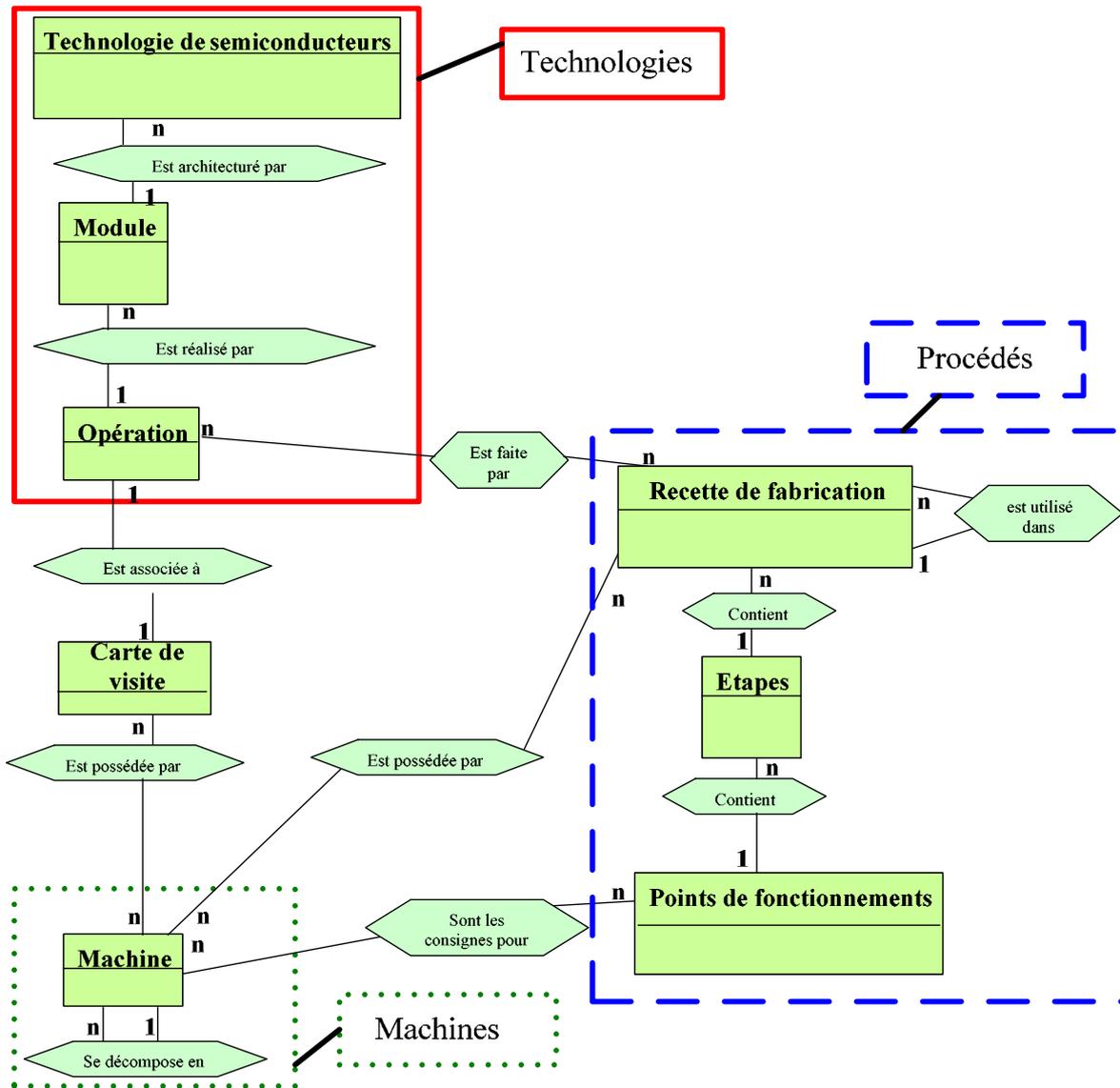


Figure 4. Modèle conceptuel des moyens de production des semi-conducteurs.

Le modèle conceptuel du domaine présenté Figure 4 se lit du haut en bas et de droite à gauche.

L'ensemble des modules constitue l'architecture de la **technologie**. Chaque **module** est réalisé par des **opérations de fabrication**¹³. Un module est l'équivalent d'une entité de fabrication dans le domaine mécanique. L'ensemble des opérations d'une technologie est assimilable à la **gamme conceptuelle de fabrication**¹⁴ d'une technologie. Dans le métier, on parle de **process flow** d'une technologie. Une première différence s'instaure avec le monde mécanique : l'assemblage des éléments architecturaux est intégré dans la gamme.

A chaque opération de la gamme est associée une **carte de visite**, appelée dans le métier « capability », qui est une information utilisée comme un « jeton » et distribuée aux

¹³ Opération de fabrication ou opération auront un sens équivalent dans cette thèse.

¹⁴ Nous utiliserons également de manière indifférenciée gamme conceptuelle de fabrication et gamme.

machines déclarées aptes à réaliser l'opération. La capacité fait le lien logique entre les technologies et les machines.

Une machine peut se décomposer en plusieurs sous machines. Une **machine** possède plusieurs capacités et une capacité est possédée par plusieurs machines. Cela permet notamment un ordonnancement : si une machine est hors service, alors une autre machine déclarée capable peut être employée à sa place de manière transparente pour la fabrication. Ce concept est un des éléments clefs de la flexibilité des ateliers.

Chaque opération de la gamme est réalisée par une ou plusieurs **gammes opératoires** appelées **recettes**¹⁵. Chaque machine peut effectuer plusieurs recettes. Une recette peut être appliquée sur plusieurs machines.

Ainsi une gamme conceptuelle est déclinée en un ensemble de gammes opératoires qui sont physiquement effectuées sur des machines en fonction de leurs capacités. Cet enchaînement physique qui constitue la **gamme de fabrication**. Ce concept est appelé dans le métier **process plan** ou **route**.

Une recette peut appeler d'autres recettes. Chaque recette est un enchaînement d'**étapes** plus élémentaires. Cet enchaînement est appelé la **séquence de la recette**. Dans chaque étape de la séquence d'une recette, les consignes des machines sont indiquées. Ce sont les **points de fonctionnement** de la recette. Chaque point de fonctionnement est un paramétrage particulier d'une machine ou de l'un de ses sous ensembles.

Ce modèle permet de souligner les interactions **technologie** – **procédé** – **machine**. Il montre également que la ligne de fabrication n'est pas centrée sur une gamme de fabrication donnée d'un produit, mais bien sur une gamme conceptuelle qui sera déclinée en différentes gammes de fabrication en fonction des technologies, des produits et des capacités des machines.

L'organisation supporte cette structure c'est à dire qu'il existe des experts des modules, des experts des recettes et des experts des machines. La maîtrise des technologies passe par la maîtrise de chacun de ces pôles, de leurs interactions et de leurs évolutions. Cela structure le travail du « process control ».

Un modèle conceptuel du domaine plus détaillé est fourni en ANNEXE 5. A titre de comparaison, un modèle dans le domaine des fabrications mécaniques peut être tiré de [BERNARD 2003].

4 Le travail du «process control»

Maîtriser la fabrication des produits passe donc par la capacité à produire les technologies qui les constituent. Mais à tous les niveaux des détracteurs viennent freiner voir empêcher ces objectifs. Pour les éviter, il faut commencer par maîtriser les trois pôles technologie – procédé – ressources et leurs interactions.

¹⁵ Recette, recette de fabrication, gamme opératoire seront employées de manière indifférenciées.

Un exemple d'interaction module – recette : Si les paramètres d'une recette sont modifiés, l'opération qu'elle réalise sera impactée. Si les changements ne sont pas maîtrisés, alors la fiabilité du circuit peut être compromise.

Un exemple d'interaction machine – recette : Une recette R est possédée par les machines M1 et M2 qualifiées pour la même opération. Suite à une maintenance sur la machine M1, ses constantes ne sont pas remises aux bonnes valeurs. Si aucune action n'est prise M1 reste qualifiée pour l'opération mais modifiera systématiquement R. Ainsi pour le wafer qui passe sur M2, aucun problème ne se produira, pour le wafer qui passe sur M1, une non-conformité survient. Ainsi toutes les qualifications avant et après maintenance doivent être sous surveillance.

L'aspect des ressources peut être adressé sous des angles différents :

Un exemple concernant uniquement les ressources équipements : un robot de transfert doit réaliser sa fonction dans un temps donné, souvent rapidement, sous une ambiance gazeuse pure¹⁶, en surpression (ou dépression) sans générer de particule. Le non respect de ces contraintes peut engendrer des défauts géométriques sur les plaques et n'être détecté que plusieurs opérations après, voire en test de fiabilité final. En attendant, de très nombreux lots de production sont impactés et peuvent être jetés.

Un exemple concernant les ressources humaines et l'automatisation : Un produit demande une gamme opératoire différente de celle utilisée en standard dans la technologie. Si elle n'est pas sécurisée, la recette peut être appliquée en mode manuel. Cette opération ne sera pas vue du reste de la production et si un problème survient, il sera difficilement détectable. Tout changement faisant intervenir l'être humain doit être sécurisé et si possible automatisé.

A ces freins vient s'ajouter la cadence, imposée par le marché, de renouvellement des technologies. Elle impacte ces trois pôles. Des modifications de matériaux, des choix architecturaux différents au niveau des modules nécessitent des aménagements des recettes, des machines et nécessitent une formation continue. Savoir contrôler ces changements revient à maîtriser l'évolution du triplet technologie – procédé – ressource.

Nous allons voir comment la structure en place de « process control » aide à maîtriser ces trois pôles, leurs interactions et leurs évolutions.

4.1 Aspects organisationnels : le service «process control»

D'un point de vue organisationnel, trois approches sont possibles pour réaliser cette mission :

- L'équipe «process control» peut être éclatée dans l'ensemble de l'organisation et ne prendre forme que lors de projets ponctuels.
- L'équipe «process control» peut être matérialisée par une entité de l'organisation.
- Une association des deux précédentes solutions dont l'intérêt principal est d'avoir des antennes actives proches de l'outil de production.

Pour l'usine de Crolles2, c'est ce dernier cas qui est envisagé.

¹⁶ Moins de 0,1 particule de plus d'1 micromètre au pieds cube

La traduction littérale de « process control » est « maîtrise des procédés ». Différentes réalités sous-tendent cependant l'activité de ce groupe :

- Le «process control» s'intéresse aux aspects «régulation» d'une machine particulière ou de groupes d'équipements de procédé. Un rôle, **proche des machines**, axé sur les automatismes et la régulation est alors mis en avant.
- Il s'intéresse à l'optimisation des points de fonctionnement des machines lors d'une opération de la gamme. Cela se fait essentiellement par des plans d'expériences et des modèles du procédé à optimiser. C'est alors un rôle, **proche des procédés**, statistique, qui est mis en avant.
- La prise en compte des non-conformités et notamment les retours client des produits fabriqués font souvent appel à des phases d'investigation et d'analyse de données. Lors de ce travail, de nombreux groupes sont impliqués. Le «process control» en fait partie. Il apporte sa vue relative à la maîtrise des opérations de fabrication. C'est un rôle d'analyse **proche des produits et des technologies**.

Le « process control » possède également une dimension **proche des méthodes** de travail et cela pour deux raisons :

- L'innovation constante conduit à des changements mineurs ou majeurs dans le processus de fabrication (changement des gammes, de points de fonctionnement d'une recette, d'une machine...). Pour être effectif, les risques liés aux changements sont analysés et traités.
- Les procédures de réaction suite à des dérives d'équipements, la façon dont il faut analyser les équipements pour mettre sous surveillance leurs dérives, la façon dont il faut traiter les risques liés aux changements, etc., sont des pratiques opérationnelles de travail définies en accord avec le «process control».

Proche des technologies, des procédés, des machines, des méthodes, le «process control» se positionne de manière transversale dans l'organisation. Les Hommes du «process control» ont à leur actif plusieurs compétences : managériale, statistique, méthodes, procédés, automatisme, etc.

Le groupe «process control» se distingue des autres groupes : métrologie, analyse de données, procédé... car il contribue à définir la structure qu'ils vont employer quotidiennement.

Par exemple :

- Il participe à la définition des plans de mesures adaptés aux technologies.
- Il met en place les méthodes pour évaluer la fiabilité et la reproductibilité des mesures.
- Il participe à la définition et la mise en place des outils de collecte et la façon dont les données seront utilisées dans les analyses.

Le groupe métrologie a la charge quotidienne de la mesure et est cadré par les trois points précédents.

Ainsi le service « process control » intervient dans chacune des trois dimensions des moyens de production. Il aide l'organisation à rendre cohérente ses méthodes et outils d'amélioration continue de production, à conserver et améliorer son caractère dynamique. Il est un élément clef de l'ingénierie qualité¹⁷. Sa mission est de « qualifier et améliorer

¹⁷ Dans le sens entendu par [MONTGOMERY, 2001], « process control » est un équivalent de « quality engineering »

les moyens de production, dynamiquement, opérationnellement et en supportant les connaissances métiers».

Du point de vue de l'organisation, il est très impliqué dans les processus de qualification et d'amélioration des moyens de fabrication. Dans les deux paragraphes suivants, nous allons présenter le travail de qualification puis celui d'amélioration.

4.2 Présentation d'axes de travail relevant de la qualification

Dans cette partie, nous allons voir comment pratiquement, le « process control » envisage sa mission de qualification. Pour cela plusieurs aspects sont pris en compte :

- Construction du plan de surveillance
- Vérification des appareils de mesure
- Collecte de données
- Analyse statistique des données
- Spécifications

Axe 1) La construction des plans de surveillance :

Le plan de surveillance est une notion qui peut s'employer pour les produits, les technologies, les procédés, les machines et tout autre élément nécessitant une surveillance rapprochée. Le plan de surveillance d'un élément définit :

- les variables dont il faut collecter des données.
- les attributs d'acquisition (fréquence d'échantillonnage, fréquence de prélèvement, mode de prélèvement ...).

La définition d'un plan de mesure n'est pas un acte anodin. Il est le fruit d'une concertation des personnes impliquées dans la fourniture, l'utilisation et l'origine de ces données. Il s'agit respectivement des métrologues, des acteurs connexes à cet élément et des responsables de l'élément à surveiller. Le «process control» intervient alors dans ce groupe pour veiller à ce que les propositions permettent bien de maîtriser l'élément.

Opérationnellement, chaque mesure peut impacter le temps de cycle de fabrication et requiert des équipements dédiés de métrologie. Elle peut engendrer des décisions importantes comme de désigner un lot en rebut. Chaque mesure est donc un acte important réalisé dans un but précis. Définir un plan de surveillance c'est savoir faire un compromis entre des objectifs opérationnels (comme le temps de cycle), la qualité de la surveillance, en tenant compte de la robustesse des éléments à surveiller. Le «process control» intervient comme le facilitateur de la construction et le garant de la qualité des plans de contrôle.

Axe 2) La vérification des appareils de mesure :

Les appareils de mesure sont équivalents à des capteurs. Les appareils de métrologie fournissent les données pour les activités statistiques et de modélisation. Mais ces mesures doivent être fiables et répétables. Il ne s'agit pas de fournir des résultats dont la part de variabilité due au capteur est du même ordre de grandeur que celle de la variable mesurée. Sur le site de Crolles2 la mise en place de méthodes permettant ces vérifications régulières sont du ressort du «process control». L'application de ces méthodes et la charge quotidienne est du ressort des groupes de métrologie.

Axe 3) La collecte de données :

La collecte désigne un ensemble d'étapes et procédures réalisées par les différents outils de mesure voir de métrologie. Chaque collecte est contrôlée par un plan de surveillance. Un des enjeux de la collecte est de mettre à disposition les données dans un format communicable. La phase de collecte de donnée est un nœud dans l'ensemble de l'application de la maîtrise des procédés. Cela se fait essentiellement suivant deux modes : manuellement ou informatiquement dans des bases de données unifiées.

Le problème de la collecte est que : si les données nécessaires aux traitements ne sont pas accessibles, la chaîne d'analyse est coupée. Les variables clefs auront été identifiées et mesurées dans les meilleures conditions, l'analyse ne sera pas faite et les éventuelles mesures correctrices ne pourront pas être prises. Ainsi pour avoir la structure diminuant ces risques de coupures, le «process control» intervient dans la définition des besoins d'analyses et de constitution des bases où seront entreposées les données.

Axe 4) L'analyse statistique des données :

Chaque donnée collectée peut faire l'objet d'une analyse. Sans viser à l'exhaustivité, citons : les plans d'expériences, le calcul des limites de contrôles, les calculs d'indicateurs C_p et C_{pk} , les calculs de corrélations entre deux variables, les modèles de contrôle itératif (R2R). D'autres analyses plus élaborées utilisent des outils tels que les réseaux neuronaux, les systèmes à bases de cas etc. C'est souvent au «process control» que revient le rôle de définition et de déploiement de ces outils.

L'approche statistique employée dans la maîtrise des procédés relève de l'ingénierie qualité. Certaines introductions pourront être abordées avec profit, la lecture de [PILLET, 2001], introduit la notion de cartes de contrôles et les tests de fiabilité. [MONTGOMERY, 2001] est une référence en industrie. Il explique les concepts fondamentaux de l'emploi des statistiques pour l'ingénierie qualité. Une présentation plus détaillée est faite dans le chapitre 3. Sur le site de l'Alliance, la diffusion de la culture statistique est également confiée au «process control».

Axe 5) La constitution des spécifications :

Dans l'industrie du semi-conducteur, les contraintes de fabrication sont étudiées en amont de la fabrication et intégrées dans des règles de conception des produits appelées DRM¹⁸ [DE GRAVE 2004]. Elles sont définies lors de la constitution de l'architecture de la technologie. Pour faire un parallèle avec le monde mécanique, c'est comme s'il était spécifié aux concepteurs, voulant utiliser le procédé de forge, le rayon maximum pouvant être forgé dans les ateliers qui vont fabriquer. Systématiquement, chaque angle forgé posséderait alors ce rayon.

Ainsi il est nécessaire de mettre sous surveillance les machines en regard des spécifications qui sont demandées pour les technologies, voir les produits. Cela permet de prévenir dans une large mesure les variations de procédés et de produits.

La constitution de cet ensemble de spécifications incombe aux experts métiers. Leur définition est ajustée en regard des installations et de la physique des procédés. Le «process control» participe au cycle de leur validation.

Agissant sur la constitution des spécifications, sur l'analyse statistique des données, sur la collecte des données, sur la vérification des appareils de mesure, sur la construction des

¹⁸ DRM : Design Rules Manual

plans de surveillance le «process control» participe activement à la structure et la qualification¹⁹ des moyens de production.

4.3 Présentation d'axes de travail relevant de l'amélioration

Dans cette partie, nous allons voir comment pratiquement, le « process control » envisage sa mission d'amélioration. Expert dans le comportement de l'appareil de production, c'est tout naturellement qu'il s'emploie à mettre en place un ensemble de méthodes et d'outils pour l'améliorer. Cette partie présente un ensemble de scénarios de travail du «process control» :

- La construction et le suivi d'un ensemble d'indicateurs.
- Le suivi et la conduite des plans d'actions d'amélioration.
- Les méthodes d'analyses (risques, données etc.) pour en déduire des actions d'amélioration.
- Les méthodes et outils permettant de gérer le retour d'expérience.

Axe 1) La création des indicateurs et des synthèses :

Les indicateurs sont la première étape pour quantifier le niveau de maîtrise. A partir de cela il est possible d'orienter les analyses des dégradations ou améliorations de ces indicateurs et définir les actions de consolidation des résultats. Le «process control» s'emploie à définir et suivre certains indicateurs : les Cp, Cpk (deux indicateurs détaillés dans le chapitre CHAPITRE III). Ils sont le reflet de la capacité des moyens de production à produire de façon stable, répétable, et à l'intérieur des spécifications. Certains autres indicateurs semblant refléter de façon plus directe le bon fonctionnement de l'unité de production dépendent fortement du niveau des indicateurs statistiques précités. Ainsi l'OEE (Overall Equipment Efficiency), le PFY (Production Fab Yield), le CT (Cycle Time) sont du ressort d'autres équipes. Qu'elle soit sous sa responsabilité directe ou non, le «process control» intervient dans chaque équipe en charge des indicateurs. Il contribue également dans le cadre du choix des indicateurs pertinents à mettre en place.

Axe 2) La conduite de plans d'action opérationnels :

A chaque indicateur est associé un groupe de travail qui l'analyse et définit des actions d'amélioration. Sur le site de l'Alliance, le «process control» est responsable des indicateurs de maîtrise des procédés et des risques.

Axe 3) Les méthodes d'analyse :

A Crolles2 pour la partie fabrication, la définition des méthodes d'analyse est confiée au «process control». La façon dont les risques opérationnels²⁰ sont traités en est un exemple important. Il emploie à cette fin des méthodes adaptées dont une présentation détaillée est montrée dans le Chapitre 2. Des méthodes sont également proposées pour améliorer les rendements, traiter les non conformités, systématiser les analyses de données etc.

Axe 4) Le retour d'expérience :

¹⁹ Dans le sens surveillance et apprentissage du comportement

²⁰ Le concept de risque n'est pas entendu qu'au sens sécurité du terme. Un risque est compris comme un phénomène réel ou potentiel venant impacter négativement la production. Un risque procédé est compris dans cette thèse comme un risque opérationnel c'est-à-dire qui vient perturber les objectifs opérationnels de l'usine.

Le cycle de vie de fabrication d'une technologie dure entre deux à trois ans. Si pour chaque nouvelle technologie tout est réinventé, les efforts ne sont pas valorisés, et les transferts de connaissances d'une technologie sur l'autre sont faibles. C'est pourquoi le retour d'expérience d'une technologie doit servir à mieux maîtriser la suivante. Le «process control» fournit son expertise pour maîtriser la phase d'industrialisation le plus rapidement possible.

En orientant les analyses, il permet de définir pourquoi contrôler, comment contrôler, à quelle fréquence, etc. Il va favoriser la phase d'industrialisation et de montée en volume de la production. C'est ainsi une façon pour le «process control» de supporter les connaissances métiers.

Agissant sur les indicateurs et leur synthèse, sur la conduite des plans d'action, les méthodes d'analyse, le process control structure l'amélioration des moyens de production. Par son action dans le retour d'expérience, le process control supporte les connaissances métiers et leur réutilisation.

4.4 Quelques outils

L'activité du « process control » est supportée dans sa mission par un ensemble d'outils.

Les outils mathématiques :

- Analyse de données simples, multidimensionnelles, limites de contrôles, plans d'expérience...
- Réseaux de neurones, algorithmes génétiques, base de connaissances techniques.

Les outils méthodologiques :

- Procédures de changement.
- Conduite des analyses.
- Procédures d'action en cas de dérive des équipements, procédés, machines.
- Méthodes de contrôles.
- Méthodes de fiabilisation des produits, procédés, machines.

Les outils de supervision :

- Suivi des risques opérationnels par indicateurs.
- Suivi des plans d'actions.
- Indicateurs de production.

Ainsi nous venons de voir, comment le «process control» participait à la qualification et l'amélioration des moyens de production. Nous allons voir dans la prochaine partie que toute la difficulté réside dans les caractères dynamique, opérationnel et l'aptitude à supporter les connaissances métier.

5 Problématique et axe de recherche

5.1 La complexité de la mission du «process control»

Suite à la présentation du «process control» il semble simple de qualifier et améliorer les moyens de production : 5 axes pour la qualification et 4 axes pour l'amélioration déclinés chacun aux trois pôles technologie – procédé - ressource.

Mais tous ces axes de travail sont très imbriqués les uns avec les autres. Bien qu'individuellement les scénarios soient simples (mettre en place des cartes de contrôle, collecter les données, étudier les risques...), leurs liens sont très enchevêtrés. Menons un raisonnement « au fil de l'eau » pour illustrer cela : une analyse des risques d'une machine permet d'identifier ses zones à surveiller, un plan de contrôle est établi. L'application de ce plan permet de surveiller les risques de la machine.

Par ailleurs, la vie de la machine conduit à mener un ensemble de changements de pièces de la machine. Sans procédure ou outil adapté, ces changements ne sont pas pris en compte dans l'analyse de risques initiale. Le plan de surveillance est alors caduc. C'est ainsi qu'une machine semble être sous contrôle et maîtrisée alors qu'elle ne l'est pas, à cause d'une simple synchronisation de procédures !

Cet exemple pourrait être continué à souhait car nous sommes en présence d'une collection de méthodes et d'outils simples mais très imbriqués les uns aux autres.

Si tous ces axes sont intimement liés, comment pouvons nous être sûrs de leurs pertinence en les abordant de manière séparée ? Comment pouvons nous être sûrs qu'ils intègrent bien les vues opérationnelles, dynamiques et qu'ils puissent supporter les connaissances métier ?

Seule une approche globale par un modèle d'entreprise pourrait répondre à ces questions. Une tentative de modèle a été proposée par [PINATON 2004], illustrée Figure 5. On peut tirer différentes informations : l'amélioration continue (PLAN DO CHECK ACT) est présentée comme un point important du «process control». Plusieurs « boîtes » que l'on suppose être des processus sont identifiées. Divers liens sont présentés entre ces boîtes.

Cette analyse a le mérite de présenter une ébauche des concepts qui sous tendent le «process control». Mais de nombreuses limites la rendent inutilisable :

- Le niveau de description n'est pas suffisant.
- De nombreux liens entre les boîtes ne sont pas précisés.
- Des liens entre les boîtes sont incohérents.
- Les sens des boîtes et des ellipses ne sont pas précisés.
- Le lien avec l'amélioration continue n'est pas clair.

Cette cartographie manque de clarté et reste difficilement compréhensible.

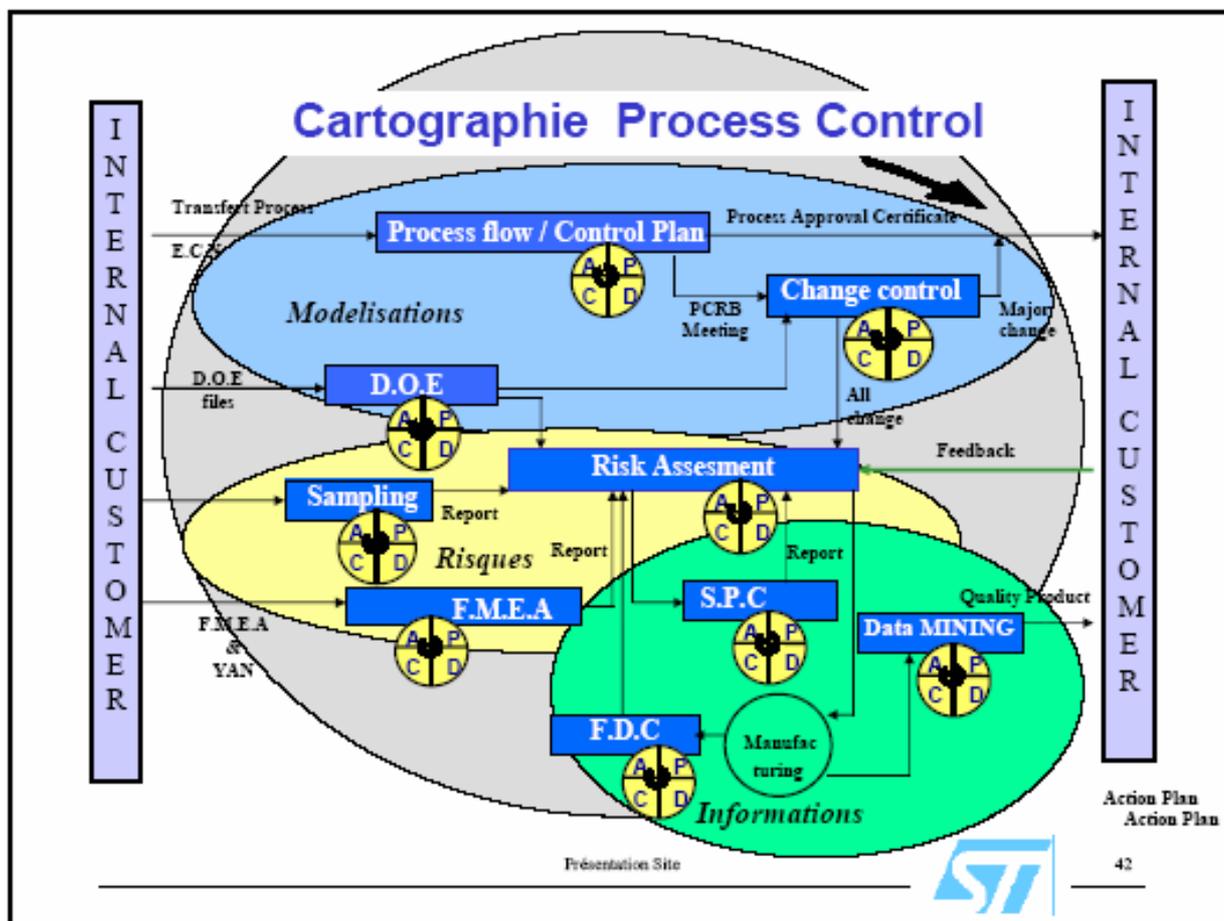


Figure 5. Une cartographie du «process control» ?

Or comment développer un système de «process control» qui prenne en compte ces différents aspects s'ils ne sont pas explicites et clairs ? Le manque d'intégration freine le développement d'un système cohérent et efficace aux pratiques du métier. La construction de cahiers des charges précis, pour des outils pertinents dans le métier, est une réelle difficulté.

Dans un élan de simplification, on pourrait imaginer créer des briques logicielles se passant de ces corrélations. Cependant cela conduit à des outils non intégrés dont la pertinence d'un point de vue métier est quasiment nulle. Prenons deux exemples pour illustrer ces propos :

EX1 : Un outil permet de stocker les risques d'une machine, mais il n'est pas lié à l'évènementiel de cette machine. A chaque fois qu'une panne survient il faut remettre à jour manuellement les analyses relatives à cette machine.

EX2 : Si un logiciel gère les cartes de contrôle et qu'un autre logiciel gère les plans d'action et qu'ils ne communiquent pas, chaque plan d'action issu des cartes de contrôle ne sera pas géré avec les autres plans d'actions. Il faut recopier manuellement les plans d'actions issus des cartes de contrôle dans le logiciel des plans d'action. La lourdeur de cette gestion peut compromettre le déploiement des deux outils.

[JOHANNES, 2000], identifie dans sa thèse différents problèmes liés à l'implémentation d'outils «process control». Il rejoint dans ses conclusions les observations menées sur le

terrain : Les fonctionnalités ne sont pas au rendez-vous. Parfois les outils sont inutilisables et les relations entre les outils sont trop pauvres ce qui ne fait qu'entretenir leur faible taux d'utilisation.

Ainsi la complexité de la réalisation de la mission confiée au «process control» engendre des faiblesses en terme d'outillage et de méthodes et qui complique encore plus sa tâche. Ces freins mettent à mal les caractères dynamiques, opérationnels et ne supportent pas les connaissances de la qualification et de l'amélioration.

Comme l'entreprise veut relever le défi des contraintes du marché sur lequel où elle se place, le groupe « process control » doit s'adapter et relever le défi qui en découle. Ainsi il n'est pas suffisant de définir une organisation avec une mission, il faut encore qu'elle dispose d'une vision adaptée pour qu'elle sache comment la remplir.

5.2 Problématique

C'est donc tout naturellement que se dessine la problématique de cette thèse et qui recoupe la mission du « process control » :

Comment qualifier et améliorer les moyens de production, de manière dynamique, opérationnelle et en supportant les connaissances métier ?

Nous n'allons pas réduire la complexité du « process control », mais essayer d'en fournir une vision structurée et pédagogique.

5.3 Axe de recherche

Plusieurs axes de recherche sont actuellement en cours dans l'équipe « process control » pour encore mieux répondre à cette question.

* La thèse CIFRE commencée par Cyril ALEGRET, en microélectronique, s'intéresse à la liaison des paramètres des produits aux paramètres des recettes de fabrications et aux variables machines mesurées. Par la définition de ces liens, il est possible à la fois de réduire les contrôles sur produit et les dérives de fabrication. Globalement la qualité, le temps de cycle et les coûts s'en trouvent améliorés.

* La thèse CIFRE de Caroline PACCARD, en mathématiques appliquées, s'intéresse à utiliser les méthodes statistiques telles SVM²¹, réseaux de neurones pour améliorer les boucles de rétroaction et ainsi optimiser les contrôles en ligne de façon dynamique.

Nos travaux s'attachent à constituer **un modèle en entreprise pour le «process control»**. Ils sont basés sur la consolidation de deux cas d'étude industriel :

- Tout d'abord au **chapitre 2**, nous proposons notre méthode outillée pour gérer les risques opérationnels.
- Puis au **chapitre 3**, nous proposons notre contribution à la mise sous contrôle des moyens généraux de l'usine de Crolles2.

²¹ Support Vector Machine

Ces deux cas d'étude s'appuient sur des besoins opérationnels qui serviront de fil conducteur à la présentation. Ils nous ont permis d'explorer la façon dont il fallait s'y prendre pour qualifier et améliorer les moyens de production et ce, de manière opérationnelle, dynamique, en supportant les connaissances métier.

Au travers de ces deux cas, nous pensons traiter toute notre problématique. Les activités et processus caractérisant le « process control » sont alors construits en y intégrant l'aspect connaissance métier.

Notre axe de recherche a donc pour but de fournir une vision pour le « process control » par la modélisation en entreprise. Elle doit être pédagogique et structurante pour des développements plus pertinents dans le métier.

**CHAPITRE II. UNE METHODOLOGIE DE
GESTION DES RISQUES
CONTRIBUANT A LA QUALIFICATION
ET A L'AMELIORATION DES MOYENS
DE PRODUCTION**

Ce chapitre présente notre premier cas d'étude de la qualification et de l'amélioration. Il traite de la gestion des risques opérationnels du site de Crolles 2.

Dans le cadre des productions manufacturières, les problèmes de qualité de fabrication peuvent impacter les consommateurs²² et l'entreprise. Pour des productions à forte valeur ajoutée, comme c'est le cas en microélectronique, une perte de plusieurs mois de toute production peut mettre en péril la vie de l'usine. Aussi prévenir de telles occurrences par anticipation est vital pour chaque site de production. Analyser les problèmes a posteriori implique d'être en réaction permanente face à la réalité. Avoir recours systématiquement à une démarche de résolution de problèmes est nécessaire mais insuffisant. Envisager d'atteindre l'excellence industrielle²³ passe par une attaque systématique de toutes les sources de défaillance. Il faut également entretenir, dans le temps, cette démarche. Il ne faut pas par exemple, au bout d'un an de pratique, que toute la mémoire des événements soit oubliée. Il est nécessaire de capitaliser ce savoir faire afin de ne pas le perdre au cours de la vie de l'entreprise.

Actuellement, de nombreux groupes travaillent à l'amélioration des objectifs de l'usine. Par nos travaux de recherche, le « process control » a proposé une méthode outillée permettant de réduire de façon systématique les risques et de capitaliser ce savoir-faire dans une base adaptée. Ce chapitre expose ces travaux et notamment sa construction et son déploiement sur l'usine de Crolles 2.

Le chapitre est structuré de la manière suivante :

- Une première partie présente une description du besoin sur le site de Crolles 2.
- Une seconde partie détaille quelques éléments bibliographiques liés à la méthode d'analyse de risques employée par l'Alliance.
- Dans un troisième paragraphe, la démarche est construite.
- Ses supports sont présentés dans une quatrième partie.
- Comme toute démarche, elle possède une dynamique qui fait l'objet du cinquième paragraphe.
- Une rationalisation de la gestion des risques est proposée en sixième partie.
- Une synthèse sur ces réalisations est présentée en septième partie.
- Une modélisation et une réflexion sur l'aspect connaissance dans ces travaux viennent enrichir notre réponse à la problématique.
- Une conclusion termine le chapitre.

1 Description du besoin

Le PPAP (Product Part Approval Process) est un élément particulièrement surveillé par les clients et les certificateurs ISO. Une partie de ce processus est de réaliser des analyses de fiabilité des produits et des moyens de production. Ces analyses transcrivent les connaissances d'experts sur les risques d'un élément particulier (produit, procédé, machine). Elles peuvent servir ensuite à alimenter des outils de calcul de probabilité de défaillance, de base de données d'expérience etc. Ces analyses peuvent être réalisées en suivant le formalisme des AMDEC²⁴ (Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effets

²² ou usagers

²³ rendements de plus de 98%, améliorer le temps de cycle de fabrication de plusieurs jours etc.

²⁴ FMEA en anglais

et de leur Criticité). Ainsi pour rester cohérent avec les demandes clients et minimiser les efforts, cette méthode avait été retenue préalablement à nos travaux pour réaliser les analyses de risques sur le site de Crolles 2.

Les AMDEC rencontrent cependant de très nombreux freins comme le soulignent un certain nombre d'auteurs. [ISHII et al. 2003] montrent que le problème majeur N°1 est « le manque de temps ». Ils dénoncent les AMDEC comme étant une réalité manquée en entreprise. Les procédures ne sont pas assez précises, les logiciels sont insuffisants, ce qui engendre des confusions, des pertes de temps et finalement un découragement des équipes. [THEOH 2004] soulignent que « Beaucoup de sociétés utilisent les AMDEC uniquement pour satisfaire les désirs contractuels de leurs clients ».

Face à ce choix et à ces réticences nos travaux ont commencé. Notre méthode dépasse cependant le formalisme AMDEC. En le paramétrant puis en l'intégrant dans une démarche globale, les analyses de risques tendent à être pertinentes et sont employées lors d'analyses de la fiabilité.

1.1 Le monde parfait...et la réalité

Précisons à présent notre contexte. Le cycle de vie d'une technologie est structuré en différents jalons (appelé Milestones sur le site de Crolles). Lors du passage du jalon relatif aux prototypes à celui des préséries, des analyses de risques doivent être fournies. Un client décidant de produire une présérie sur le site, possède ainsi une évaluation des risques qu'il encourt. Lors de la production en forts volumes, les risques doivent être maîtrisés pour qu'ils ne soient plus un frein pour une production de masse. Donc pour produire en masse, les AMDEC doivent être réalisées et les plans d'actions de réduction des risques terminés ou en cours de finalisation. Un outil de documentation contrôlée²⁵ doit être employé pour prouver aux auditeurs internes et externes l'existence des analyses. Chaque groupe de l'organisation concernée par la mise en place d'une évaluation est censé fournir les preuves appuyant leur réponse et les rendre disponibles au travers de cet outil.

De nombreux freins cependant viennent perturber l'utilisation idéalisée de cet outil. Demander à l'organisation de réaliser des analyses sans fournir de guides et de retours, revient à remplir un formulaire sans intérêt opérationnel. Comme les analyses servent aux clients ainsi qu'aux certifications qualité, une pression importante est mise pour leur obtention. Mais du caractère obligatoire et du sentiment d'inutilité naît une perception uniquement administrative du concept de qualité dans l'organisation. Des interrogations furent menées auprès de responsables modules, recettes, équipements de manière informelle et relativement au sujet de la constitution des AMDEC. Comme résultat, nous avons trouvé une source de réticences organisationnelles à la place d'une méthode de réduction des risques.

1.2 Un constat de manques

Une des pistes pouvant expliquer ce constat est que cette méthode n'est pas supportée par un outil informatique à la hauteur de son enjeu. Lorsqu'un risque est considéré comme important aux vues du seuil de gravité, qu'il atteint, il ne déclenche pas l'arrêt des équipements sur lesquels il a été identifié. Il ne stoppe pas les recettes qui lui sont liées. Il ne décline pas les modules dans leur cycle de vie. Ainsi un risque qui impacte ou

²⁵ PMT acronyme de Process Maturity Tracking ®.

pourrait impacter fortement la production n'est pas pris en compte de la même manière qu'une dérive d'une machine suivie et traitée instantanément. Cette différence de traitement provient des outils qui manipulent les informations des risques. En effet, ils sont essentiellement des outils de documentation contrôlée permettant de vérifier l'existence d'un document, de sécuriser son accès et de créer des rapports montrant ces informations. Les grilles d'analyse sont des fiches de tableur sans interface appropriée permettant une fourniture et une réutilisation aisée des données. Lors des réunions d'analyse durant lesquelles ces grilles doivent être produites, il y a très rarement un ordinateur.

Ainsi la fourniture des analyses est une corvée, la lecture des analyses n'est pas simple, le stockage des analyses permet une supervision des travaux finis mais n'aide pas les opérations quotidiennes, opérationnelles.

Gérer les risques opérationnellement par le biais des AMDEC, n'est pas une pratique de terrain. Tous les managers soutiennent la démarche, mais de nombreux ingénieurs au sein de leurs équipes la décrivent comme étant lourde et inutile. Les AMDEC ne sont pas dans une dynamique opérationnelle. Pour beaucoup, il s'agit d'une perte de temps.

Cette incompréhension est d'autant plus frappante que les analyses ne sont pas un investissement important face aux gains qu'elles pourraient engendrer. Comme le présente [BRAUNSPERGER 1996] Figure 6, plus la défaillance est décelée tard dans le cycle de développement d'un produit, plus son impact financier est important. Ainsi le peu de temps passé à analyser les défaillances et à les prévenir dans un mode systématique n'est ni une perte de temps, ni d'argent mais un investissement direct pour améliorer les comptes, les rendements et contribuer à l'amélioration globale. Le fait de ne pas faire cet investissement traduit donc plutôt un manque d'opérationnalisation et d'outillage plutôt qu'une faiblesse intrinsèque de cette démarche.

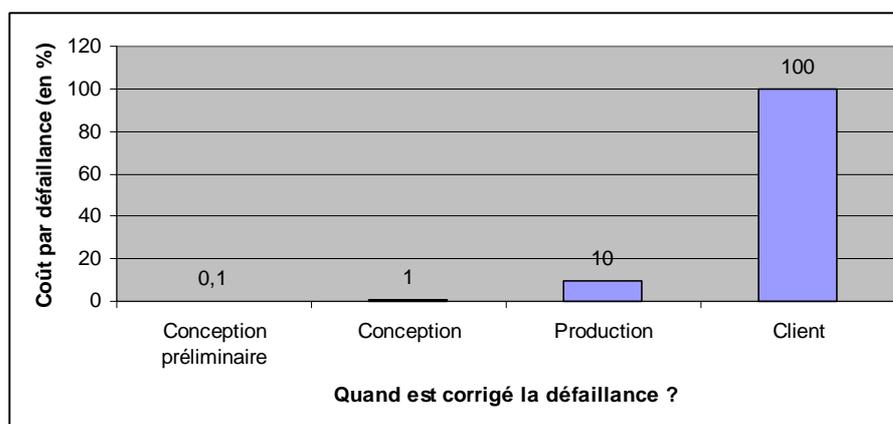


Figure 6. Le coût d'une défaillance augmente lorsqu'elle se rapproche du client.

1.3 Le besoin

Afin de permettre une maîtrise des risques, il est nécessaire de **construire** une **méthode** et des **outils** permettant l'**identification** et le **traitement des risques opérationnels**.

Le **suivi** de l'**évolution des risques** et de leur **maîtrise** est souhaité en fonction de l'**évènementiel** des moyens de production.

L'identification et le suivi des risques va porter sur un problème de qualification des moyens de production. Le traitement de ces risques relève de l'amélioration de ces moyens. Répondre à ce besoin peut donc nous guider vers une réponse à notre problématique.

2 Quelques recherches sur les AMDEC

L'analyse des risques touche de très nombreuses applications. De la robustesse des machines de production à la sécurité des installations, le terme « risque » couvre un large éventail d'interprétations possibles. Dans le contexte de cette étude, seuls les risques ayant un impact sur les objectifs de production sont pris en compte. Les méthodes qui sont exposées ici sont extensibles à d'autres types de risques notamment ceux liés aux accidents lors d'études de danger. Comme le font remarquer [ISHII et al. 2003] sur des travaux de [GOYAL 1993] les méthodes HAZOPs (HAZard and OPerability Studies) et PHA (Process Hazard Analysis) sont utilisées pour identifier des problèmes de sécurité de procédé et ne concernent que très partiellement les problèmes de qualité et fiabilité opérationnelle. En revanche les AMDEC peuvent être une alternative méthodologique aux études de danger. Une présentation des outils classiques de gestion des risques accidentels est faite dans [SALVI et Al, 2003]. Les outils tels HAZOP, What If, APR/D, Arbres de défaillance et d'évènement, nœud papillon, y sont notamment présentés avec quelques conseils d'utilisation. Différentes normes traitent de la sûreté de fonctionnement. Elles proposent un système complet allant des recommandations générales, à mettre en place pour assurer la sûreté de fonctionnement, jusqu'aux règles d'implémentations spécifiques à certains métiers. Ce sont les normes : [CEI 60300-2, 2004], [CEI 60300-3-1, 2004], [CEI 61014, 2004]. Elles sont cependant en dehors du cadre de ce travail focalisé, par une nécessité industrielle, sur les AMDEC.

Dans cette partie, nous présentons quelques recherches sur les AMDEC. Nous commençons tout d'abord par exposer les références normatives fondatrices. Nous continuons par quelques applications paramétrant ces normes. Nous terminons ce paragraphe en développant notre point de vue sur cette méthode.

2.1 Quelques références normatives

L'analyse des risques entre dans les analyses de fiabilité. Elles sont décrites dans différents documents normatifs. Les normes présentées ici sont issues de secteurs industriels. D'autres normes existent et sont éditées par des pays ou organisation indépendantes : BS (British Standard) avec BS 5760, AFNOR (Association Française de Normalisation), ISO (International Standards Organisation). Une présentation succincte en est faite dans [GARIN 1994].

2.1.1 Norme militaire

L'AMDEC trouve son origine dans la norme militaire MIL-STD1629A [DoD, 1984]. Elle décrit les différents niveaux de décomposition des analyses qu'elle appelle « niveau d'indentation », le plus élevé étant le plus détaillé. Elle suggère de mener une réflexion sur la finalité des analyses et leur mise en adéquation avec les ressources disponibles. L'analyse est conduite en deux temps :

- L'analyse des défaillances est réalisée dans un premier temps. Pour un niveau d'indentation donné, l'ensemble des items/fonctions est listé. Pour chaque

item/fonction, l'ensemble des modes de défaillances est envisagé. A chaque mode de défaillance, l'analyse se poursuit par la recherche de ses effets. D'autres aspects importants sont soulevés. Qu'est ce qui est réalisé pour prévenir le mode de défaillance ? Quels sont les moyens de détection ? Quelles sont les « provisions compensatoires » c'est-à-dire les mesures prises pour compenser les défaillances ? Quels sont les effets locaux ? Quels sont les effets finaux, au niveau d'indentation le plus faible ?...

- L'analyse de la criticité s'effectue dans un second temps. Elle consiste en trois cotations. La première consiste à estimer la probabilité λ_p de défaillance d'un composant (item/fonction). La seconde consiste à estimer la probabilité α : de défaillance d'un composant dans un mode particulier. La troisième consiste à estimer la probabilité β qu'un effet particulier survienne lors de la défaillance d'un item/fonction, dans un mode donné.

Si pour un item/fonction particulier, tous les modes de défaillance ont été étudiés, alors $\sum \alpha = 1$. C'est uniquement dans ce cas que l'analyse peut prétendre à l'exhaustivité. La criticité est donnée pour un item/fonction, comme la probabilité que cet item/fonction défaille, dans un mode donné, en produisant un effet donné $C_m = \lambda_p * \alpha * \beta$

Pour un système donné, à un niveau d'indentation donné, comportant un ensemble de n item/fonction, la criticité du système est donnée par : $C_r = \sum_n (\lambda_p * \alpha * \beta)$

2.1.2 Norme dans l'industrie automobile

L'industrie automobile diffuse une approche un peu différente au travers de la norme [QS-9000, 1993]. Pour un découpage donné, l'analyse est approfondie par la recherche des causes. Alors que dans la norme militaire elles sont conjointes aux modes de défaillances, elles sont ici détaillées séparément. Le phasage entre l'analyse puis la cotation est laissée à l'appréciation des personnes réalisant ces travaux. La façon d'envisager la cotation est différente. Trois aspects sont cotés :

- (a) la sévérité (SEV) de l'effet de défaillance.
- (b) l'occurrence (OCC) d'apparition du mode de défaillance.
- (c) la détectabilité (DET) de la défaillance.

La criticité est déduite par le produit des trois cotations. La criticité est appelée gravité. La gravité désignée par un indicateur du niveau de risque appelé RPN (Risk Priority Number). Sévérité, Occurrence, Détection, sont des données évaluées par la/les personnes réalisant l'analyse. Elles sont évaluées au travers de grilles de cotations, par un rapprochement entre l'analyse réalisée sur l'item/fonction et la référence qui est proposée dans la grille. Les grilles sont proposées par la norme mais elles peuvent faire l'objet d'une adaptation locale au sein de l'organisation. Pour un mode de défaillance donné, associé à son effet et à sa cause, le RPN est un **indicateur** de la gravité du risque et n'est pas relié directement à une probabilité d'apparition.

Les AMDEC peuvent être employées afin de déterminer les actions de fiabilisation à mener dès les premières phases de conception. Elles sont également employées pour la fiabilisation des produits, des procédés et des machines.

2.1.3 Dans l'industrie des semi-conducteurs

Au travers de la norme [SEMATECH, 1992], l'industrie des semi-conducteurs possède son modèle de référence en terme d'analyse de défaillances pour l'amélioration continue.

Les AMDEC sont une partie intégrante du **FRACAS** (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System). Les risques présents dans l'AMDEC sont considérés comme potentiels. L'analyse des risques, leurs cotations sont réalisées dans le processus suivant :

- (a) analyse des **modes** de défaillance potentiels.
- (b) déterminer les **effets** des défaillances potentielles.
- (c) déterminer les **causes** potentielles de ces modes.
- (d) déterminer les moyens de maîtrise et les **détections** prévenant des causes de défaillance.
- (e) déterminer la **gravité** de chaque risque.
- (f) déterminer les actions correctives.

Cet ensemble étant plongé dans une **organisation adaptée** permet une critique des analyses et des actions ainsi qu'un suivi des actions d'amélioration.

Un ensemble de grilles de cotation est proposée. Elles sont cotées de 1 à 10. Le concept central de l'analyse est la **défaillance**. La définition de ce concept n'est pas identifiée dans cette norme. Il semblerait que ce concept puisse être le triplet mode de défaillance, effet de défaillance et cause de défaillance. Cependant le document laisse la possibilité d'interpréter différemment ce terme. Ainsi une défaillance peut être un mode de défaillance uniquement ou un mode associé à une cause ou encore un mode associé à un effet particulier. Pour la sévérité, deux grilles sont proposées :

- La première permet de quantifier l'impact d'une défaillance vis-à-vis de la satisfaction client.
- La seconde permet de quantifier l'impact d'une défaillance lors d'une étude de danger.

L'occurrence est basée sur une probabilité d'apparition de la défaillance.

Une remarque est faite concernant la difficulté de réalisation des AMDEC : « La feuille AMDEC peut devenir un travail pénible si elle reste sous format papier (...) ». Leur recommandation est donc de s'appuyer sur une base de données permettant de supporter cette activité.

2.2 Quelques travaux spécifiques

a) AMDEC automatisé :

[PRICE and TAYLOR, 2001] adaptent la démarche des AMDEC, dans le cadre de l'industrie automobile pour les systèmes électriques complexes. Ils proposent un outil d'aide à la fiabilisation des équipements électriques par la génération automatique d'AMDEC. Ils soulignent également deux points cruciaux pour réaliser une analyse automatique : (a) La génération n'est pas possible pour des circuits complexes car le nombre de cas à envisager est une puissance de n où n est le nombre de pièces. (b) Les ingénieurs ont besoin d'interagir avec les résultats automatiques afin de mieux se les approprier ou les corriger.

[THEOH and CASE, 2004] s'intéressent à la modélisation du système devant être analysé afin de mieux réaliser l'action de fiabilisation. Le cadrage de leur problème est commun avec celui de notre cas d'étude : « ... Comme conclusion, de nombreuses sociétés utilisent les AMDEC pour satisfaire les désirs contractuels de leurs clients ... » et « ...les AMDEC sont souvent réalisées tard dans le cycle de conception, après la conception des prototypes. Les changements réalisés à ces stades avancés sont plus coûteux... ». Dans le cas présenté, ils proposent de mettre en place une automatisation des AMDEC afin de permettre de les réaliser dès les phases d'émergence des concepts. Ils soutiennent en effet

que les AMDEC réalisée de manière traditionnelle ne peuvent se faire dans ces phases sans une lourdeur extrême. Seul une génération automatique des risques permettrait de les évaluer dès la naissance du concept. Ils proposent pour cela de se baser sur une modélisation des systèmes de transformation et un raisonnement causal.

b) AMDEC pour l'assemblage :

[ISHII et al. 2003] appliquent les AMDEC aux assemblages. Comme ils le décrivent, l'automatisation des AMDEC d'assemblage semble incertaine, tant le facteur humain est important. Ils soulèvent également certains freins à l'application des AMDEC. Tout d'abord, ils synthétisent plusieurs études qui montrent respectivement :

- le frein numéro 1 à la réalisation des AMDEC est la consommation de temps que cela prend, [DALE 1990] puis
- le manque de soutien logiciel adapté [TSUNG 1995]
- le manque d'aide à l'identification des défaillances [WIRTH 1996]
- la dépendance de la qualité et des participants, [BELL 1992]

A partir de ces constats, ils proposent une méthode structurante aidant à la réalisation des analyses. Elle est basée sur un ensemble de questions et est orientée pour les phases où l'analyse est la moins arrêtée mais où les choix seront les plus importants, la conception. Une application est proposée sur un assemblage d'alimentation d'avion.

c) AMDEC en conception et le retour d'expérience :

Lors de la conception d'un système, il est intéressant de savoir sur quoi faire porter les efforts afin d'améliorer la conception. Deux aspects peuvent être envisagés :

- Une analyse de la conception en cours de réalisation permet de déterminer quels sont les composants les plus sensibles.
- Un retour d'expérience permet la prise en compte des différentes défaillances vécues.

Une liste de défaillances de chaque composant peut servir de fil conducteur lors de la conception. Comme le souligne [TUMER 2001] il n'existe pas d'algorithme supportant cette méthode pour de grands systèmes. Ils proposent pour le retour d'expérience de s'appuyer sur une description fonctionnelle des produits. Les fonctions sont partagées et servent de référence. Une matrice liant [produits, fonctions] est obtenue. Le retour d'expérience est pratiqué sur un ensemble de produits identifiés dans la matrice précédemment construite. Ils s'appuient sur l'enregistrement des produits défaillants et une description normalisée de ces défaillances. Il en ressort une matrice [produits, défaillances]. Ces deux matrices correspondent à une description d'un ensemble de produits dans un ensemble de fonctions et une description d'un ensemble de défaillances dans un ensemble de produits. Il est alors possible de voir le lien entre l'ensemble des fonctions et l'ensemble des défaillances par une multiplication matricielle. Par surcroît, le concepteur peut tirer un ensemble de fonctions qui sont plus défaillantes que d'autres et sur lesquelles il doit se focaliser.

Comme il est rappelé dans [TUMER 2002(a)], la référence fonctionnelle est fondamentale. Chaque partie machine ou produit peut être décrite en terme fonctionnel. Les défaillances des parties d'une machine peuvent être **collectées**. Un lien formel peut donc être construit entre les **fonctions de conception** et les **modes de défaillance**. Cela permet d'identifier les fonctions qui ont le plus grand risque et orienter les actions de fiabilisation en conception en fonction du retour d'expérience des opérations.

Deux axes de recherches sont alors poursuivis :

- Le premier permet de déployer cette méthode aux grands systèmes en proposant une réduction de la matrice fonctions, modes de défaillances [TUMER 2002(b)].

- Le second axe de recherche [TUMER 2003] met à jour quelques nouvelles taxinomies de modes de défaillances afin d'être plus proche des problèmes réels émergés.

d) Vers d'autres applications :

Dans sa proposition de mise en place d'une AMDEC basée sur le coût, [ISHII, 2003] propose un ensemble d'autres mesures prises pour appliquer les prescriptions des normes tout en dépassant les contraintes que la méthode de base soulève. Par ailleurs, une bibliographie spécifique éditée et réalisée par le centre d'information scientifique et technique de la NASA sur les AMDEC [STI 2000] propose une revue de plus de trente applications et aménagements de l'AMDEC.

2.3 L'AMDEC, le vilain petit canard ?

Cette bibliographie souligne tout d'abord l'importance donnée aux AMDEC notamment au travers des références normatives. A l'image des déformations qu'un message peut subir par le bouche-à-oreille, il semble que d'une norme à l'autre il y ait également de fortes déformations.

Les applications industrielles qui en découlent sont aussi variées que les problèmes que cette méthode soulève. Malgré les difficultés rencontrées les recherches semblent être actives pour dépasser les difficultés opérationnelles. Qu'elles aillent de l'automatisation des AMDEC à leur intégration dans des outils réemployant les connaissances contenues dans les analyses, les recherches ouvrent des possibilités de paramétrage importantes. Cet outil pointé pourtant comme le «vilain petit canard des méthodes» ouvre des perspectives inattendues.

Les AMDEC semblent donc, lorsqu'elles sont **paramétrées** de manière adaptée pouvoir permettre :

- Un traitement systématique des risques.
- Une fiabilisation des éléments analysés.
- Une base d'informations pertinentes pour le **retour d'expérience**.

D'un point de vue organisationnel, il faut s'attendre à une **implication des groupes qualité** et à de **fortes réticences organisationnelles**.

3 Construction de la démarche de gestion des risques

La démarche présentée ci-dessous est le fruit de nos travaux de recherche. Elle est déployée sur l'usine de CROLLES 2. Tous les ateliers sont impliqués dans l'action. Plus de 500 ingénieurs sont utilisateurs et acteurs dans le processus d'analyse. Cette démarche est présentée comme une évolution dans le processus qualité qui classiquement s'arrête à la fourniture de documents AMDEC sans analyses synthétiques. Des rapports spécifiques peuvent être revus par les clients et apportés comme preuve du processus de mise sous contrôle des risques et d'amélioration des moyens de production.

Le fil conducteur de l'élaboration de la démarche est de vouloir mettre en place une méthode de gestion des risques de production permettant de satisfaire les différents objectifs de l'organisation. La qualité se décline de manière opérationnelle deux aspects : Les retours clients, les non conformités produits. Du point de vue de la maintenance c'est le taux de rendement synthétique qui est mis en avant. Du point de vue de la fabrication, c'est le temps de cycle qui prime. Du point de vue financier, la réduction des coûts est l'un des objectifs opérationnels à atteindre. Au regard de ces remarques, nous définissons un

risque opérationnel comme un évènement ayant une action néfaste sur l'objectif opérationnel auquel il est lié.

3.1 Une démarche systématique d'analyse

La suite du document désignera par **élément** : une famille de machines, une famille de recettes aux caractéristiques communes, un ensemble d'opérations ou module.

La démarche a pour objectif de fiabiliser les éléments. Pour ce faire elle se veut **systématique** pour chacun d'entre eux. Elle permet ainsi, pour un risque opérationnel donné, - par exemple, les non conformités des produits - d'analyser l'ensemble de l'appareil de production. Cette opération amène à passer au crible les zones à risques et à obtenir un ensemble d'actions permettant la fiabilisation de la ligne.

Une analyse **exhaustive** des modes de défaillances, ayant pour effet une déclinaison d'un risque opérationnel, est réalisée pour chaque partie des éléments de l'appareil de production. Elle porte également sur les causes, les moyens de détections de chaque défaillance. A l'aide d'une métrique, elle permet de classer les risques en les qualifiant d'importants et de mineurs. La démarche s'appuie comme nous l'avons mentionnée sur les **analyses AMDEC**. Ce choix rend cette approche projective car les risques sont issus des propos des experts. S'ils avaient été basés uniquement sur des faits ou des données,

POTENTIAL FAILUR									
FMEA Type (Eqpt, Module or Prdt) :		Module							
Department :									
Section :									
Owner :									
Actual risk									
N°	Item/Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	CLASS	OCC			
RE MODE AND EFFECTS ANALYSIS									
Title: Crolles2 C090 DRAM Device Module FMEA									
Creation date:									
Team members :									
Current Controls				Risk actions			Actions taken & Effective Date		
Prevention	Detection	DET	RPN	Recommended Actions	Responsible & Target Completion Date	Forecasted			
						SEV	OCC	DET	RPN

Figure 7. Schéma de la grille d'analyse utilisée.

ils seraient factuels. Des démarches similaires ont été appliquées par National Semiconductor [WHITCOMB 1994] et Motorola Austin [DEPINTO 1997], pour analyser systématiquement les non conformités appelées « scraps ». Figure 7 est présenté un extrait de la grille d'analyse des AMDEC sur le site de l'Alliance.

Les équipes de travail sont habituées à la grille proposée dans les normes. Aussi, comme un certain nombre de nouveautés sont introduites au sein de l'organisation, vis-à-vis de cette méthode, le changement du format des analyses a volontairement été reporté.

3.2 Le cadrage des analyses

Pour pouvoir réaliser les analyses, il fallait tout d'abord définir un cadre de travail. Un premier cadrage définit différents types d'AMDEC. Ils sont au nombre de trois :

- Les modules.
- Les recettes.
- Les machines.

a) Le niveau des analyses :

Les analyses se déroulent lors de séances de travail en groupe. Durant ces séances, il a été constaté que pour aboutir à l'identification de risques puis à leur cotation, il est nécessaire de définir ce sur quoi les analyses vont porter. Dans le cas contraire, le groupe passera un temps non négligeable à définir un point d'ancrage des réflexions. Pour analyser une machine, il faut une équipe de 2 et 4 personnes composée d'au moins une personne connaissant bien l'équipement et une personne utilisatrice de la machine (ingénieur process). Libérer un créneau dans l'emploi du temps de chacune de ces personnes n'est pas chose aisée. De plus des préjugés existent quant à l'utilité de ces analyses. Une perte de temps pour décider ce qu'il faut analyser est généralement liée à une perte de motivation et une amputation des analyses.

Pour éviter le travers mentionné ci-dessus, une réponse empirique est apportée à la question « sur quoi portent les analyses ? ».

- Pour les modules, chaque item/fonction est une opération de fabrication.
- Pour les recettes, chaque item/fonction est une étape temporelle de la recette considérée.
- Pour les machines, chaque item/fonction est une fonctionnalité de la machine ou un organe machine spécifique.

Pour les recettes, chaque mode bloc machine en cause aurait pu être analysé. Cependant, cela aurait conduit à une analyse des problèmes liés aux blocs machine. L'objectif des AMDEC recettes est de traiter des problèmes spécifiques aux procédés : la robustesse des points de fonctionnement, la pertinence des points de fonctionnement, les choix des chimies etc.

b) Les liens entre les métiers :

Les liens métiers peuvent être expliqués à l'aide du schéma Figure 4, page 24 de construction d'une technologie. Ce schéma transcrit une réalité de travail : chaque opération est réalisée par une recette de fabrication et chaque recette est réalisée sur une machine. Il engendre deux types de liens :

Un premier lien est dû à la structuration du métier. Il est important de connaître :

- Pour les modules, les recettes impliquées dans la réalisation de chaque opération.
- Pour les recettes, les modules impliqués ainsi que les équipements.
- Pour les équipements, les recettes qu'ils sont capables de réaliser.

Un second type de lien est dû à la structure des analyses.

- Les modes de défaillances des modules sont égaux aux effets de défaillances des recettes qui réalisent ces modules.
- Les modes de défaillance des recettes sont égaux aux effets de défaillance des blocs machines qui réalisent ces recettes.

Tous ces liens vont directement être traduits dans les AMDEC.

3.3 Comment se concentrer sur les problèmes opérationnels ?

Le cadrage réalisé, les analyses des modules portent sur leurs opérations de fabrication, celles relatives aux recettes sur leur séquençement et celles relatives aux machines portent sur leur conception.

a) la souplesse de l'AMDEC :

La souplesse de l'outil AMDEC, repose sur sa faculté de paramétrage. Le cadrage ne permet cependant pas encore de faire ressortir des analyses uniquement les risques relatifs aux objectifs opérationnels visés. Il est nécessaire de trouver les grilles de cotation adaptées afin de faire ressortir les risques qui sont à traiter.

Notons dans la suite du document :

- Le risque est un vecteur constitué des composantes : Item/Fonction; Mode de défaillance; Effet; Cause; Détections. Il est noté **R**
- Sa cotation associée est le vecteur : Sévérité; Occurrence; Détection, noté **cot(R)**
- Son action associée est le vecteur : Action recommandée; Responsable; Date de fin; Action effective noté **A(R)**
- La cotation prévisionnelle de l'action est le vecteur : Sévérité prévisionnelle; Occurrence Prévisionnelle; Détection Prévisionnelle, noté **cot(A(R))**.
- La **gravité** d'un risque est calculée à partir de sa cotation, par l'application **RPN**

$${}^{26} \text{ sur le triplet de cotation. Où } RPN : \mathfrak{R}^3 \rightarrow \mathfrak{R}$$

$$(a, b, c) \mapsto a * b * c$$

En premier lieu, et afin de pouvoir focaliser les forces de travail sur les zones à risques, les actions de diminution de la gravité sont envisagées uniquement pour les risques dont le RPN est supérieur à un certain seuil S. Ensuite, si toutes les gravités d'un élément donné, sont en dessous de S, alors les priorités d'actions sont déterminées par un classement des gravités. [BOWLES 2003] souligne la nécessité de sélectionner les risques importants non pas uniquement sur un seuil fixe mais également sur des seuils de sévérité, d'occurrence et de détection. Il montre par cette méthode une amélioration d'efficacité de la couverture par rapport au mode de calcul non linéaire du risque. Bien conscient de cet apport, le déploiement de la classification des risques reste cependant fait en regard d'un unique seuil fixe, quelque soit le risque opérationnel recherché.

Pour un risque donné, sévérité (SEV), occurrence (OCC) et détection (DET), sont des grandeurs fixées par les experts, lors de leurs analyses. Ils sont aidés dans ce travail par des grilles de cotation. L'attribution des notes provient d'un rapprochement du risque devant être traité, avec celui proposé par la grille. Cette étape de « reconnaissance de formes » est laissée à la discrétion des experts. Ainsi Cot(R) est dépendant de la grille d'analyse et de son interprétation.

Notons GA la grille d'analyse. Ainsi, Cot(R) devient Cot(R)_{GA}.

²⁶ Rappel : RPN est l'acronyme de Risk Priority Number

Pour deux grilles d'analyses différentes, GA1 et GA2, il se peut que $RPN(Cot(R)_{GA1}) > S$ et $RPN(Cot(R)_{GA2}) < S$. C'est-à-dire, le risque **R** aura deux cotations différentes et peut avoir un $RPN > S$ dans un cas et pas dans l'autre. Ainsi, un même risque est pris en compte et comporter une action, avec une grille de cotation, alors qu'avec une autre il ne l'est pas. La grille est donc un moyen de se focaliser sur certains types de problèmes. Une réflexion identique pourrait être mise en avant, avec le niveau du seuil. L'hypothèse sous jacente à cette formalisation est l'exhaustivité des analyses.

Les paramètres de la grille sont ajustés de telle manière que :

- La cotation de la sévérité reflète les niveaux d'impacts constatés de risque opérationnel²⁷.
- L'occurrence, reflète les fréquences d'apparition des événements liés aux risques opérationnels.
- La détection reflète les moyens de détection des événements et des causes de défaillance liés aux risques opérationnels.

b) Paramètres choisis :

La constitution de la grille implique les groupes devant chercher à diminuer les risques opérationnels. Ils sont conviés lors de réunions de créativité, à s'exprimer sur les différents effets recherchés, mais également, les occurrences, et modes de détections, utilisés. A l'issue de ces réunions, une grille de synthèse est proposée, classant les différentes idées et leur associant une cotation de 1 à 10.

Les grilles des non-conformités des produits ont été construites sur la base des grilles existantes dans les usines Philips, Motorola Austin (maintenant Freescale Semiconductor Austin) et ST Crolles 1. Les grilles relatives au « temps de cycle » ont été élaborées construites itérativement. Chaque correspondant « temps de cycle a » donné sa proposition suite à laquelle une synthèse est réalisée. Un ensemble de 2 grilles relatives aux recettes et blocs machines est constitué après 8 réunions, 5 itérations, et validées après 3 présentations aux réunions « temps de cycle ».

Toutes les grilles sont présentées en ANNEXE 2. Le seuil à partir duquel une action doit être menée est fixé à 125.

3.4 Comment obtenir des informations pertinentes ?

Les événements de l'outil de production, rendent les informations contenues dans les documents rapidement obsolètes. « Hors contrôles », « hors spécifications », « produits défectueux », « usures prématurées », sont des phénomènes qui viennent modifier les cotations proposées lors des analyses. La mise à jour des cotations n'est, de ce fait, plus uniquement contrainte par le temps. Le but est d'obtenir des informations valides pouvant être utilisées pour le travail quotidien des ingénieurs de la ligne (maintenance, équipement, gammistes, procédé, recherche, ...). La mise à jour est essentiellement basée sur l'évènementiel et l'évolution de la connaissance technique de l'appareil de production. Comme indiqué Figure 8, page 49, l'introduction d'une nouveauté, les réclamations client, et les événements opérationnels, sont les déclencheurs des AMDEC.

²⁷ Rappel : Le risque opérationnel est défini comme le frein aux objectifs de production. Le risque de l'analyse est défini comme le vecteur R

[TRAHAN 1999], ont appliqué un protocole de mise à jour des AMDEC, lors des changements majeurs revus dans un comité appelé le RB acronyme de : Review Board. Leurs travaux confirment la possibilité d'utiliser l'outil AMDEC au cœur de l'analyse de tout évènement tel que défini dans ce document.

Outre le fait de disposer d'information à jour, la prise en compte des évènements opérationnels permet de venir valider ou invalider les analyses menées. Les acteurs des AMDEC, ne peuvent prétendre à fournir des connaissances universelles ou complètes. Si une analyse est faite superficiellement sur un des éléments de l'appareil de production, aucune action ne sera envisagée pour réduire le risque potentiel (puisque non identifié).

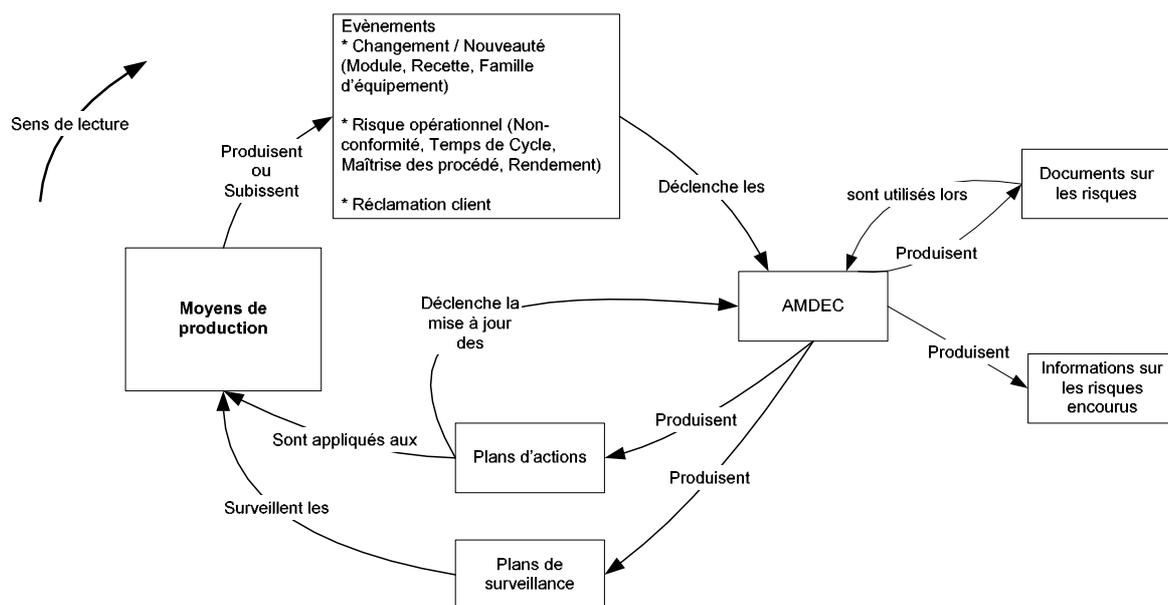


Figure 8. Boucle de rétroaction sur les analyses en fonction des évènements.

Par voie de conséquence, si les objectifs opérationnels, pour cet élément, ne sont pas atteints à cause de l'apparition de certains évènements, il devra être analysé à nouveau en regard de ces faits. Cette prise en compte est donc une assurance de disposer d'un levier d'explicitation des connaissances des experts reconnu par l'organisation.

4 Les supports de la démarche

4.1 Le support de déploiement

a) La vue organisationnelle :

Comme le souligne [KINNEY, 1991], la réalisation des AMDEC rencontre des freins. Une méthode basée sur cet outil doit y remédier. Plusieurs freins peuvent être anticipés :

- L'objectif de cet outil est de mettre en avant les risques opérationnels et d'assurer le suivi dynamique des actions correspondantes. Il peut parfois sembler décalé par rapport aux objectifs locaux et être mal ressenti. Il peut être vu comme une contrainte supplémentaire plutôt qu'une aide.

- Les experts impliqués peuvent avoir une culture du risque différente de celle proposée. Aussi l'introduction et le déploiement de la démarche doivent intégrer l'assimilation par les acteurs de ce changement culturel.
- Cette démarche fait appel à une importante phase d'explicitation des connaissances d'experts.

Dans un environnement structuré, l'encadrement a en général prédéfini des objectifs par secteur d'activité. La méthode doit remporter **l'adhésion hiérarchique** par sa valeur ajoutée. Pour lever ces freins potentiels il est constaté que seule une pratique opérationnelle des AMDEC permet d'obtenir l'engagement et l'adhésion de l'organisation au processus. Les pratiquants sont supportés lors de leurs travaux et la voie managériale est sollicitée.

Dans l'organisation, ce changement se traduit par :

- des réunions permettant la revue des indicateurs
- des groupes de travail constitués d'un animateur «process control» et de relais issus de l'ensemble des groupes travaillant sur l'appareil de production.

Ces correspondants ont en charge le déploiement et la diffusion de la méthode au sein de leur groupe. Les revues régulières, hebdomadaires, sont réalisées avec ces contacts. L'avancement de la percée de la méthode, au sein de chaque groupe, est particulièrement suivi. Le statut des actions identifiées pour réduire les risques y est également revu. Un plan de formation adapté est proposé, il est constitué d'au moins deux cours (2*4 heures). Le premier concerne l'approche globale AMDEC, le second permet d'entrer dans les détails de la méthode. La **régularité de ces rencontres** et la **revue systématique des indicateurs et actions** sont les deux points clefs pour lever les freins organisationnels et individuels.

b) la vue managériale :

La mise en place d'une telle structure est assez lourde et requiert l'appui de **l'ensemble du management**. Pour que les actions soient relayées et suivies dans les différents ateliers, une priorité doit leur être donnée. Aussi le **management local** doit être fortement **impliqué et moteur**. Pour obtenir leur adhésion, la méthode doit absolument être **une aide opérationnelle**. Pour cela nous employons des synthèses, à différents niveaux de granularité, montrant les risques de chaque zone. Les managers d'atelier(s) sont intéressés par un rapport montrant les risques de leur section, allant dans le détail et comportant les actions associées aux risques. Pour les managers ayant un champ de responsabilité plus important, les synthèses donnent une vue de l'ensemble des risques encourus dans l'usine.

c) La vue opérationnelle :

Il reste cependant à mener les analyses. Pour obtenir des résultats, deux modes de fonctionnement sont employées :

- Le premier conduit les acteurs à **trouver leur intérêt** à fournir leurs connaissances sur l'état de l'appareil de production, vis-à-vis des risques opérationnels. Cette opération n'est pas impossible, car les risques trouvés reflètent les problèmes rencontrés par les acteurs dans leurs opérations quotidiennes. Aussi, les actions relatives à ces risques sont appuyées par le management et sont un moyen de focaliser les fournisseurs et les équipes sur des questions techniques réellement prioritaires.
- Le second se base sur le **pouvoir d'analyse** du management lui permettant de mieux appréhender les risques de chaque secteur. **L'outil de revue des**

indicateurs va lui permettre de suivre l'évolution des analyses, en veillant au respect de règles élémentaires pour que les documents créés contiennent les informations pertinentes relatives aux métiers des experts. Les indicateurs de performance d'un secteur donné doivent être en cohérence avec les AMDEC. Dans le cas contraire, le manager doit demander une révision des analyses.

La **coopération** des acteurs est donc envisagée suivant deux modes, l'un basé sur la **volonté des acteurs** et l'autre assuré par l'**implication managériale**. Cette implication permet de passer d'un mode réactif à un mode proactif où les problèmes sont traités par anticipation.

4.2 Les synthèses comme un support

Un élément peut contenir, jusqu'à une quinzaine de sous ensembles qui peuvent également contenir chacun une trentaine de risques. L'appareil de production comporte plus de deux milles éléments. L'analyse systématique et l'extraction des informations pertinentes pour les synthèses ne peuvent se faire manuellement. Il faudrait pouvoir parcourir régulièrement $\sim 15 \times 30 \times 2000 = 900000$ risques. Un outil support est donc indispensable. Tout comme le soutient [LUTHRA, 1991], les explicitations des connaissances d'experts doivent être outillées. Cependant, il semble primordial de mettre l'accent sur le côté opérationnel de l'outil afin qu'il aide à diminuer les risques identifiés sur l'usine. Cet aspect est traité ici.

La finalité de l'outil est d'orienter les forces de travail vers les zones à risque. Il fournit donc l'ensemble des informations pertinentes pour répondre aux voies de management présentées précédemment.

L'outil que nous proposons se décompose en 5 parties par élément :

- La première analyse fournit l'ensemble des risques et actions associées identifiés, dont la gravité est supérieure au seuil défini.
- La seconde fournit une synthèse des zones à risques au niveau de l'usine, comme nous l'illustrons Figure 9.
- La troisième met en regard, à un certain niveau d'agrégation, la comptabilisation des événements relatifs aux risques opérationnels traqués et l'état des analyses.
- L'outil contient un quatrième volet, intégré aux deux premiers, qui traque le mauvais respect des règles d'analyses. Pour ce faire, des règles de traitement sont appliquées :
 - R1 : Un atelier est considéré comme risqué, s'il possède au moins un risque sans action associée et dont la gravité est supérieure au seuil.
 - R2 : Les analyses de l'atelier sont considérées comme devant être revues, les actions prévisionnelles ne sont pas quantifiées en terme de gravité.
 - R3 : Un atelier est considéré comme risqué s'il n'a pas commencé les analyses.

Cette supervision est intégrée au tableau de bord suivi de manière hebdomadaire.

- La cinquième partie permet de réaliser des synthèses graphiques des risques sur chaque atelier, comme nous l'illustrons Figure 10.

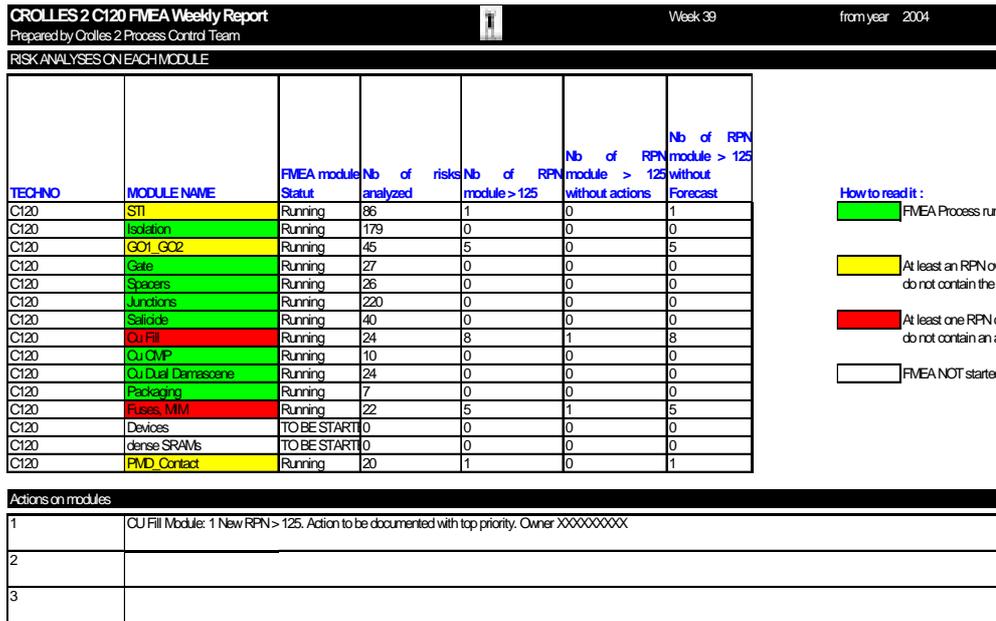


Figure 9. Extrait de l’outil de synthèse, montrant les zones à risques au niveau de l’usine.

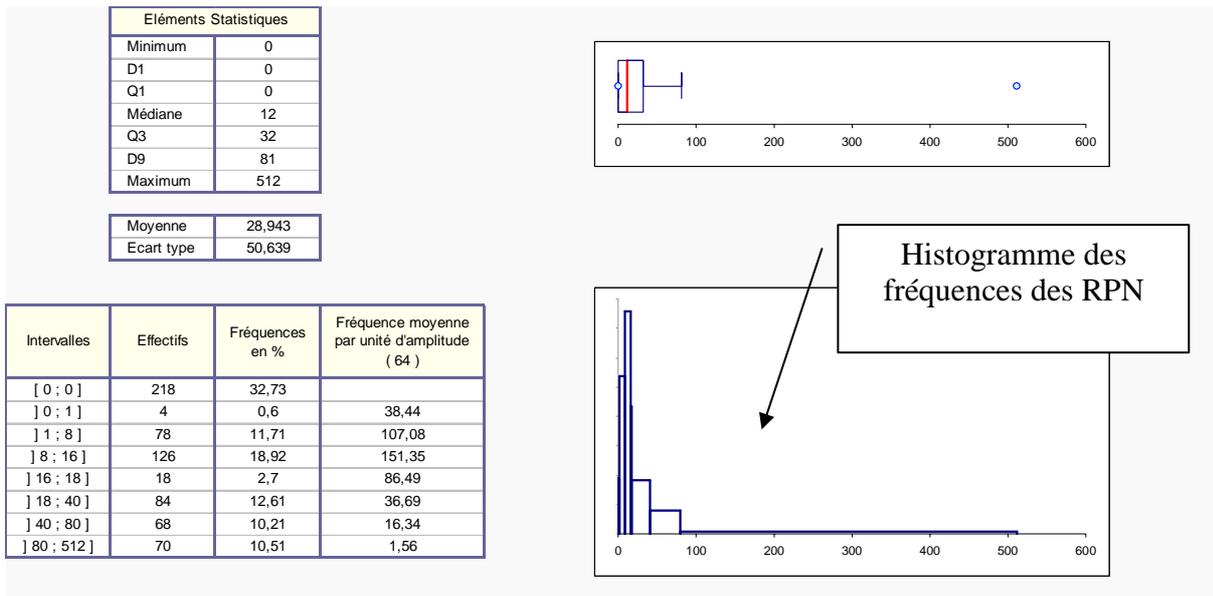


Figure 10. Rapport graphique des risques machines pour l'atelier CMP.

Nous présentons plus en détail l’outil en ANNEXE 8 par les différents rapports et des copies d’écran de l’outil.

5 La vie de la démarche

5.1 De la collecte des évènements...

Afin de pouvoir prendre en compte les évènements liés aux risques opérationnels, il est nécessaire de les collecter. Cette opération lie les analyses des éléments de l'usine à leurs évolutions et permet de rendre les AMDEC dynamiques.

a) Pour les risques liés aux non-conformités des produits : l'évènementiel des risques liés aux non-conformités des produits issus de l'appareil de production est recueilli au sein du réseau de terrain par une procédure de déclaration et d'enregistrement. Le traitement de cet évènementiel est structuré par des séances de résolution de problèmes en groupe appelées 8D. Une séance se déroule en plusieurs étapes et sa clôture est concomitante avec la résolution du problème. Dans l'entreprise, les 8D ont été instaurés pour traiter les non conformités des produits. Dans le cadre de la partie préventive du 8D, un lien vers une éventuelle étude de type AMDEC est envisagé.

b) Pour le risque impactant le temps de cycle : l'évènementiel des problèmes liés à cet indicateur est mesuré en permanence par la gestion de production. Des indicateurs de performance sont disponibles pour identifier les zones impactant le temps de cycle. Ces indicateurs sont présentés lors d'une réunion spécifique « temps de cycle » avec des représentants de chaque ateliers de l'usine. Cette dernière permet de donner les priorités. Chaque membre présente également les actions qui sont menées dans son groupe afin d'atteindre des objectifs de temps de cycle. Les analyses de risques ne sont pas évoquées dans cette réunion.

Dans la suite du paragraphe, les risques opérationnels visés sont les non-conformités des produits.

5.2 ... à leur intégration dans les AMDEC

Un évènement : est défini comme une donnée interprétée déclenchant une action ou une activité. Dans le cadre de ce chapitre, un évènement est assimilé soit à l'apparition d'un risque opérationnel, soit à la décision de réaliser les AMDEC d'un élément donné.

Un risque survient (évènement), son apparition est enregistrée. Il subit un premier traitement²⁸ pour ne pas prendre en compte tous les risques. L'évènement est analysé dans un format dit de 8D durant lequel il est fait mention d'une **nécessaire** mise à jour des AMDEC des éléments impliqués dans le mécanisme de cause.

Le traitement **8D** est une méthode structurant la résolution de problèmes en groupe. Elle est composée de 8 étapes. Elle permet de **constituer un groupe de travail**, de **décrire le problème** et de **prendre des mesures immédiates** afin qu'il ne se produise plus, **d'analyser le mécanisme de cause**, de prendre des **mesures à moyen terme** et des **mesures préventives à long terme** afin de prévenir l'apparition des causes. Une **validation de la qualité** des travaux menés et une valorisation des résultats obtenus vient clore l'analyse. La qualité de remplissage de cet ensemble de mesures permet de garantir la maîtrise du risque. Une mise à jour des analyses systématiques (i.e. des AMDEC) est

²⁸ si Scrap > 6 plaques Alors 8D sinon rien, Si scrap d'un prototype alors 8D sinon rien, Si quasiscrap d'un lot de production alors 8D sinon rien

incluse dans cette démarche. Si la mise à jour est effective, une analyse de risque complète et exhaustive est garantie.

6 Rationalisation des pratiques de gestion des risques

En utilisant le formalisme IDEF 3 [MAYER et Al. 1995], l'enchaînement des activités de traitement d'un évènement peut être représenté par la Figure 11. Le processus 8D est présenté Figure 12, au niveau de la 7eme étape de la démarche 8D (en gras) les AMDEC sont réalisées.

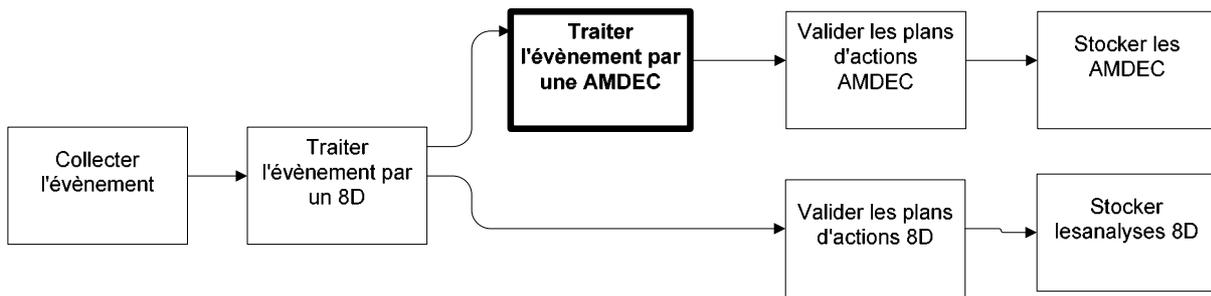


Figure 11. Processus actuel de gestion des risques.

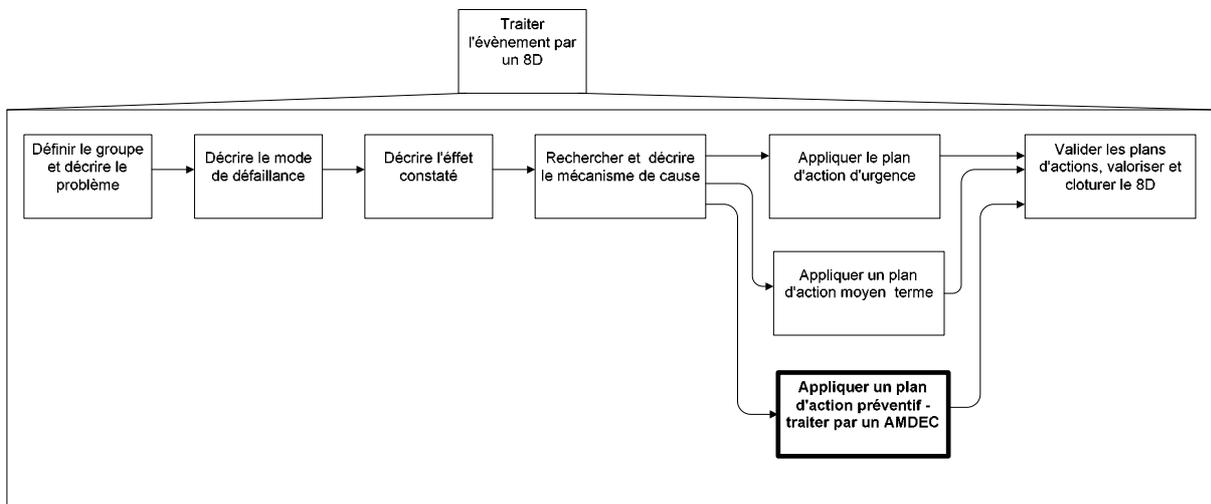


Figure 12. Processus actuel 8D.

La procédure associée à ce processus contient certains bouclages. La validation du processus se fait lors d'une réunion hebdomadaire. La pertinence des analyses est vérifiée en groupe, lors de ces réunions. Une révision d'une analyse peut impacter chaque étape du 8D.

Le processus de traitement par une AMDEC des risques est très semblable à celui par un 8D, nous allons voir comment intégrer ces deux processus afin que les AMDEC soient dynamiques et donc mises à jour en temps réel.

La façon de structurer les analyses **8D** est **similaire** à celle des **AMDEC**.

- L'identification de l'évènement dans le 8D revient à identifier le niveau d'analyse AMDEC et des effets produits.
- L'action immédiate décrite dans le 8D permettant d'éviter que le mode de défaillance n'apparaisse correspond à une première action d'AMDEC.
- La recherche du mécanisme des causes dans le cadre des 8D liées à l'évènement correspond dans le cadre des AMDEC également à l'explicitation des causes.
- Les mesures prises lors du 8D permettant de prévenir l'apparition de ce mécanisme correspondent à de nouvelles actions.
- Lorsque l'ensemble des actions mentionnées, dans les 8D, est réalisé, alors il s'ajoute, dans l'AMDEC, comme moyens de prévention des risques.

L'AMDEC va plus loin dans l'analyse. Les moyens de détection des risques doivent être analysés ce qui n'est pas le cas des 8D. Après cotation, des actions de fiabilisation viennent se rajouter en plus des actions 8D si la gravité des risques (RPN) dépasse le seuil fixé (125). Les AMDEC favorisent également le côté exhaustif des analyses. Après avoir ausculté les risques liés à un évènement, il est intéressant de revoir les cotations des autres risques potentiels. A défaut d'existence de ces risques potentiels, il est souhaitable de mener une analyse approfondie, peut-être exhaustive, des éléments en cause (recette, module, machine).

L'imbrication 8D et AMDEC est donc très forte et une intégration de ces deux modes d'analyses peut donc être envisagée. Nous l'envisageons en créant une seule activité de traitement des risques et des défaillances, présenté Figure 13.

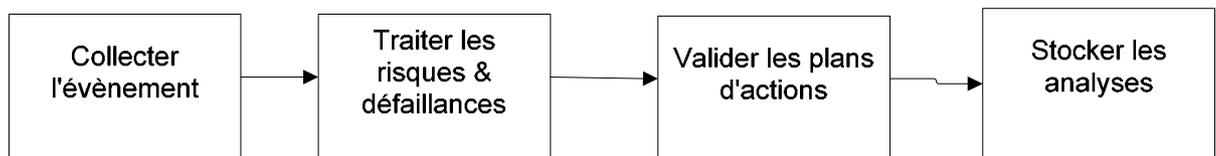


Figure 13. Intégration 8D – AMDEC dans une activité de gestion des risques.

7 Synthèse des réalisations

a) Résultats industriels :

La mise en place de cette méthode par nos travaux se solde par :

- L'implication de 14 ateliers dans les analyses.
- 218 équipements concernés classés en 70 familles d'équipements.
- Trois technologies analysées C120, C090, C65 ainsi que leurs options D090, D120 et C110.
- Une analyse des modules avancés (CAFé, Gate, STI CMOS065nm).

b) Outil développé :

L'outil de synthèse des AMDEC a été réalisé par nos soins :

- Une première fonctionnalité permet la synthèse des risques suivant leurs cotations et des règles d'interprétations prédéfinies ($RPN > \text{Seuil}$, $SEV*DET > \text{Seuil}$)
- Une seconde fonctionnalité résume les risques à différents niveaux de granularité de notre modèle du domaine des fabrications de semi-conducteurs.
- Une fonctionnalité permet d'avoir par technologie, l'analyse complète de ses risques ainsi que de son plan de surveillance.
- Une quatrième fonctionnalité, permet d'extraire automatiquement les typologies des analyses de risques. Elle fournit aussi des indicateurs sur le retour d'expérience et la mise sous contrôle.

c) Intégration 8D – AMDEC :

Le filtrage de l'évènementiel des risques opérationnels, vu des AMDEC, par les 8D, est supprimé par la première mesure qui consiste à ne clôturer un 8D que si la preuve est apportée que les AMDEC relatifs aux éléments défaillants sont mises à jour. Ce lien permet d'éviter des AMDEC contenant des connaissances obsolètes.

d) Déploiement à d'autres types de risques :

Pour les objectifs opérationnels suivants : temps de cycle, coûts, rendements des produits, les AMDEC sont proposées comme cadre de fiabilisation systématique des éléments.

Ces travaux ont permis de paramétrer les AMDEC afin d'en faire d'une part une **démarche dynamique** permettant de **gérer les risques opérationnels** du site et d'autre part une base **à jour** de **référence des risques**. Les AMDEC ainsi mis en œuvre contribuent à la fiabilisation des éléments de la ligne de production de manière opérationnelle et dynamique en supportant les connaissances métier.

Un ensemble de sujets est abordé comme éléments de **paramétrage** de cette méthode. Il s'agit notamment du mode de calcul de la gravité, de la portée d'une analyse AMDEC et de l'**intégration** nécessaire avec des outils de **collecte** des événements voire de **données**.

8 Faisons un peu de modélisation...

Etant en possession de la description complète du cas d'étude sur la gestion des risques opérationnels de l'usine de Crolles 2, nous en déduisons des réflexions pour notre recherche.

Notre problématique est de répondre à l'interrogation :

Comment qualifier et améliorer les moyens de production, de manière dynamique, opérationnelle et en supportant les connaissances métier ?

Cette réalisation permet de qualifier les moyens de production par le fait qu'elle incite les équipes d'ingénieurs à réfléchir sur leur élément. Elle permet l'amélioration par le fait que les plans d'actions réduisent les risques et donc les freins à l'atteinte des objectifs opérationnels.

Par ailleurs, elle possède les caractéristiques requises. Elle est :

- Opérationnelle car :
 - Appliquée aux moyens de production.
 - Utilisée dans les opérations quotidiennes.
 - Paramétrable, au travers de grilles de cotation, pour viser un risque opérationnel déterminé.

- Dynamique car elle tient compte des évolutions des moyens de production dues à son utilisation et aux renouvellements des technologies.
- Un support aux connaissances métier car elle permet de construire une base de référence des risques, à jour et réutilisable pour maîtriser les risques des technologies futures.

Nous proposons dans cette partie d'abstraire un modèle d'activités et des processus et de mieux analyser la dimension connaissance. Nous commençons par présenter les modèles (activités et processus) puis nous présentons une réflexion permettant de comprendre le mécanisme centré sur les risques. Nous verrons comment réaliser la mise sous contrôle, l'anticipation et le retour d'expérience autour des risques. Cette partie se termine, ainsi que le chapitre, par une réflexion autour des connaissances métiers mises en œuvre.

8.1 Les modèles

Pour obtenir une bonne visibilité le découpage en élément²⁹ est conservé. Il ressort de l'étude une possibilité de traiter les risques opérationnels en suivant un certain nombre d'activités et de processus. Cette partie propose une **formalisation et une intégration de ces activités et processus**. Nous utilisons le modèle IDEF0, [FIPS 1993], pour les activités et le modèle IDEF 3 pour les processus.

Notre action se différencie du conseil qualité en ce sens qu'étant intégrée opérationnellement dans la ligne, elle peut aussi viser la rationalisation des processus. Cette partie aborde les activités de gestion des risques puis les processus qui leur sont associés.

a) **Activité :**

Activité de collecte : L'opération de collecte est réalisée par un ensemble de méthodes et d'outils (MES³⁰, Feuilles de non conformités, Réunions spécifiques...). Elle pourrait être assimilée à une mesure de l'évènementiel de l'élément. Aussi, si les procédures ne sont pas bien suivies, si elles sont mal établies ou mal communiquées au sein de l'organisation la collecte est mauvaise. Il est donc nécessaire de savoir si l'activité de collecte se passe de manière fiable et répétable. Elle doit posséder un indice de capabilité de mesure que nous appellerons (Cpm).

Elle respecte un mode opératoire vis-à-vis d'un certain nombre d'évènements à collecter définissant le plan de surveillance des risques. De la collecte ressort une information relative à son déroulement ainsi qu'une description de l'évènement que nous appellerons évènement collecté.

L'activité de collecte des évènements opérationnels ainsi constituée est illustrée Figure 14.

²⁹ Pour mémoire, un élément est une famille de machines, une famille de recettes de fabrication, un module architectural.

³⁰ **M**anufacturing **E**xecution **S**ystem

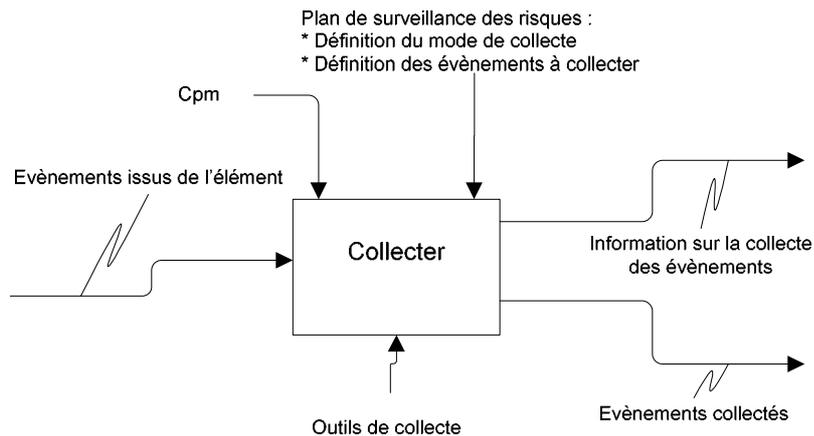


Figure 14. Activité de collecte des évènements.

Activité de gestion des risques opérationnels : Une activité de gestion des risques opérationnels part d'un évènement collecté et de résultats d'analyses spécifiques pour fournir un ensemble de risques, de risques cotés et de plans d'actions relatifs à ces risques. Lorsqu'il faut rechercher les causes de défaillances, des investigations peuvent être demandées. C'est pourquoi cette activité fait un appel à un besoin d'analyse. Elle utilise des experts et des méthodes structurantes. Elle est guidée par différentes règles : d'analyse, de mise en relation et de construction de plans d'actions. La cotation est guidée par des grilles. Les risques peuvent être définis en regard de typologies préalablement définies. Elle est illustrée Figure 15.

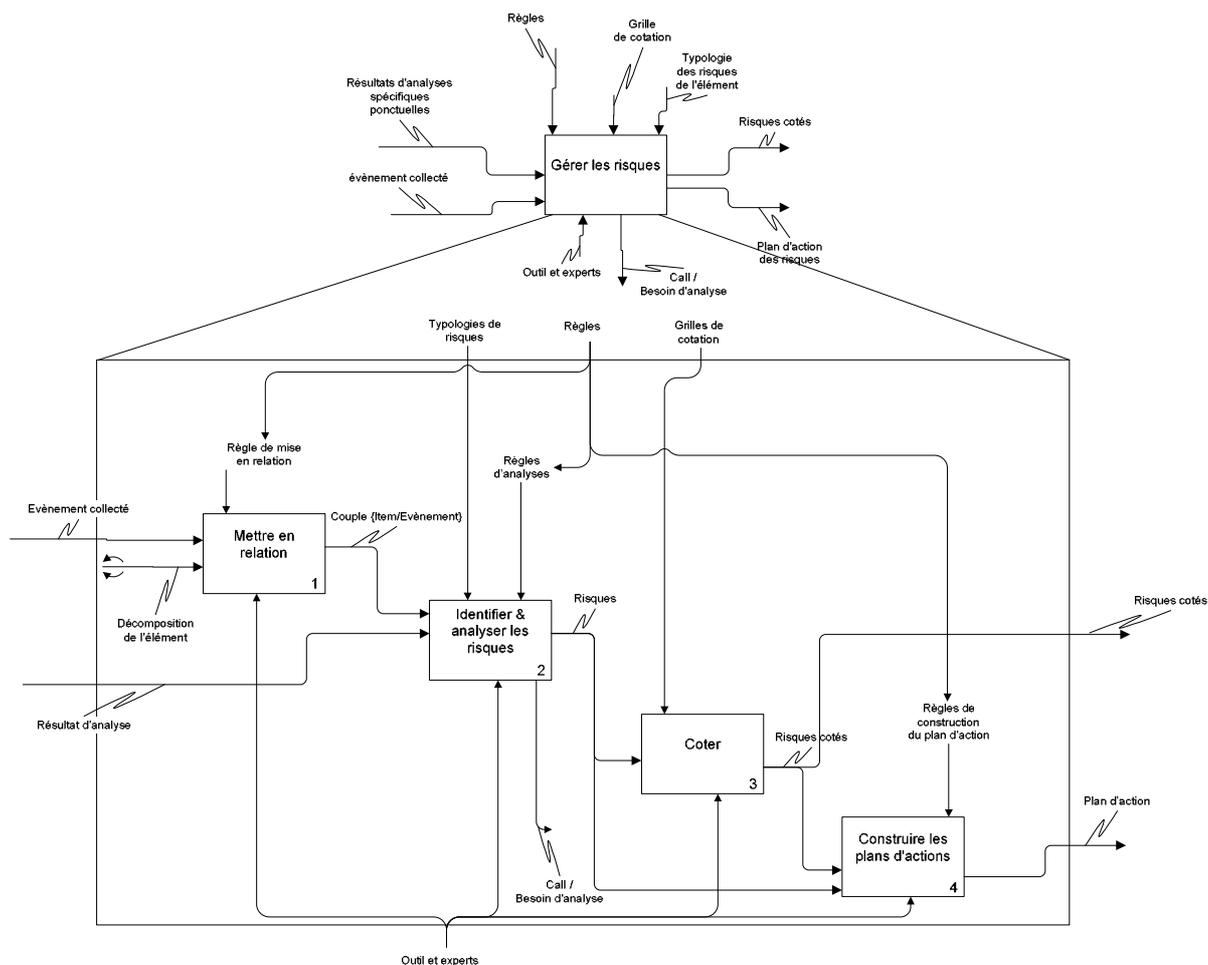


Figure 15. Activité de gestion des risques opérationnels.

Cette activité intègre les 8D et les AMDEC, comme proposé en 6, page 54.

Activité de synthèse des risques opérationnels :

A partir des risques, des risques cotés et des plans d'action, elle fournit des informations sur l'activité « gérer les risques ». Par comparaison avec les typologies de risques existantes (cette notion sera introduite plus en détail dans le paragraphe suivant), elle peut fournir de nouvelles typologies. A partir de la synthèse des risques, le plan de surveillance de l'élément analysé peut être déduit. Ainsi, il est possible de confronter les plans de surveillance empiriques à ceux déterminés par les analyses de risques et de vérifier s'ils sont cohérents.

Pour l'équipe de management ces synthèses sont fondamentales car elles permettent d'avoir une vision des zones plus ou moins sensibles.

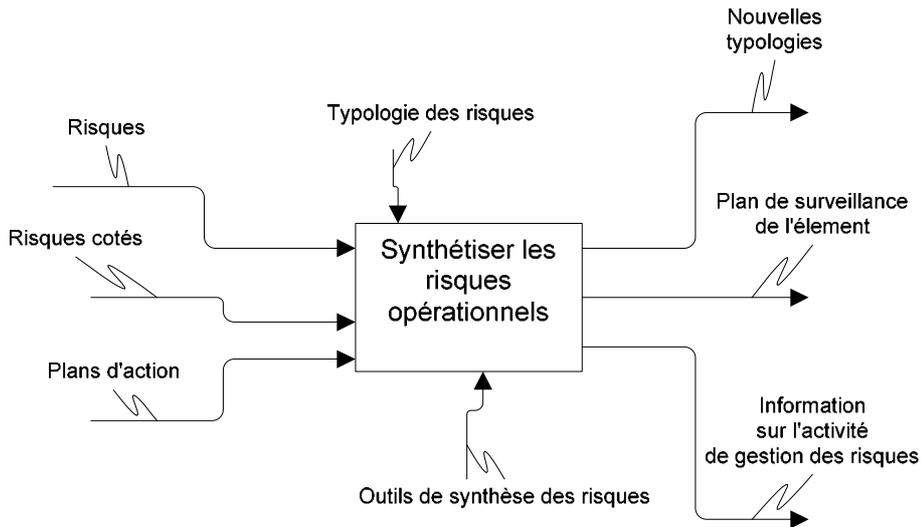


Figure 16. Activité de synthèse.

Deux autres activités sont supposées exister : une activité de management qui doit, à partir d’entrées non encore étudiées, définir les objectifs opérationnels. Une activité d’analyse de données est également pressentie puisqu’il est nécessaire de faire appel à l’analyse de données lors de la gestion des risques. Cette activité sera cependant traitée plus en détail dans le chapitre suivant.

b) Les processus :

Pour un élément donné la mise sous contrôle des risques se passe en suivant le processus suivant :

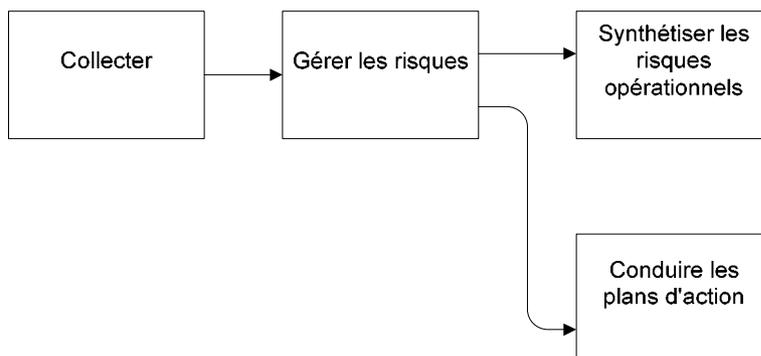


Figure 17. Processus de mise sous contrôle des risques.

Cet enchaînement d’activités ne saurait masquer les bouclages internes à la gestion des risques opérationnels. La conduite des plans d’action ne relève plus du «process control» mais est sous la responsabilité opérationnelle de l’entité dans laquelle l’action se déroule. Une activité n’apparaît pas dans ce processus : celle liée aux analyses. L’activité de gestion des risques peut faire appel à une activité d’analyse. Nous verrons dans le chapitre suivant comment intégrer cette activité.

8.2 Les interactions entre les éléments

Dans notre cas d'étude, une relation existe entre les modes de défaillances et les effets de défaillances des risques. Cette interaction a notamment un impact sur la façon de contrôler et de retourner l'expérience. Cette partie va donc s'intéresser à mieux comprendre ce mécanisme que nous réemployons par la suite comme un élément important du «process control».

8.2.1 Modélisons les interactions entre les risques

Les risques des modules trouvent leurs origines dans les défaillances des recettes et des machines. La façon dont défaille une opération d'un module correspond à un effet de défaillance de la recette réalisant cette opération. De même, la façon dont défaille une recette correspond à un effet de défaillance de la machine réalisant cette recette. Avec les termes employés dans les AMDEC, cela se traduit par :

- Les modes de défaillances des modules sont des effets de défaillances des recettes.
- Les modes de défaillances des recettes sont des effets de défaillances des blocs machines.
- D'autres liens peuvent également exister notamment par la colonne réservée aux causes.

Soient E_i et E_j deux éléments.

Notons : $R_{E_i} = \{r_{pE_i}\}$, l'ensemble des risques de E_i .

Le risque est représenté comme un vecteur. Un exemple peut être [Item/fonction, Mode de défaillance, Effet de défaillance, Cause de défaillance, Action préventive, Moyen de détection]. Il pourrait être également, [Item/fonction, Mode de défaillance, Effet de défaillance, Cause de défaillance, Action de redondance, Moyen de détection] etc.

Notons, $R_{i,j} / R_{E_i} \leftrightarrow R_{E_j}$, la relation entre les ensembles des risques de E_i et de E_j comme illustrée Figure 18.

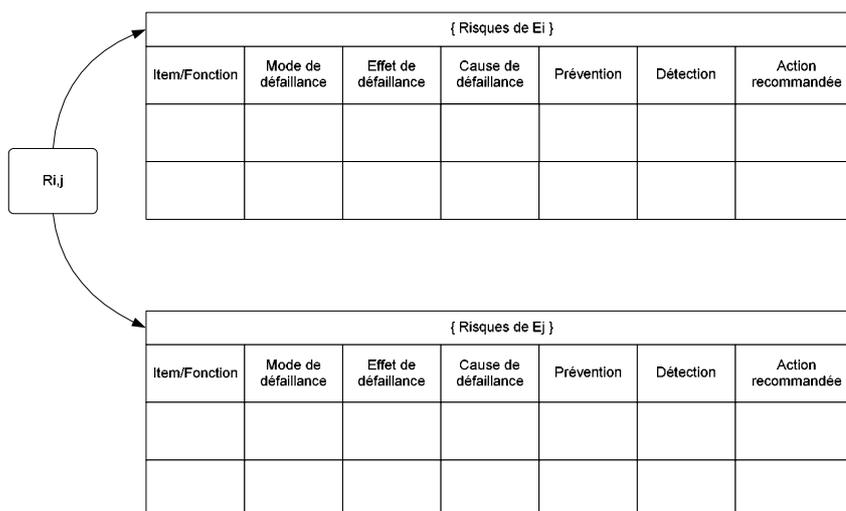


Figure 18. Relation entre E_i et E_j .

Le lien entre les risques est une égalité entre les composantes des risques de E_i et ceux de E_j . Supposons que ces deux composantes soient k et m

- Notons $r_{kp_{E_i}}$, la $k^{\text{ième}}$ composante du $p^{\text{ième}}$ risque, de E_i .
- Ainsi $r_{mp_{E_j}}$ est la $m^{\text{ième}}$ composante du $p^{\text{ième}}$ risque, de E_j .

Notons $\Theta(E_i)$ le nombre de risques de E_i .

Il n'y a pas de raison pour que $\Theta(E_i) = \Theta(E_j)$

Lorsque E_i et E_j sont sous contrôle, si l'égalité est réalisée entre les composantes k et m des risques des éléments E_i et E_j , alors on peut noter :

- $\forall p_1 \in [1; \Theta(E_i)], \exists z_1 \in [1; \Theta(E_j)] / r_{kp_1 E_i} = r_{mz_1 E_j}$ littéralement : pour tout risque p_1 de E_i , il existe un risque z_1 de E_j tel que la $k^{\text{ième}}$ composante du risque p_1 est égale à la $m^{\text{ième}}$ composante du risque z_1 . Nous illustrons cette relation par la Figure 19.

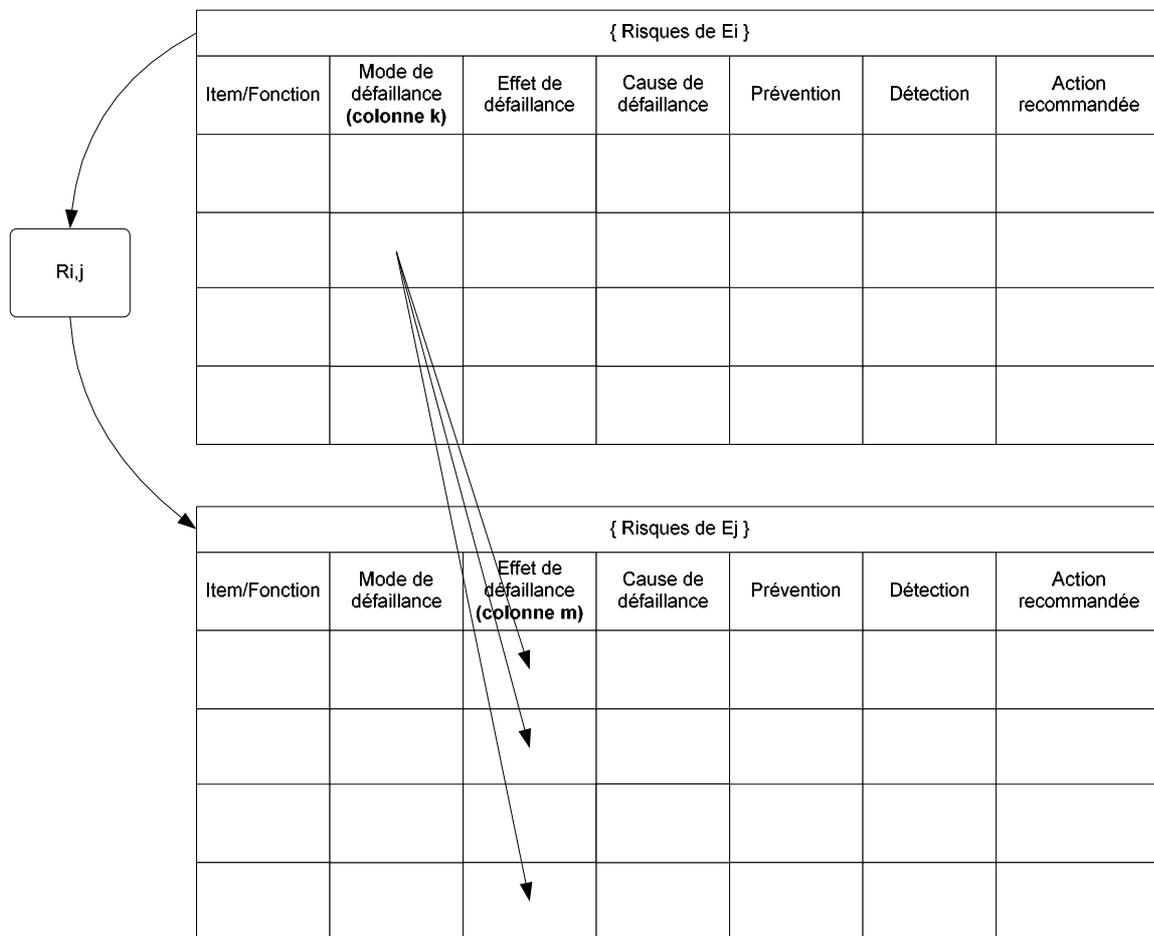


Figure 19. Illustration de la relation de E_i à E_j

- $\forall z_2 \in [1; \Theta(E_j)], \exists p_2 \in [1; \Theta(E_i)] / r_{mz_2 E_j} = r_{kp_2 E_i}$, littéralement, pour tout risque z_2 de E_j , il existe un risque p_2 de E_i tel que la $m^{\text{ième}}$ composante du risque z_2 est égale à la $k^{\text{ième}}$ composante du risque p_2 , ce qui est illustré Figure 20.

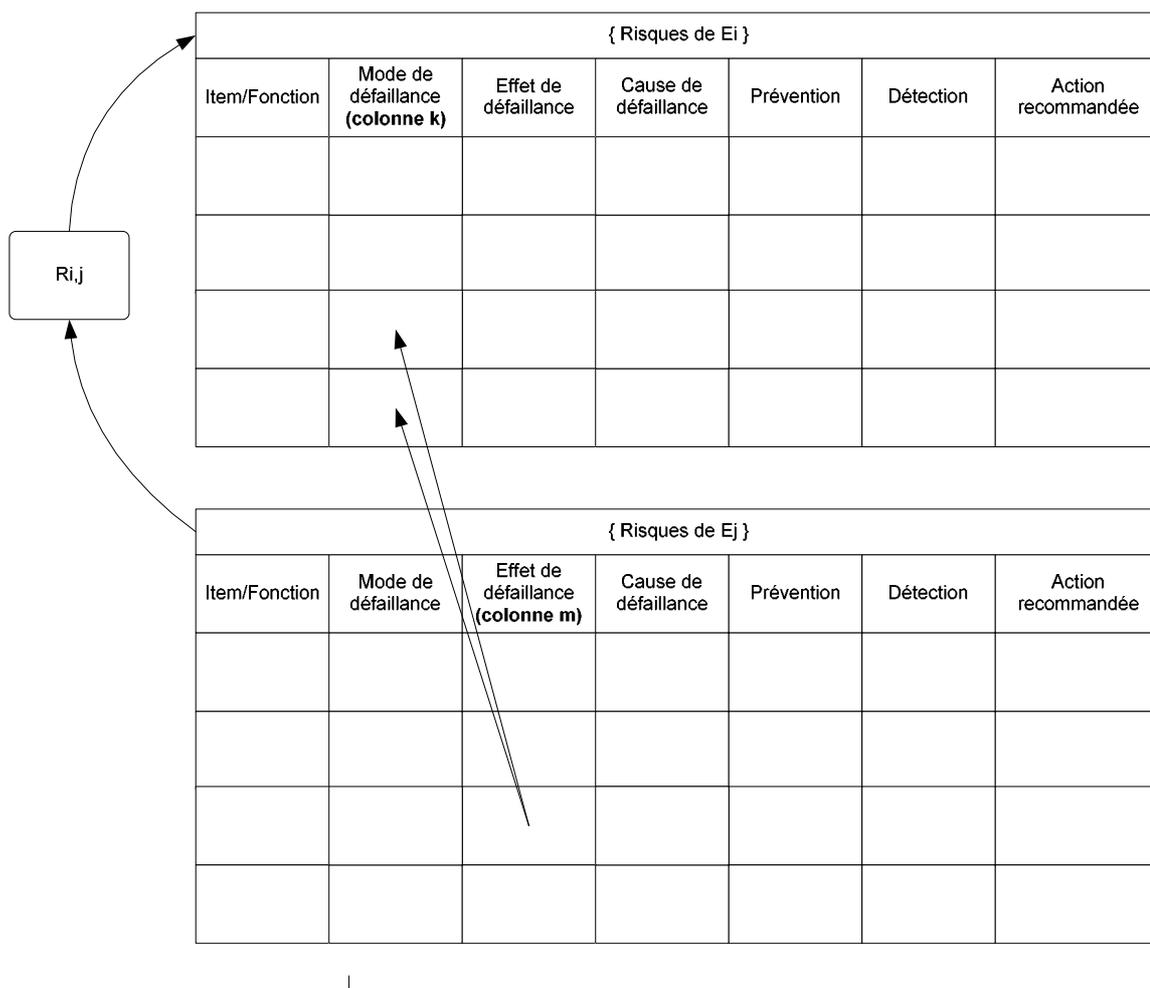


Figure 20. Illustration de la relation de E_j vers E_i

R_{i,j} est donc la combinaison de 2 relations : 2 surjections.

- La première dans l'ensemble des risques de E_i vers l'ensemble des risques E_j.
- La seconde de l'ensemble des risques de E_j vers l'ensemble des risques de E_i.

$$\text{Donc } \begin{cases} \text{Im}_{R_{i,j}}(R_{E_i}) \subset R_{E_j} \\ \text{Im}_{R_{i,j}}(R_{E_j}) \subset R_{E_i} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Im}_{R_{i,j}^{-1}}(\text{Im}_{R_{i,j}}(R_{E_i})) \neq R_{E_i} \\ \text{Im}_{R_{i,j}^{-1}}(\text{Im}_{R_{i,j}}(R_{E_j})) \neq R_{E_j} \end{cases}$$

Notre préoccupation dans cette partie est de trouver A / $\text{Im}_{R_{i,j}^{-1}}(\text{Im}_{R_{i,j}}(A)) = A$

Cet ensemble est important car il contient le cœur des risques des moyens de production. Traiter les risques de cet ensemble, revient à traiter les risques des moyens de production.

Création de la notion de typologie :

Nous prétendons qu'il est possible de décrire une relation R_{i,j} par une égalité unique. Pour ce faire nous introduisons la notion de typologie. Une typologie est une « méta

composante de risque ». Chaque composante, de chaque élément possède ces typologies. Deux risques peuvent être différents et pourtant avoir certaines typologies communes. Par exemple, dans Figure 21, les deux risques sont différents pourtant la typologie liée à Potential/Failure mode est unique pour les deux risques et vaut : «Maxtime Reached ».

Item/Function	Potential / Failure Mode	Potential / Effects of Failure	SEV	CLAS	Potential Cause/ Mechanism of Failure	OCC	Current Controls Prevention	Current Controls Detection	DET	RPN
Cu CMP	Maxtime reached	Scrap	6		Incoming thickness too low	2	Process stopped		1	12
Cu CMP	Maxtime reached	Rework	4		Consumable failure (pad, DD)	2	Process stopped		1	8

Figure 21. Exemple pour les typologies.

Notons t_{apE} la $a^{ième}$ typologie de la $p^{ième}$ composante des risques de l'élément E.

La base des typologies a les mêmes composantes que celle des risques qu'elles sont censées représenter. Notons $\tau_p(Ei)$ la cardinalité des typologies de la $p^{ième}$ composante des risques de Ei. Notons \mathbf{T} l'espace des typologies, des risques. L'espace des typologies des risques possède la même dimension que celui des risques.

Pour tout risque (p) de Ei, et pour chacune de ses composantes (k), il existe une typologie relative à cette composante, dans l'espace des typologies de risques. On postule qu'elle est unique. Autrement dit, dans la composante (k) de la base des typologies il existe au moins un élément (a) tel que cet élément soit égal à la $k^{ième}$ composante du risque considéré. La propriété fondatrice de l'espace des typologies est que : s'il existait a1 et a2 vérifiant cette propriété alors a1 serait égal à a2. Le schéma Figure 22 illustre notre propos.

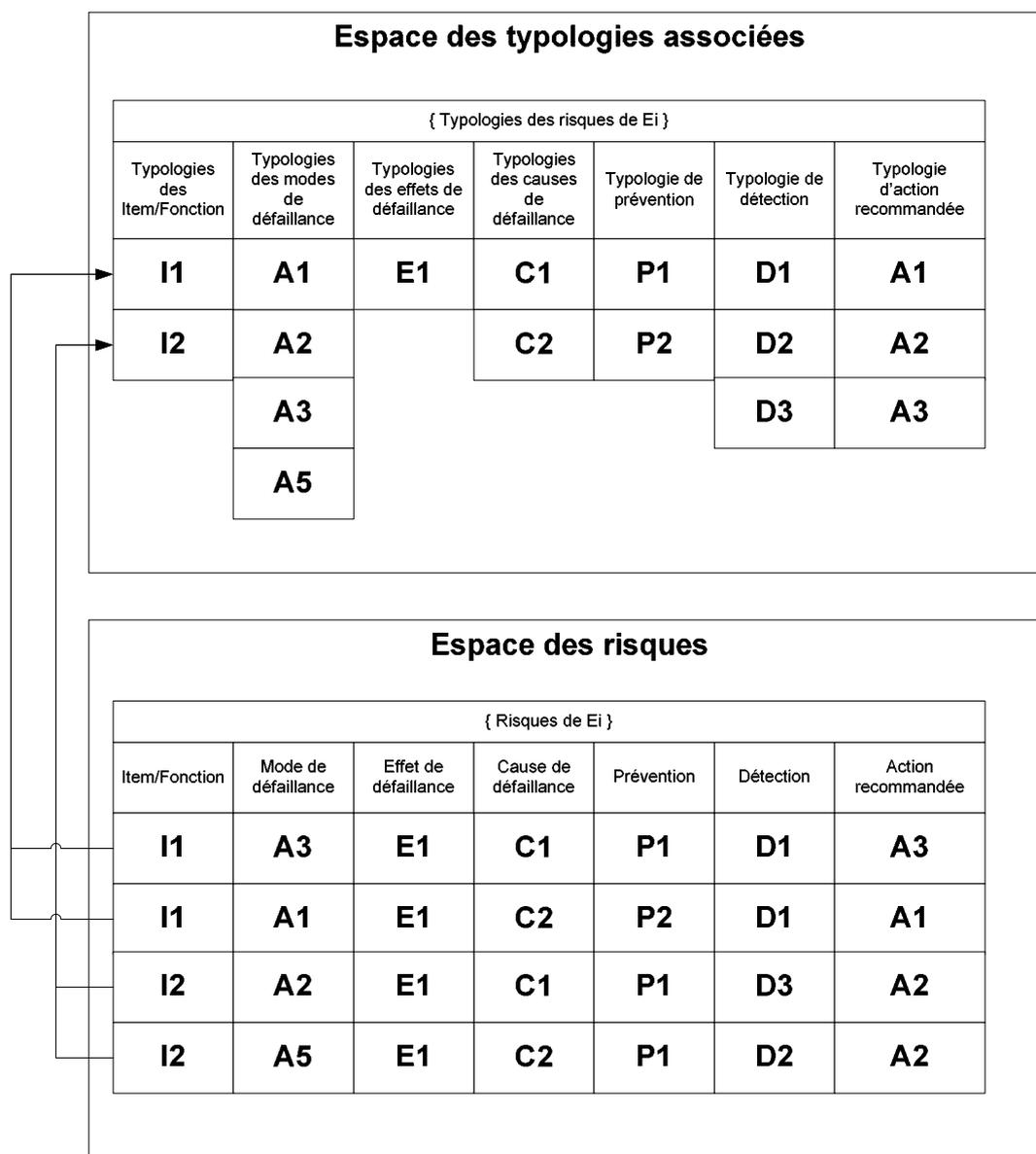


Figure 22. Illustration du concept de typologies.

Des conséquences sur les liens entre les deux éléments sont engendrées comme l'illustre le schéma Figure 23 :

- Chaque terme de la 1ère colonne est au moins une fois présente dans la k^{ième} composante des risques de Ei.
- Chaque terme de la k^{ième} composante de Ei se retrouve une et une seule fois dans ce tableau.

De même pour Ej

- Chaque terme de la colonne k de Ei possède un et un seul terme équivalent de la colonne m de Ej.
- Une même colonne ne peut pas contenir deux éléments identiques.

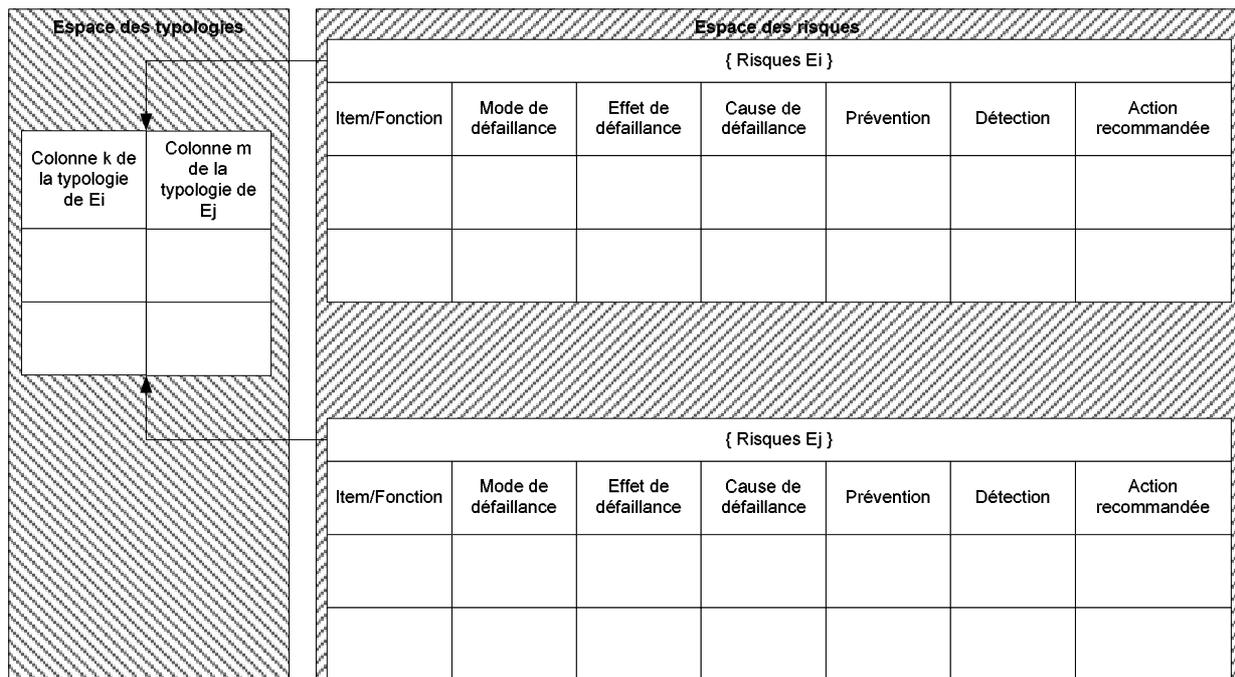


Figure 23. Conséquence des typologies sur les liens entre deux éléments.

Prenons :

- k la colonne des modes de défaillance
- m la colonne des effets

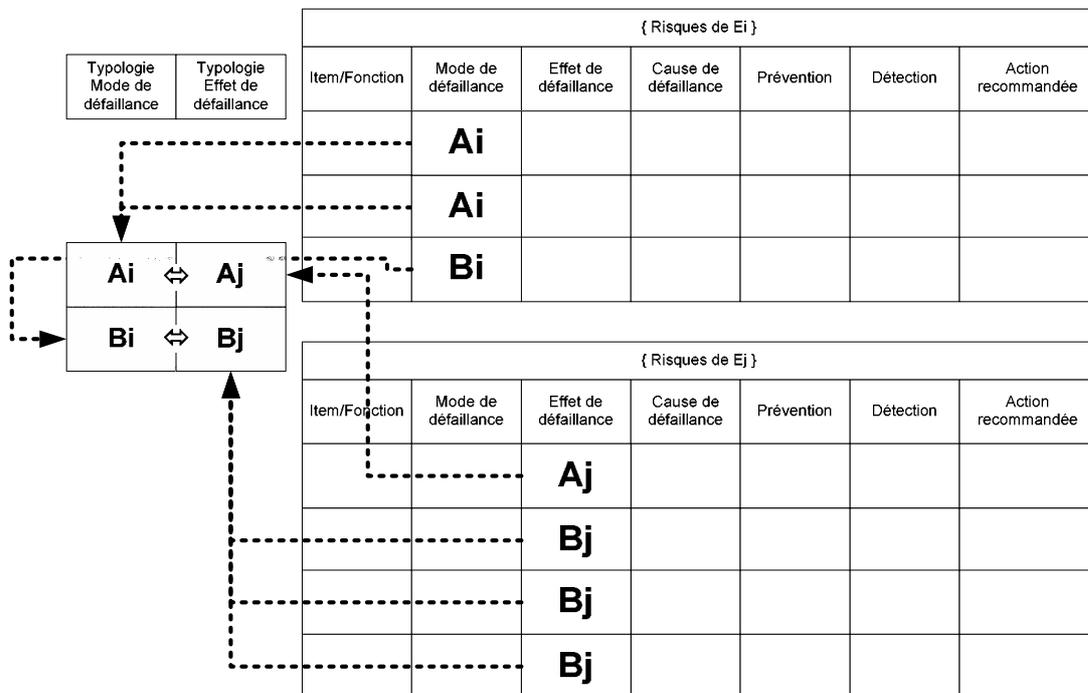


Figure 24. Exemple sur les typologies.

Dans Figure 24, 7 risques sont présentés mais seulement 4 typologies les caractérisent :

- 2 typologies de modes de défaillance : Ai et Bi.
- 2 typologies d'effets de défaillance : Aj et Bj.

Il existe une relation entre ces 4 typologies :

$$A_i \Leftrightarrow A_j$$

$$B_i \Leftrightarrow B_j$$

Plus précisément, nous avons :

$\forall p_1 \in [1; T_k(E_i)], \exists! z_1 \in [1; T_m(E_j)] / t_{kp_1 E_i} = t_{mz_1 E_j}$: quelque soit le terme de la typologie de la colonne k, de l'élément Ei, il existe un unique terme de la typologie de la colonne m de l'élément Ej. Nous l'illustrons par

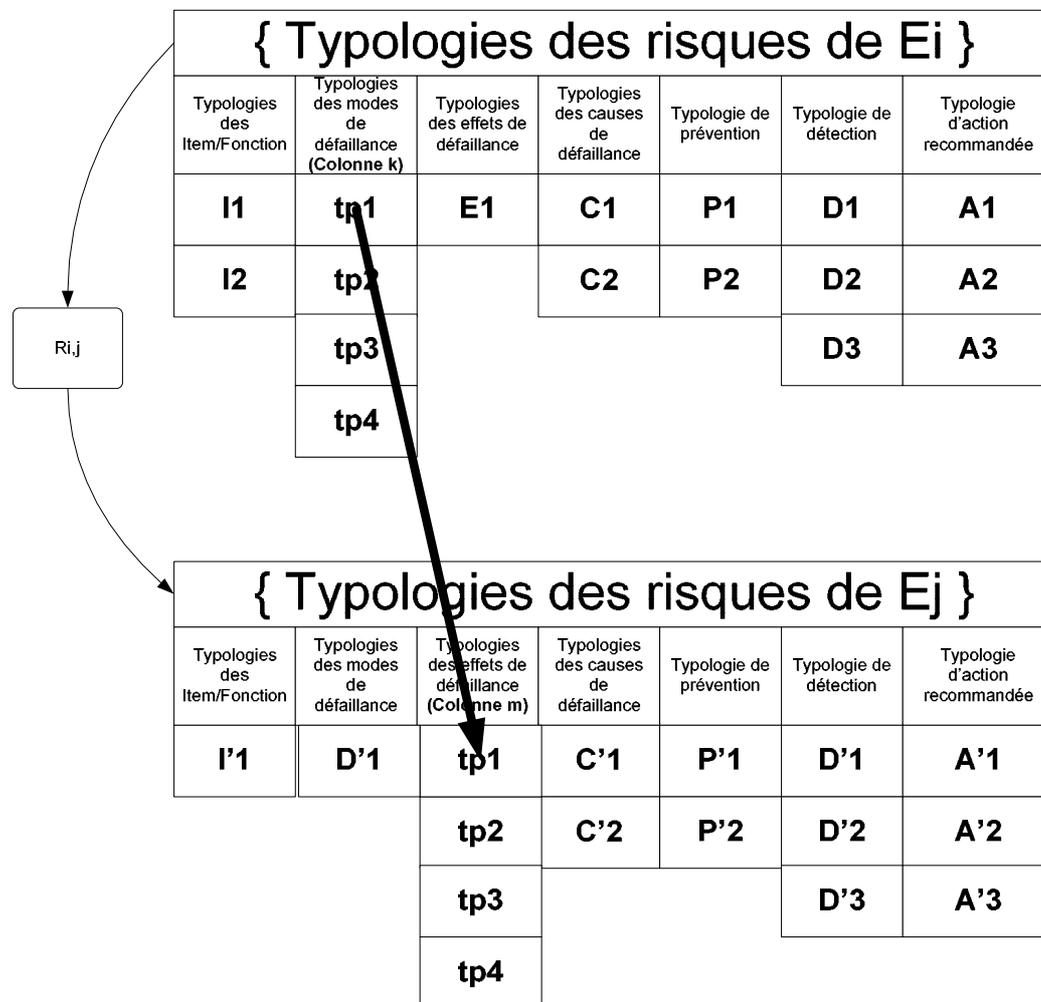


Figure 25. Illustration des liens entre les typologies.

Dans l'autre sens nous avons également :

$\forall z_2 \in [1; T_m(Ej)]; \exists! p_2 \in [1; T_k(Ei)] / t_{mz_2Ej} = t_{kp_2Ei}$: quel que soit le terme de la typologie de la colonne m, de l'élément Ei, il existe un unique terme de la typologie de la colonne k de l'élément Ei. Nous l'illustrons par Figure 26.

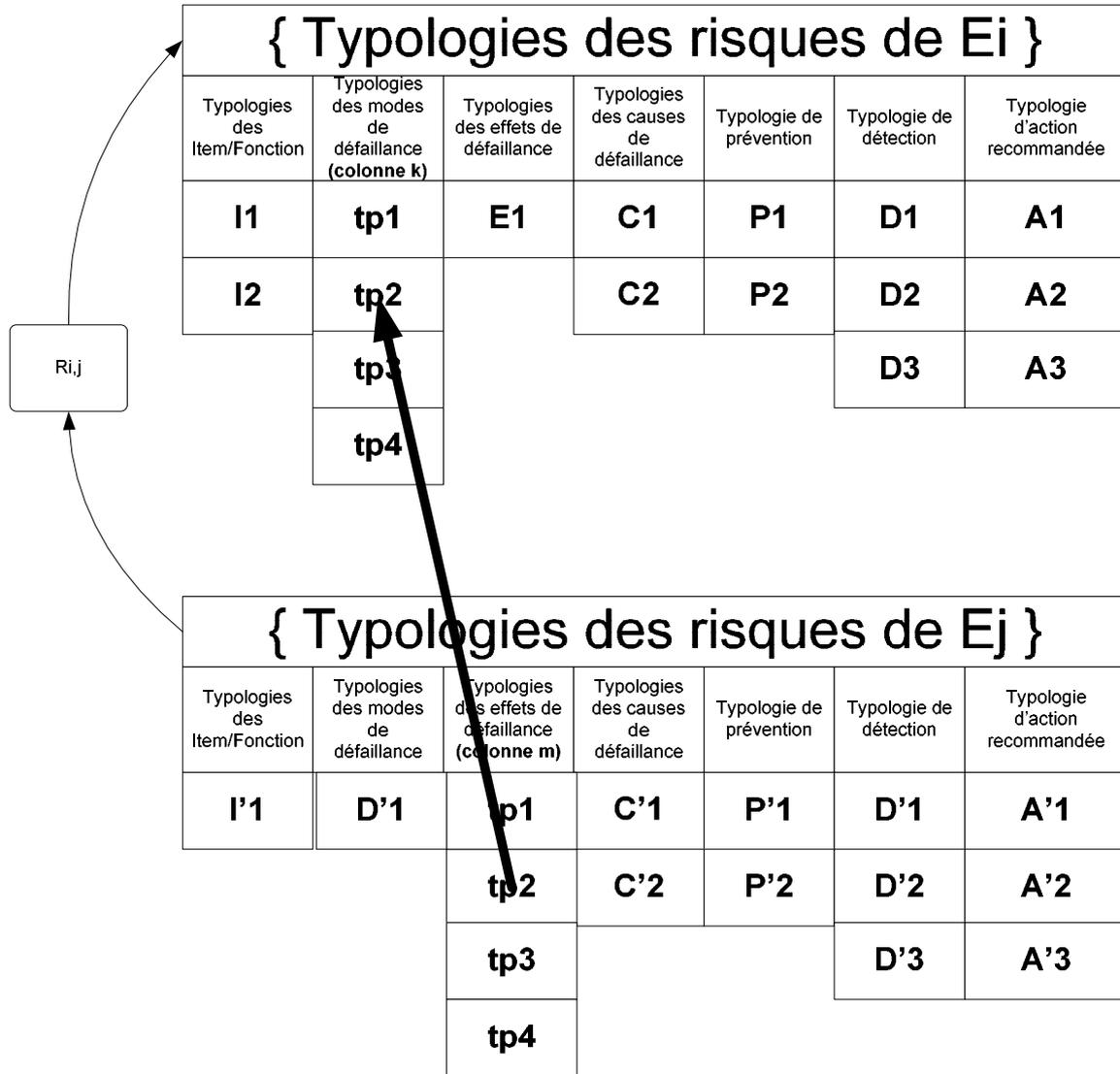


Figure 26. Illustration des liens entre les typologies de Ej vers Ei

$$\forall p_1 \in [1; T_k(Ei)], \exists! z_1 \in [1; T_m(Ej)] / t_{kp_1Ei} = t_{mz_1Ej} (*)$$

$$\forall z_2 \in [1; T_m(Ej)], \exists! p_2 \in [1; T_k(Ei)] / t_{mz_2Ej} = t_{kp_2Ei} (**)$$

Fixons p₁, par (*) nous avons $t_{kp_1Ei} = t_{mz_1Ej}$

Comme (**) est vrai pour tout z₂, elle est valable pour z₂=z₁ donc par (**), pour ce z₂ particulier, $\exists! p_2 \in [1; T_k(Ei)] / t_{mz_2Ej} = t_{kp_2Ei} = t_{mz_1Ej}$, or $t_{kp_1Ei} = t_{mz_1Ej}$ donc $t_{kp_1Ei} = t_{kp_2Ei} \#$

Par cette démonstration, nous prouvons que les sous espaces des composantes k et m de l'ensemble des typologies des risques de Ei et Ej sont reliés par une bijection.

Nous illustrons ce résultat le schéma Figure 27.

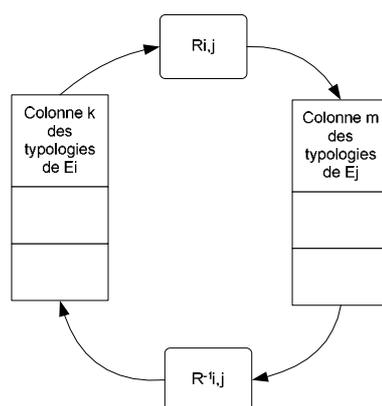


Figure 27. Illustration de la stabilité de l'espace des typologies.

Vers l'application de cette relation :

Cette relation ne traduit que l'égalité entre 2 colonnes de typologies de risques, de deux éléments différents. Rien n'empêche que les liens entre les risques soient plus complexes.

Dans la réalité, cette bijection « se vit ». Il faut coordonner la mise en commun des termes employés pour décrire la $k^{\text{ème}}$ composante de la typologie des risques de E_i et la $m^{\text{ème}}$ composante de la typologie des risques de E_j , au moins au travers d'une table d'échange. Si k est le mode de défaillance et v , l'effet de défaillance, i est l'espace des modules et j , l'espace des recettes, alors il va falloir vérifier que l'ensemble des typologies des modes de défaillance des modules sont égaux aux typologies des effets de défaillances des recettes.

Lors d'un événementiel d'un risque sur l'élément E_i , un nouvel élément de la composante k de la typologie de E_i peut survenir. Afin de garantir l'égalité, ce nouvel élément devra être répercuté comme un nouvel élément dans la $m^{\text{ème}}$ composante des typologies de l'élément E_j . Par définition de la typologie, au moins un risque doit être étudié en prenant en compte ce nouveau cas. Ce nouveau risque est défini pour l'élément E_j .

Appelons **mise sous contrôle** la prise en compte dans l'analyse des risques de E_j , de l'ensemble des typologies des risques de E_i en suivant la bijection dans le sens $E_i \rightarrow E_j$. On appelle **anticipation des risques** de E_j , la prise en compte de nouvelles typologies de risques de E_j , **qui ne se sont pas produites** et qui n'existent pas dans les typologies des risques de E_i .

Appelons **retour d'expérience**, la prise en compte des nouvelles typologies des risques de E_j (**suite à des événements opérationnels**) dans l'analyse des risques de E_i , en suivant la bijection dans le sens $E_j \rightarrow E_i$, comme illustré Figure 28.

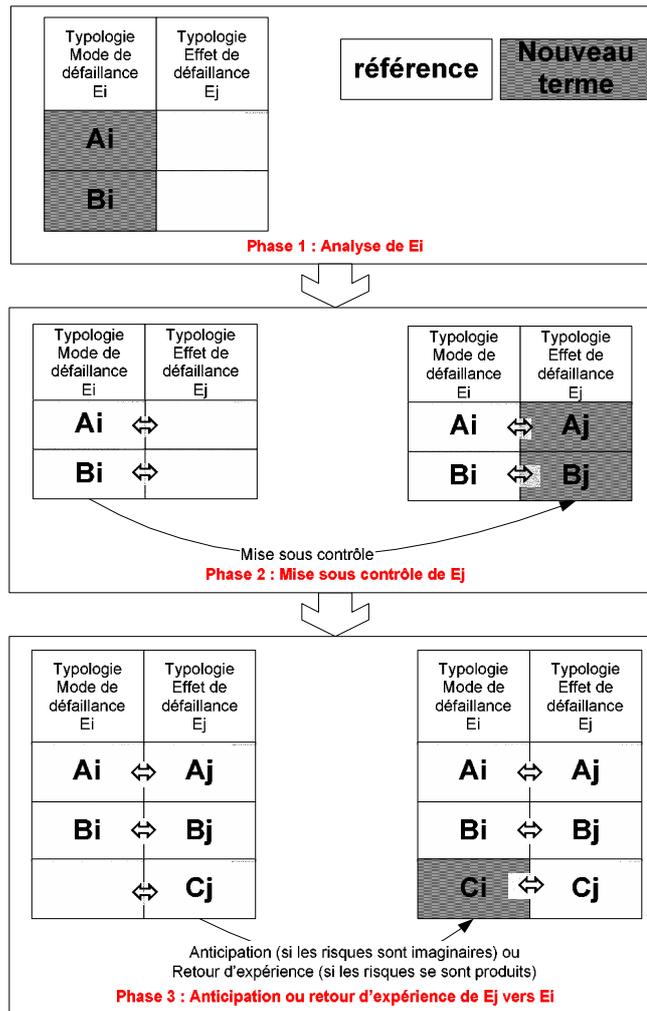


Figure 28. De la mise sous contrôle au retour d'expérience.

Conceptuellement, il est possible d'envisager un cheminement sans fin entre les typologies de Ei et celle de Ej au travers de la bijection. Cependant lors d'un retour d'expérience, il est bon de ne pas tout ré-analyser afin de ne pas engendrer de nouvelles typologies en Ei qu'il faudrait mettre sous contrôle en Ej. De même, l'anticipation ne pourrait se transformer en retour d'expérience qu'à l'occurrence réelle du risque anticipé. Ce qui garantit une stabilisation à une mise sous contrôle, une anticipation et un retour d'expérience.

Un outillage adapté de cette égalité permettrait de guider les analyses et de surveiller mécaniquement la convergence, par un seuil arbitraire (de 1 par exemple) d'allers-retours entre les risques des différents éléments, pour l'apparition d'une nouvelle typologie.

Une autre application de ces typologies est envisagée par les travaux de [TUMER 2003]. Ils proposent une taxinomie des modes de défaillance pour pouvoir réaliser un retour d'expérience lors de la conception. Leur taxinomie ne porte que sur les modes de défaillance. Ils en identifient deux autres : celle des produits et celles des fonctions. A l'aide de cette taxinomie des risques, ils peuvent décrire les modes de défaillance qui se

produisent et faire le lien avec les fonctionnalités pensées en conception. Cette taxinomie agit comme un retour d'expérience des modes de défaillances des fonctions.

8.2.2 Les conséquences en terme de contrôle des risques

Pour **contrôler** la production, il est nécessaire de procéder par cascades et de traiter de manière prioritaire les risques des modules puis des recettes puis des blocs machines. Pour réaliser des **retours d'expérience** les nouveaux effets de défaillance de recettes sont des modes de défaillance de modules non pris en compte. Par cette liaison un apprentissage des risques encourus par une technologie lors de la production en masse de cette technologie peut se faire. De même, lorsque des effets de défaillances de blocs machines sont traités et qu'il n'existe pas d'équivalent de modes de défaillances au niveau des recettes, il y a un retour d'expérience de l'emploi intensif d'une recette.

Les risques identifiés dans les AMDEC sont appelés risques **possibles**. Ils sont soit réels soit potentiels. Dans le cas de risques plausibles, les AMDEC contribuent à l'**anticipation**.

8.2.3 Des typologies à la création automatique d'AMDEC

Pour mettre les risques sous contrôle ou obtenir un retour d'expérience efficace, il est nécessaire d'avoir des termes dont la signification n'est pas ambiguë pour les personnes réalisant les AMDEC et pour les programmes de traitement des risques.

Chaque composante du risque peut être vue comme appartenant à une typologie, un ensemble plus vaste. Pour les Item/Fonction, cet ensemble va être le découpage de l'élément. Le mode de défaillance peut appartenir à un ensemble de défaillances identifiées. Le lien entre les risques agit dès ce niveau. Les effets font également partis d'un corpus d'effets identifiés. A ce niveau les liens entre les risques jouent également un rôle. En fonction de l'élément, les causes trouvent leurs origines dans les liens entre les métiers. Les modes de détections proviennent eux aussi d'un ensemble prédéterminé. Enfin les actions peuvent être des instances d'actions prédéfinies.

Ces typologies interviennent directement dans les liens métiers comme vus en 8.2.1 et peuvent également servir à garantir une certaine exhaustivité. Si chaque composante des risques possède ses typologies, la génération automatique de risques peut être envisagée.

8.2.4 Les contraintes sur le système d'information

Pour l'analyse, les typologies de défaillance nécessitent d'être répertoriées. Pour la mise à jour, il faut que l'outil de captage de l'évènementiel possède ces typologies et propose lors de la collecte de l'évènement, un rapprochement entre l'évènement et la typologie.

Si la saisie est manuelle, il peut contraindre à passer par la liste des typologies. Il peut suggérer également la liste des typologies. Un ajout de typologie, à accès restrictif peut également être proposé.

8.2.5 La portée de ces réflexions

La structuration du contexte est très spécifique d'un environnement industriel à l'autre. Cependant toutes les productions font appel à :

- Un produit pouvant être architecturé en modules
- Des gammes de fabrication

- Des gammes opératoires

Elles sont directement concernées par cette approche.

Il est en effet possible de mener un raisonnement identique du moment que le produit est fabriqué en suivant une gamme, qu'à chaque opération peut correspondre une ou plusieurs recettes de fabrication et que ces recettes peuvent être réalisées sur une ou plusieurs machines. La synthèse réalisée peut s'y appliquer directement.

L'application de Irem TUMER à la NASA, basée sur les typologies, permet d'ouvrir le spectre d'applications industrielles possibles.

8.3 Les connaissances métiers dans ces travaux

En conclusion de ce chapitre nous allons réfléchir à l'aspect « connaissance » de la gestion des risques.

Les travaux de DAVIS, [DAVIS 1988], soulignent toute l'importance des AMDEC notamment comme base de connaissances. Les informations contenues dans ces analyses sont utilisées pour former selon leurs propos « une base de connaissances qui est exploitée (...) lorsqu'une analyse de fiabilité des circuits VLSI est nécessaire » ; « Cette méthode aide à l'amélioration de la fiabilité des VLSI par une base de connaissances créée à partir d'une simulation de défaillances réelles de blocs de cellules CMOS utilisées en conception ».

Il ne définissent pas le terme « connaissances », mais s'accordent à penser que les analyses des défaillances, leurs effets, leurs causes etc. placées dans un outil permettant d'y accéder constituent un référentiel dans lequel puiser de nombreuses informations pertinentes.

Utilisation :

Dans notre cas d'étude, les AMDEC ne sont pas faites uniquement pour la certification qualité mais bien pour être utilisées : gestion des risques quotidiens, fiabilisation des éléments analysés, amélioration des objectifs opérationnels, ... En fait ce qui est attendu c'est de disposer au moins :

- d'une base de risques représentatifs du triplet technologie – procédé – machine,
- de cotations à jour,
- de typologies pouvant servir de référence :
 - pour la mise sous contrôle des machines,
 - pour retourner l'expérience de l'évènementiel des machines, au niveau des technologies, pour améliorer leur fiabilité.

Ainsi, ces AMDEC peuvent servir de référentiel d'expertise stockant les phénomènes qui se sont produits relativement aux moyens de production. Ces analyses doivent contenir un maximum d'informations pertinentes, à jour, pour les personnes du métier.

Dans ce but, les risques sont structurés et inscrits dans une démarche d'amélioration de leur pertinence.

Structuration :

Le contenu des analyses est formaté par :

- La façon dont, les risques sont représentés et cotés.
- Les liens entre les différents risques technologie / procédés / machines

Pertinence :

Les analyses sont dites de qualité si :

- Les risques sont analysés de manière exhaustive.
- Elles reflètent l'évènementiel des risques (apparition de l'un d'entre eux, mise à jour suite à des actions préventives, etc.)

La dynamique de la démarche expliquée au CHAPITRE II.5 est un processus essentiel pour assurer la pertinence des informations contenues dans les bases de risques.

En effet, si dans la base, un risque possède une occurrence de 1 fois par an et qu'il arrive toutes les semaines, la base ne reflète plus la réalité vécue. De même, si un risque est identifié comme arrivant plusieurs fois par mois, alors qu'il ne survient qu'une fois par an une attention particulière sera apportée à ce risque sans raison particulière.

Réflexion sur le concept de connaissances :

Pour un groupe de travail donné, les informations placées dans les AMDEC sont une transcription de leurs « connaissances » personnelles. Leurs pensées sont traduites plus ou moins fidèlement dans l'objet décrivant l'analyse. Rechercher à susciter les mêmes pensées chez un autre individu ou dans un autre groupe de travail est une tâche difficile. L'emploi d'annotations, la structuration du contexte contribue à faire ressortir certaines pensées communes, mais comment le garantir ?

Nous considérons donc que chaque risque, retranscrit dans une AMDEC est une sorte de véhicule des connaissances de la personne qui l'a inscrit. Ce n'est pas une connaissance en tant que telle. Nous pensons que les connaissances explicites, notamment celles de ce cas d'étude, ne sont en fait que des informations³¹ pouvant être utilisées par d'autres personnes, qui peuvent leurs susciter des réflexions et leurs faire acquérir un certain savoir sur l'élément étudié. Les connaissances explicites ne seraient elles qu'une sorte d'objets permettant d'être des intermédiaires dans la construction de connaissances personnelles ? La question reste ouverte pour un autre sujet de recherche.

Caractéristique des connaissances :

La connaissance est donc envisagée dans ce chapitre uniquement comme une information explicite, pertinente et utile pour maîtriser la fabrication des circuits intégrés.

Réemployer les objets intermédiaires :

A partir de ce cas d'étude, nous ne disposons que d'informations, d'artefacts³². Leurs modes d'enregistrement et de restitution pourraient contribuer à se rapprocher de la situation dans laquelle elles ont été obtenues. Par cette voie, il se pourrait qu'elles suscitent le même état d'esprit que ceux qui les ont écrites.

Deux exemples soulignent la réutilisation des ces objets particuliers, intermédiaires dans la production de connaissances :

- L'intégration de ces informations dans un logiciel de conception, [DAVIS & Al. 1988].
- L'orientation des actions de fiabilisation des machines en fonction des détracteurs majeurs préalablement identifiés.

³¹ dans le sens que ce sont des données structurées

³² Objets produits par l'homme.

Il semble que pour tirer profit de ces informations il faut les réutiliser dans d'autres applications.

Notre constat de terrain va dans ce sens : si le temps passé à l'analyse ne sert qu'à construire une base de référence cela n'a aucun intérêt et passe pour une perte de temps. En revanche si cette base est intégrée à d'autres applications (la fiabilisation des machines, process, produits, l'orientation des forces de travail sur les zones à risques) alors le travail d'explicitation prend un sens pour les experts et s'en trouve facilité.

Parce qu'ils sont inscrits dans une autre perspective d'utilisation, les objets intermédiaires de connaissance servent à produire de nouvelles connaissances. Les experts sont alors enclins à livrer de manière structurée leurs connaissances. Ce résultat souligne l'importance de la promotion d'une vision pour gérer et activer les connaissances et l'intégration des outils pour faciliter cette vision.

Chercher à reproduire absolument les pensées et connaissances à l'identique à partir de ces informations est peut être une quête vaine.

Jusqu'à présent, nous n'avons envisagé la notion de capitalisation que pour des « connaissances explicites », mais est-ce que la formation d'un groupe d'experts techniques est une forme de capitalisation ? Envisager de répondre à cette question ouvre des pistes transversales sur la gestion des compétences.

9 Conclusion du chapitre

Ce chapitre présente notre cas d'étude sur gestion des risques opérationnels de l'usine de Crolles 2. Nous appuyons notre démarche sur une recherche bibliographique.

Notre méthodologie, vient paramétrer la méthode AMDEC pour la rendre opérationnelle et dynamique en fonction de l'évènementiel des moyens de production. Nous construisons une base d'information sur les risques dont la pertinence est garantie par ses caractères « utiles » et « à jour ».

L'outillage informatique de cette méthode est réalisé par nos soins. Des extraits en sont présentés en ANNEXE 8. Le large déploiement de notre méthode sur le site de Crolles 2, (plus de 500 ingénieurs sont acteurs et utilisateurs de notre démarche) nous a permis d'approfondir son intégration avec la méthode en vigueur, de résolution de problème.

A partir des réalisations et constatations de terrains :

- Nous construisons les modèles sous tendant l'activité de gestion des risques.
- Nous construisons une abstraction appelée « typologie des risques » qui permet de comprendre la mécanique de la mise sous contrôle et du retour d'expérience des moyens de production.
- Nous terminons ces développements en nous intéressant à l'aspect « connaissance », thème sous jacent à nos travaux en nous interrogeant sur les caractéristiques de ce concept.

CHAPITRE III. MISE SOUS SURVEILLANCE DES MOYENS GENERAUX

Suite au cas d'étude sur la gestion des risques, nous disposons d'un certain nombre d'éléments pour répondre à notre problématique. Alors que les AMDEC permettent d'identifier les paramètres clés à mettre sous surveillance, nous allons voir dans notre deuxième cas d'étude comment se réalise ce contrôle.

Ce chapitre traite de la mise sous surveillance moyens généraux et aborde les aspects analyses de données de la qualification et de l'amélioration des moyens de production.

Les installations générales, l'organisation matérielle sont des traductions possibles du concept appelé communément « **facilities** » ou « moyens généraux ». Ils mettent en place l'organisation matérielle des bâtiments et des locaux telles la salle blanche et la climatisation. Les matières premières de production (les gaz, l'eau dé ionisée, les produits chimiques l'électricité ainsi que le retraitement des eaux usées) sont également gérés dans ce cadre. D'un point de vue organisationnel, un service spécifique, nommé les facilities est en place. Il est composé d'ingénieurs en charge des projets relatifs à chaque service. Chimie, Gaz, Eau DéIonisée (**EDI**), Rejets d'effluents (**Waste Water**), Climatisation (**HVAC**), Salle Blanche (**CleanRoom**), Electricité (**Elec**), sont les sous parties de cette organisation. Les personnes des facilities appellent également ces services des métiers. Les moyens généraux représentent un budget de plus de 150M€ par an.

Le site de fabrication fonctionne 24h/24h et 7j/7j. Il doit être transparent vis-à-vis de la production. Les services qu'il fournit doivent être **constants** et **identiques** dans le temps. Des **services supports** sont opérationnels dans chaque métier, permettant une intervention d'urgence d'astreinte. De la fourniture des matières premières, au retraitement des déchets en passant par la conduite des installations, les services font appel à de nombreuses entreprises extérieures. Différentes formes sont alors pratiquées : le partenariat privilégié, la concession ou des interventions temporaires.

Le niveau de qualité est maintenu constant par deux niveaux de régulation :

- Au niveau de l'organisation, des réunions d'exploitation, de service et de management permettent de mettre à jour et de suivre les événements qui se sont déroulés et de faire un bilan des plans d'action en cours.
- Au niveau des machineries chaque métier possède des automates de régulation. Une supervision commune à tous les métiers concentre les signaux de ces automates. Elle est basée sur une visualisation schématique des installations et une gestion des alarmes. Les seuils d'alarme sont placés dans cette supervision. Par la multiplicité des formats de communication et le manque d'intégration des automates, la cohérence entre les alarmes suivies en supervision et celles locales dans chaque automate reste manuelle.

Cette partie présente le cas d'étude relatant la mise sous surveillance des moyens généraux par la **Maîtrise Statistique des Procédés (MSP)**. Le domaine d'application est différent de celui précédemment étudié, mais les moyens généraux sont à eux seuls des moyens de production. Répondre à leurs besoins va nous aider à répondre à notre problématique.

Ce chapitre est structuré de la manière suivante :

- Une introduction au concept de facilities et une description de ses différents métiers débute le chapitre.
- L'analyse des besoins est ensuite menée.

- La revue bibliographique associée à ces besoins, portant sur la maîtrise des procédés, est présentée dans le troisième paragraphe.
- En quatrième partie, les réalisations sont présentées ainsi que leurs modèles associés.
- Nous présentons ensuite une synthèse des apports.
- Puis nous induisons quatre activités et leurs deux processus associés contribuant à répondre à notre question. Nous regardons ensuite les connaissances dans ce cas d'étude.
- Une conclusion vient terminer ce chapitre

1 Une description des métiers

La mise sous contrôle des moyens généraux se fait en interaction avec chacun de ses métiers. Détaillons les spécificités des sept métiers des facilities.

1.1 Les spécificités de la chimie

Les produits chimiques peuvent être rangés en deux grandes catégories : les produits chimiques classiques et les slurries.

- Les produits chimiques classiques sont le l'HF, de l' NH_4OH , de l'IPA (Alcool Iso Propylique) etc. à différentes concentrations.
- Les slurries sont des produits chimiques préparés dans l'enceinte de l'usine et sont destinés aux opérations de polissage mécano chimique. Ils sont composés de fins grains enrobés plongés dans un réactif. Ils sont employés comme agent de polissage pour les couches minces. Les slurries nécessitent une agitation permanente. Un titrage de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) adapté est également fait avant livraison pour utilisation car ce produit tend à dégazer. Cette émulsion possède une durée de vie faible ce qui complique son stockage.

La caractéristique la plus marquante de l'ensemble des produits chimiques est leur nécessaire pureté. Ils ne doivent pas être contaminés par d'autres produits et notamment les anions et cations. Une vingtaine de produits chimiques et slurries sont délivrés sur le site de Crolles 2. La qualité de chacun d'entre eux est vérifiée à l'entrée du site de production par un prélèvement. Des échantillonnages sont régulièrement réalisés sur des points de distribution. Si une campagne de mesures a révélé des soupçons, des mesures complémentaires sont réalisées. Chaque mesure correspond à un ensemble de prélèvements et à une analyse des contaminants en laboratoire. Plus d'une vingtaine de contaminants sont auscultés. Les résultats des analyses sont remis par les laboratoires sous forme de rapports papier.

1.2 Les spécificités des gaz

Les gaz employés dans la fabrication « Front-End » sont de deux types :

- Inoffensifs tels l'Argon, Helium
- Très réactifs et fortement dangereux ; Brome, Fluorure d'Hydrogène, Silane, Germane, Phosphine, Arsine ...

Ces gaz sont employés notamment pour l'implantation ionique, la constitution des plasmas, les dépôts de couches en phase vapeur... Une haute sécurité est employée dans leurs maniements et fournitures. Un ensemble de détecteurs spécifiques à chaque gaz est

placé près des points de distribution, dans chaque machine. La qualité de chacun d'entre eux est un élément important pour la fabrication.

1.3 Les spécificités de l'EDI

L'eau déionisée sert au lavage des wafers et entre dans les procédés qualifiés d'humides (CMP, WET). La spécificité de l'EDI est d'être ultra pure. Les pollutions ioniques et organiques doivent être maintenues à des niveaux extrêmement faibles (partie par milliard).

Des contrôles ponctuels à fréquence régulière sont réalisés sur des points de distribution. Si une campagne de mesures a révélé des soupçons, des investigations complémentaires peuvent être réalisées. Chaque mesure correspond à un ensemble de prélèvements et à une analyse des contaminants en laboratoire.

1.4 Les spécificités de l'HVAC

L'HVAC s'occupe de l'hygrométrie, du vide et de l'air conditionné. Certains procédés tels la lithographie ou les opérations de métrologies sont très sensibles aux variations de températures. Chaque machine possède ses propres régulateurs. Cependant l'ambiance, dans laquelle elles sont plongées, est régulée avec une précision de 0,5°C autour de 21,5°C. Il en est de même pour la régulation de l'hygrométrie. Le vide permet l'évacuation des surplus de chaleur, acides, solvants, liés aux opérations de fabrication. Ces services doivent donc maintenir un point de fonctionnement constant au fil du temps.

1.5 Les spécificités de la salle blanche

Le détracteur majeur du rendement dans les fabrications de semi-conducteurs sont les poussières³³. Les particules doivent donc être maîtrisées dans l'environnement de fabrication et notamment dans les opérations de « Front-End » durant lesquelles les circuiteries ne sont pas protégées par une couche de passivation. La partie « salle blanche » des moyens généraux veille donc à mettre en œuvre les conditions de propreté requises pour la fabrication. Plusieurs mesures sont prises pour atteindre cet objectif : suppression de la salle, filtrage de l'air par différentes couches de filtres et charbons actifs, isolement des machines par flux laminaire d'air. Ce service fonctionne également de manière continue. Le comptage des particules en salle blanche est réalisé et suivi manuellement par échantillonnage.

1.6 Les spécificités des rejets liquides

Les rejets liquides se font dans l'Isère après traitement par une station de décontamination. Ces effluents sont traités chimiquement puis biologiquement. Le traitement est continu. L'évolution des traitements est suivie et une dérive de la qualité des eaux rejetées entraîne des actions immédiates d'isolement des flux polluants. Au-delà d'un certain volume à retraiter, les installations ne sont plus en mesure d'absorber les rejets et la production doit s'arrêter. Un permis d'exploiter est également distribué dans lequel il est spécifié les normes à respecter en terme de pollution journalière et instantanée. Une norme interne ST prévoit d'aller au-delà des recommandations afin de prévenir tout dérapage fortement nuisible à l'environnement.

³³ Appelée aussi défektivité.

1.7 Les spécificités de l'électricité

Les spécificités du métier « ELEC » peuvent être décrites par trois aspects essentiels :

- La rapidité des phénomènes qui se produisent (Milliseconde)
- La difficulté de stockage de l'électricité.
- Le poids du fournisseur : EDF.

2 Analyses des besoins

Chaque métier possède ses automates de régulations et gère dans une grande autonomie ses paramètres. Dans cette partie, nous allons faire ressortir un ensemble de besoins communs à tous les métiers.

2.1 L'identification des variables importantes

Les automates de régulation des installations font parvenir plus de 50000 paramètres en salle de contrôle. Certains d'entre eux concernent uniquement les machineries. D'autres sont des paramètres de sortie des facilities. Les paramètres sur lesquels chaque métier s'engage sont les paramètres dits **clefs**. C'est eux qui guident le dimensionnement des installations. L'accès aux spécifications et aux choix initiaux n'est pas chose aisée. La trace des études préalables qui ont engendré le dimensionnement des installations ne se retrouve pas dans les documents disponibles. Les seules traces restantes sont les mémoires des personnes impliquées dans les projets. Comme les missions ont évolué et que ces personnes peuvent ne plus être au sein de l'organisation, les éléments permettant de trouver les spécifications sont incomplets. Seule une enquête menée métier par métier permet d'obtenir des informations relatives aux spécifications.

Un premier besoin est donc d'**identifier** parmi cet ensemble les **paramètres clefs** des installations générales et de définir leurs **spécifications**.

2.2 La collecte des données off line

Comme mentionné en introduction, les produits chimiques, l'eau déionisée, les rejets, la salle blanche, font l'objet de campagnes de mesures. Ces données sont dites off line, au sens de [TAGUSHI, 1985]. Elles permettent de contrôler les paramètres de « sortie » de chaque installation. Les analyses qui font suite à ces mesures sont restituées sous format papier. Aucune traçabilité n'est possible ni aucune analyse automatique.

Si 1% des paramètres des machineries sont essentiels, cela fait un ordre de grandeur de 500 paramètres. Si chaque contaminant, de chaque produit chimique est un paramètre clef alors le nombre de ces paramètres est de l'ordre de grandeur de $20 \times 20 = 400$. A cela se rajoute une trentaine de paramètres relatifs à l'EDI, une vingtaine relatifs aux rejets. Les paramètres mesurés en salle blanche sont uniquement les particules. Ils sont cependant mesurés sur chaque équipement. Or il y a plus de 200 équipements en salle. Ainsi aux 500 paramètres essentiels des machineries, se rajoutent 650 paramètres environ qui sont mesurés et analysés en laboratoire. Les données relatives à ces 650 paramètres ne sont pas disponibles dans un format standardisé ce qui limite leur analyse automatique. Ainsi par une première estimation plus de 65% des paramètres clefs ne sont pas sous surveillance continue.

Il est donc nécessaire de mettre en place une **collecte** appropriée des **données** dites **off line**, afin de pouvoir également les comparer aux spécifications.

2.3 Fournir des axes d'amélioration des installations

En regard des limites de spécification précitées, il est fondamental de savoir si les installations permettent de les tenir. Si ce n'est pas le cas, pour cause de mauvais dimensionnement, de dérive d'équipements, de points de fonctionnement mal définis, il est nécessaire de mettre en place des actions correctrices.

L'évacuation du personnel d'une ligne de production coûte au minimum 150K€ par heure arrêtée. Des dérives lentes des détecteurs de gaz peuvent conduire à plusieurs évacuations de ligne par an. De même d'autres phénomènes comme les dérives lentes de la qualité des produits chimiques, de la température de la salle blanche ou d'autres paramètres peuvent perturber certaines opérations de fabrication très sensibles et induire des non conformités.

Afin de prévenir ce genre de problèmes, il faut mettre en place un **outil d'aide à la décision** permettant de connaître les axes d'amélioration au sein de l'usine. Par son utilisation, les dérives doivent être détectées. Des analyses fines des capacités des installations doivent permettre de connaître la réelle criticité de certains paramètres. Si un paramètre est défini comme critique, il doit avoir un impact s'il n'est pas maîtrisé. Un outil permettant de voir toute dérive doit permettre d'identifier si un paramètre qui dérive possède une influence réelle ou non. Dans le cas où l'influence n'est pas démontrée, en accord avec les utilisateurs, le niveau d'exigence peut être « relâché ». Le niveau de qualité fourni peut être ajusté avec celui réellement demandé.

2.4 Liste des besoins

Ainsi 3 besoins ressortent et vont structurer les réalisations :

1. Identifier les caractéristiques clefs
2. Collecter les données off line
3. Fournir un outil qui indique les différents axes d'amélioration

Les facilities sont un support pour la production de semi-conducteurs. Ils sont cependant une usine à part entière et peuvent à ce titre être considérés comme des moyens de production...de services.

3 Quelques éléments sur la maîtrise statistique des procédés

Les besoins soulevés par les facilities sont essentiellement basés sur l'analyse de leurs paramètres importants. Leur système de production fonctionnant en continu, les données à analyser ne manquent pas. C'est donc tout naturellement que cette partie bibliographique est étudiée sous l'angle de la maîtrise statistique des procédés. Elle est structurée en trois parties :

- La première présente certains éléments statistiques de base
- La seconde présente des aspects du contrôle de production
- La troisième souligne l'emploi de statistiques descriptives plus évoluées.

Dans ce chapitre, il n'est pas fait mention de la capacité des moyens de mesure à fournir des données fiables et de manière répétable. L'étape de vérification de la qualité des mesures est un pré-requis essentiel à tout développement d'une MSP. Pour toute étude sur la capacité des moyens de mesure, la lecture de [NF X60-30, 2001] et [PILLET, 2003] est conseillée.

3.1 Éléments de statistique descriptive élémentaire

Chaque métier des moyens généraux possède un ensemble de paramètres qui ont une variabilité intrinsèque. La première étape est l'observation de ces paramètres et de leur variabilité sur une période de temps donnée. Il existe un nombre important de représentations et formalisations de cette variabilité. L'histogramme est la représentation la plus utilisée. Le « box plot » est également très répandue. L'indicateur le plus couramment utilisé est l'écart type.

a) Quelques subtilités de l'histogramme :

L'histogramme représente le comportement du paramètre mis sous surveillance pendant un certain temps. On appelle « τ », l'ordre de grandeur temporel pendant lequel la grandeur physique associée au paramètre varie. Par exemple, le chauffage d'un four possède un ordre de grandeur de la minute. En revanche un phénomène électrique ou l'allumage d'un plasma possède un ordre de grandeur de la milliseconde.

Pour que la représentation graphique du paramètre soit représentative de son fonctionnement, il faut que la collection de données, à la base de la construction de l'histogramme soit faite sur une durée $\gg \tau$ (par exemple $\sim a*\tau$ où $a > 10$). Un exemple tiré d'une variable des facilities est donné en Figure 29.

b) Les causes communes, les causes spéciales :

Dans un mode de fonctionnement qualifié de normal, un paramètre va posséder une variation intrinsèque. Diverses sources de variations vont venir influencer son évolution. Si durant la période d'enregistrement des données, seules des causes communes de variation ont affecté le paramètre alors la largeur de l'histogramme sera représentative de ces causes³⁴. Ainsi, si un point est en dehors de cette distribution, soit c'est dû à une très rare excursion du paramètre sous influence de causes communes (0,01% des cas), soit l'hypothèse des causes communes de variations ne tient plus, un phénomène inhabituel se produit.

Ce raisonnement peut être contredit car il se pourrait que l'observation n'ait pas été faite assez longtemps et que lors de l'acquisition des données, le paramètre ait eu un comportement plus stable qu'habituellement. Par exemple lorsque l'acquisition de données est réalisée juste après une calibration ou lors d'une opération de maintenance, ce phénomène peut se produire. Les services ne se communiquent pas les informations, l'acquisition s'est bien déroulée, mais les données sont cependant faussées. Pour éviter ce piège, il n'y a pas d'autre moyen que de faire valider la plage de fonctionnement de chaque paramètre par des personnes à même de juger de la pertinence des mesures.

D'autres paramètres sont calculés pour décrire une variable : sa moyenne, son écart type, ses quartiles, quantiles. Une distribution est quand à elle caractérisée par les moments représentatifs de son asymétrie (skewness) et de son aplatissement (kurtosis).

³⁴ 99,99% par exemple des causes communes pourront être représentées par cet histogramme.

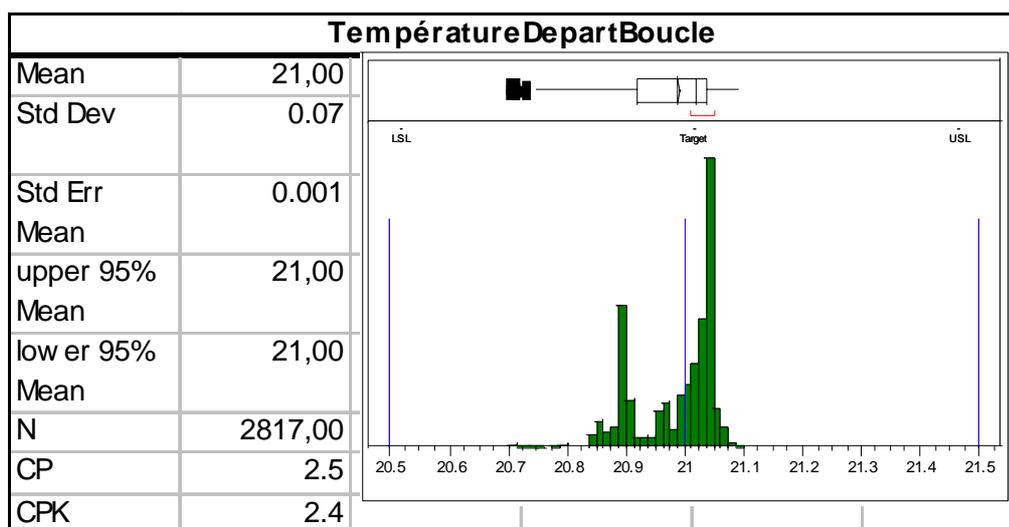


Figure 29 Histogramme de la température de « départ boucle de l'EDI » – représentation d'une campagne de 2817 mesures représentatives.

3.2 Éléments pour le contrôle de production

Le contrôle statistique de la production peut s'aborder suivant différentes approches. Dans cette partie, nous proposons d'étudier différents niveaux de contrôles en fonction de leurs positions dans le processus de fabrication.

a) **L'échantillonnage :**

Cette méthode place le contrôle à la fin de la production. A partir du prélèvement et du test d'une fraction de produits réalisés, une inférence peut être réalisée quant à la qualité des produits réalisés. Deux lectures intéressantes peuvent être réalisées à ce propos : [MIL-STD-414, 1957] pour les plans d'échantillonnages, et [MIL-STD-105, 1989] pour les plans d'échantillonnages aux attributs. Chaque produit prélevé de l'échantillon est comparé à une spécification. Un taux trop important de produits défectueux dans l'échantillon peut conduire à rejeter l'ensemble des lots dont est tiré l'échantillon. Dans le cas contraire, les produits sont acceptés. Cette procédure est appelée contrôle a posteriori. Elle peut être représentée par le schéma Figure 30.

Cette méthode s'applique au contrôle qualité a posteriori sur des lots de production. Pour une production continue, comme celle des facilities, la décision de disqualifier les moyens de production est lourde de conséquence. Pour prendre une telle décision, les erreurs inhérentes à l'échantillonnage ne sont pas tolérées. Ainsi, cette méthode ne s'applique que lors de la mise en route d'une installation. En régime permanent, c'est le contrôle des paramètres des machineries qui prend le relais.

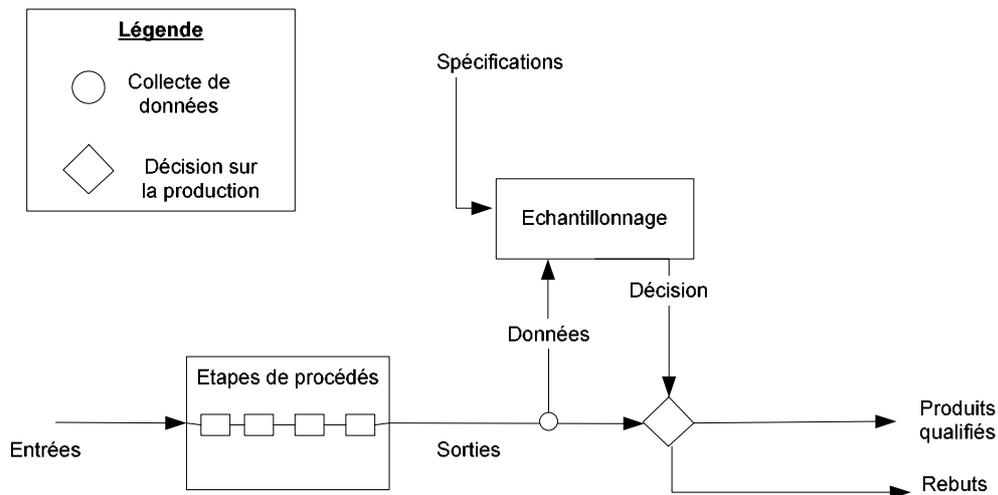


Figure 30. Schéma de contrôle a posteriori par échantillonnage.

b) Les cartes de contrôles :

Lorsque les étapes de procédés sont bien distinctes, il est possible de contrôler l'évolution de l'élaboration du produit. Par le contrôle de ces procédés élémentaires, les dérives sur le produit sont maîtrisées. Dans l'objectif de suivre un procédé de fabrication et de prévenir ses dérives, Shewart proposa dès 1920 d'appliquer la méthode des cartes de contrôle. Ces cartes sont basées sur l'utilisation de limites de contrôle. Elles sont déterminées par la variabilité intrinsèque de la variable suivie. Elles représentent les bornes au-delà desquelles seule une infime fraction des points existent. Autrement dit, si un point est mesuré en dehors des limites de contrôle, il a de fortes chances d'être dû à une cause spéciale et de très faibles chances d'être dû à une variation naturelle du procédé.

Si la variable surveillée suit une loi normale et que les limites de contrôles sont placées à plus et moins 3σ , alors seulement 3,4 ppm des points dépassent ces limites et sont dus à des variations naturelles de procédés. Autant dire qu'un point en dehors de ces limites a de très fortes chances d'être l'effet d'une cause spéciale, à traiter. En cas de hors contrôle une action spécifique peut être réalisée. Elle est appelée OCAP (Out of Control Action Plan). Elle peut porter sur l'arrêt du processus, sur la surveillance de la qualité des produits entrants ou toute autre action ayant pour but d'endiguer rapidement les causes spéciales des variations du procédé élémentaire. Le schéma Figure 30 est alors transformé en Figure 31.

Les procédés étant plus stables, l'échantillonnage final d'acceptation ou de rejet peut être maintenu pour la sécurité du client.

Au sein des facilités ce système est employé mais les limites ne sont pas déterminées par la variabilité intrinsèque des installations mais par les responsables de ces variables. La logique d'alarmes prévaut plutôt que celle des cartes de contrôle.

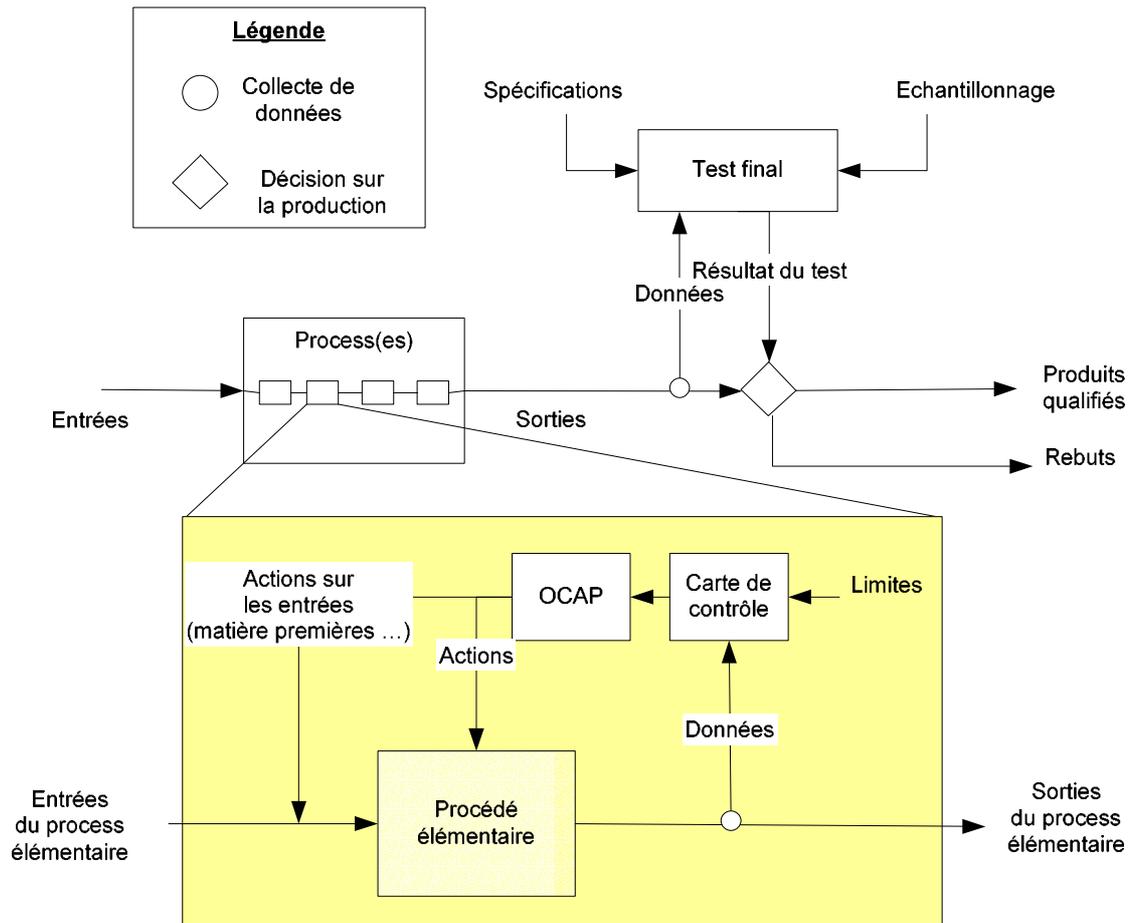


Figure 31. Schéma de l'échantillonnage final et du suivi par carte de contrôle.

c) Les indicateurs :

Deux indicateurs sont principalement utilisés. Le C_p , permettant de caractériser la maîtrise de la variabilité d'un paramètre et le C_{pk} , qui permet une mesure des décentrages de procédés. Pour une loi normale :

$$C_p = \Delta Spec / 6\sigma$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{(SpecificationHaute - \mu)}{3\sigma}, \frac{(\mu - SpecificationBasse)}{3\sigma}\right)$$

σ et μ sont respectivement l'écart type et la moyenne.

D'autres modes de calculs sont donnés dans [KOTZ 1998], pour des distributions non normales.

Ces indicateurs permettent de connaître le niveau de maîtrise au travers du temps. Si par exemple des spécifications sont disponibles pour un procédé de fabrication, alors il est possible de déterminer si ce procédé est maîtrisé. C'est le cas si le $C_p > 1$ et si $C_{pk} > 1,33$. Cela signifie que 99,67% des points sont dans les spécifications et que le procédé est centré. Une chute entre le C_p et le C_{pk} montrerait un décentrage de procédé. Un

ensemble de méthodes de résolution de problème peut être employé afin d'apporter les corrections pour recentrer et fiabiliser le procédé.

Ainsi le schéma de la Figure 31 évolue en celui de la Figure 32.

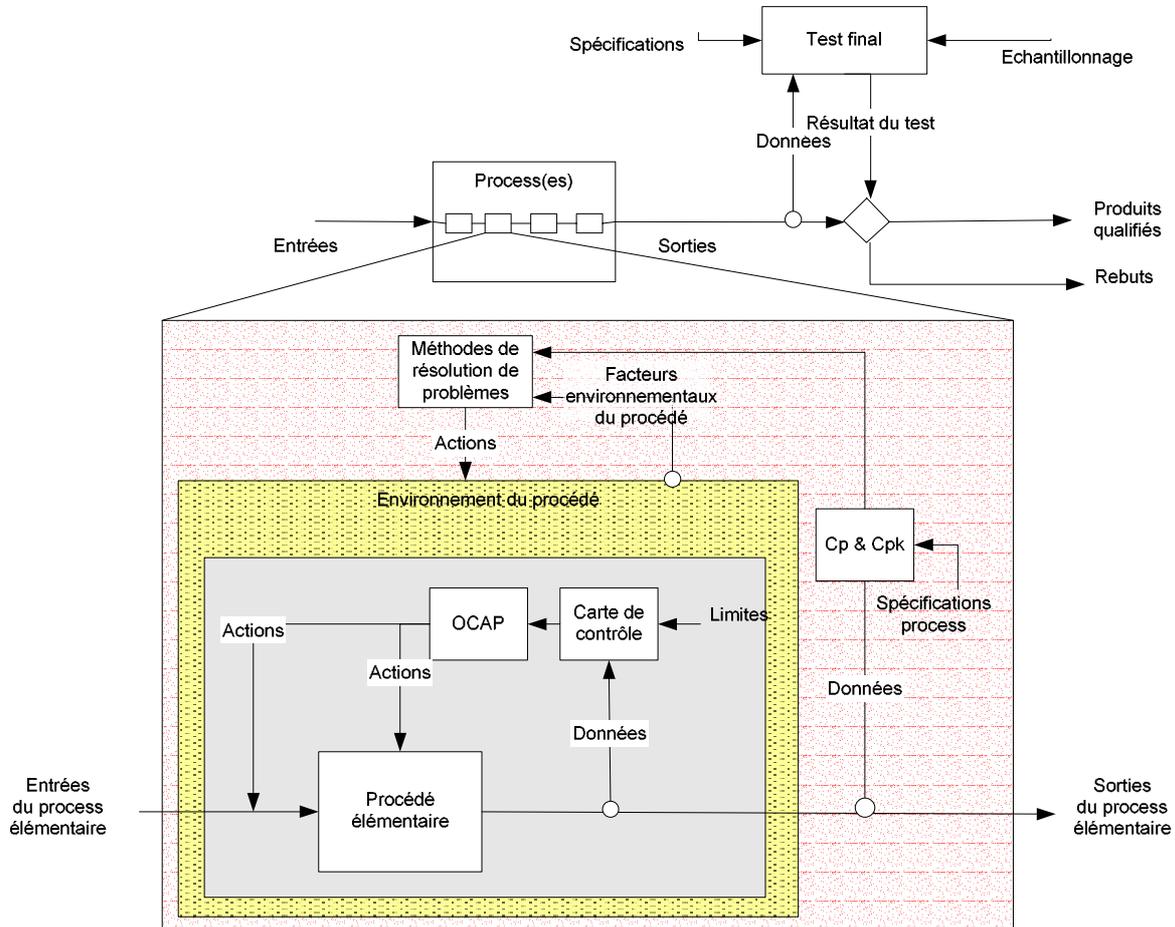


Figure 32. Schéma de contrôle d'un procédé de fabrication sur base d'indicateurs.

Chaque procédé élémentaire possède ainsi son moyen d'action local à court et long terme permettant d'être sous contrôle. La lecture de [MONTGOMERY, 2001] permettra d'approfondir les différentes techniques évoquées dans les figures précédentes.

d) Les contrôles internes aux procédés :

Afin d'améliorer encore la maîtrise des procédés élémentaires, les dérives de chaque process peuvent également être prévenues en introduisant des contrôles au niveau des facteurs influençant le procédé unitaire. Ces contrôles peuvent se faire par une supervision des machines ou machineries ou d'autres paramètres influents. Le contrôle d'un process unitaire devient alors celui présenté Figure 33.

Afin de maîtriser la partie relative aux équipements impliqués dans la réalisation du procédé unitaire, un ensemble de développements sont désignés par FDC pour Fault Detection and Classification. De nombreux développements sont présentés lors des conférences AEC/APC (Advances Equipment Control / Advanced «Process Control»).

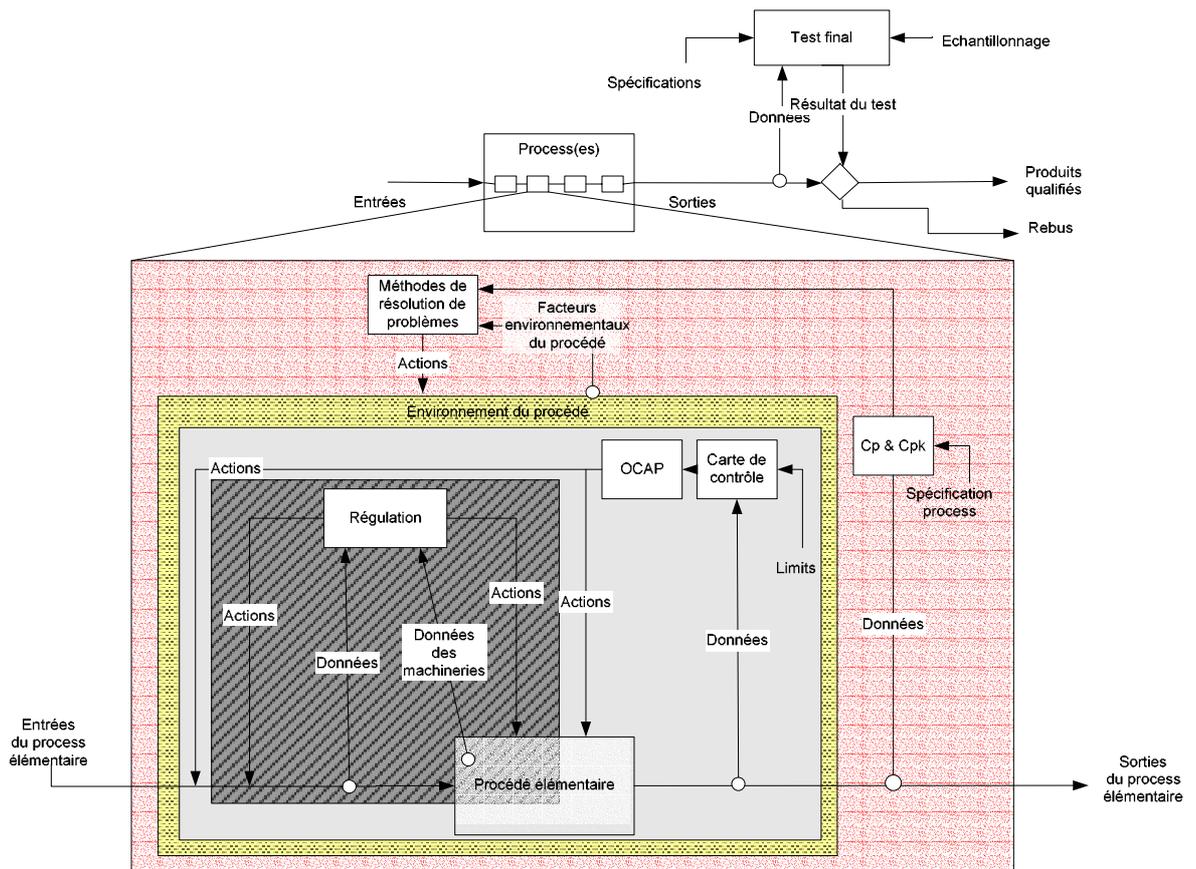


Figure 33. Contrôle d'un procédé unitaire.

A partir de la collecte de données issues de capteurs sur un ou plusieurs équipements, une signature de l'équipement est réalisée afin de caractériser ses fonctionnements. Ainsi, à la mesure d'un ensemble de signaux, il est possible de rapprocher cette mesure d'un cas précédemment appris. Un diagnostic et une action associés à ce cas sont alors possibles. Les machineries des facilities sont étroitement surveillées. Mais là encore, c'est une logique d'alarmes qui prévaut. Les limites d'alerte ne sont pas calculées en fonction de la variabilité des variables.

3.3 Vers l'emploi de statistiques descriptives évoluées

Les contrôles précédemment évoqués surveillent les variables de manière individuelles. Mais il est possible d'envisager un contrôle direct de n variables.

Pour ce faire, la conduite de procédé peut faire appel à des formalismes spéciaux permettant de représenter n dimensions suivant 2 ou 3 dimensions. Les analyses multidimensionnelles (Analyse en Composantes Principales) permettent de calculer des variables deux à deux orthogonales. Une projection dans le plan principal, permet de représenter en deux dimensions un nuage de points d'un espace de dimension n , tout en garantissant une minimisation de la perte d'information.

D'autres techniques basées sur les coordonnées parallèles permettent une représentation de données d'un espace de dimension n dans un espace de dimension 2.

Maurice d'Ocagne dans [D'OCAGNE, 1885] présente les coordonnées parallèle comme une nouvelle méthode d'analyse des données, en les représentant sous un autre format. Inselberg développe en 1981 les travaux sur les coordonnées parallèles et utilise alors

l'outil informatique pour en tirer de nouvelles possibilités. D'un point de vue industriel des applications sont réalisées en conduite de procédés chimiques par une visualisation d'une carte de contrôle multidimensionnelle. Nous synthétiserons ce genre de travaux par la Figure 34.

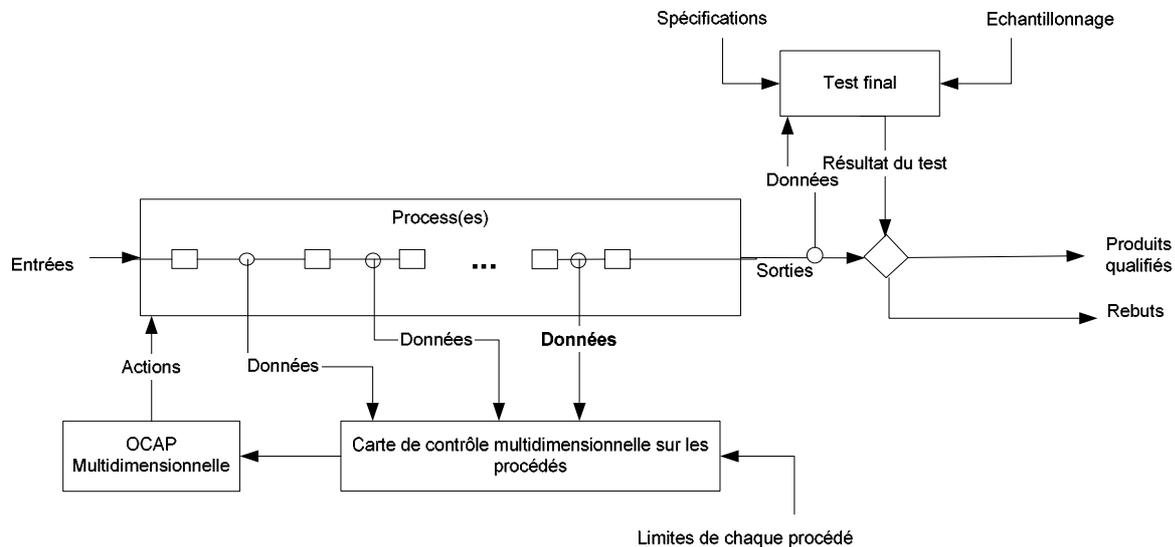


Figure 34. Carte de contrôle multidimensionnelle.

4 Réalisations

Avec les représentations précédentes il est possible de positionner finement le travail réalisé pour contribuer à l'amélioration des moyens généraux. Ces réalisations apportent des niveaux de contrôle qui n'existaient pas. Chacune d'entre elles est surlignée³⁵ dans la suite du document.

Chaque développement, permet d'identifier des activités et processus. Au total 9 activités et 3 processus liés, permettant de mettre sous contrôle les moyens généraux sont présentés.

4.1 Le plan de surveillance

La première réalisation concerne le plan de surveillance des facilities. Il est à la base du développement d'un système de maîtrise. Au début de nos travaux, il se présentait sous un format papier, et datait de plus de 2 ans. De nombreux ajustements avaient été apportés aux paramètres (changement de produits chimiques, de gaz, de consignes...) sans être reportés dans le plan de surveillance. Il représentait une estimation des paramètres importants, mais ne servait pas opérationnellement.

³⁵ En rouge pour les documents couleurs

Grâce à nos développements, les paramètres clefs du site sont consignés sous format électronique dans une base de données. Le plan de surveillance³⁶, ainsi constitué, est le garant des différentes spécifications des paramètres clefs, et à ce titre, employé dans l'outil de surveillance.

4.1.1 Positionnement des travaux

Les premiers travaux ont porté sur la définition des limites de spécification et de contrôle, Figure 35.

a) Limites de contrôle :

Les limites de contrôle sont déterminées par les responsables de chaque métier ou par la norme en vigueur. Elles sont également basées sur une analyse de données réalisées sur un historique de chaque variable. Elles sont positionnées de manière à caractériser l'apparition d'un phénomène rare. Pour tous les paramètres disposant d'un historique assez important (plusieurs semaines, ou plusieurs mois) une étude a été menée sur les plages de bon fonctionnement. En considérant que la variabilité intrinsèque au processus est représentée par la largeur de l'histogramme obtenu, de manière pragmatique, les limites de contrôles peuvent alors être les bornes supérieures et inférieures de l'histogramme. Dans un cas idéal, elles peuvent être calculées en fonction de la probabilité d'en sortir. Dans le cas des détecteurs de sécurité, les limites de contrôle ont été placées au plus bas afin de détecter toute dérive qui peut être imputable à une défaillance de mesure.

b) Limites de spécification :

Les limites de spécification peuvent être posées de plusieurs manières : par les clients des facilities imposant les valeurs, par les installateurs qui font une proposition acceptée, par les concepteurs du système. Parfois, il se peut que ces 3 spécifications soient différentes.

Quelques scénarios peuvent se présenter :

- Si les spécifications fournisseur ne sont pas identiques à celles du client, alors il peut y avoir de la sur ou sous-qualité en fonction de leurs positions respectives.
- Si les spécifications données par les fournisseurs ne sont pas tenues par les installations alors il peut y avoir une non satisfaction des clients.

³⁶ Appelé aussi « control plan »

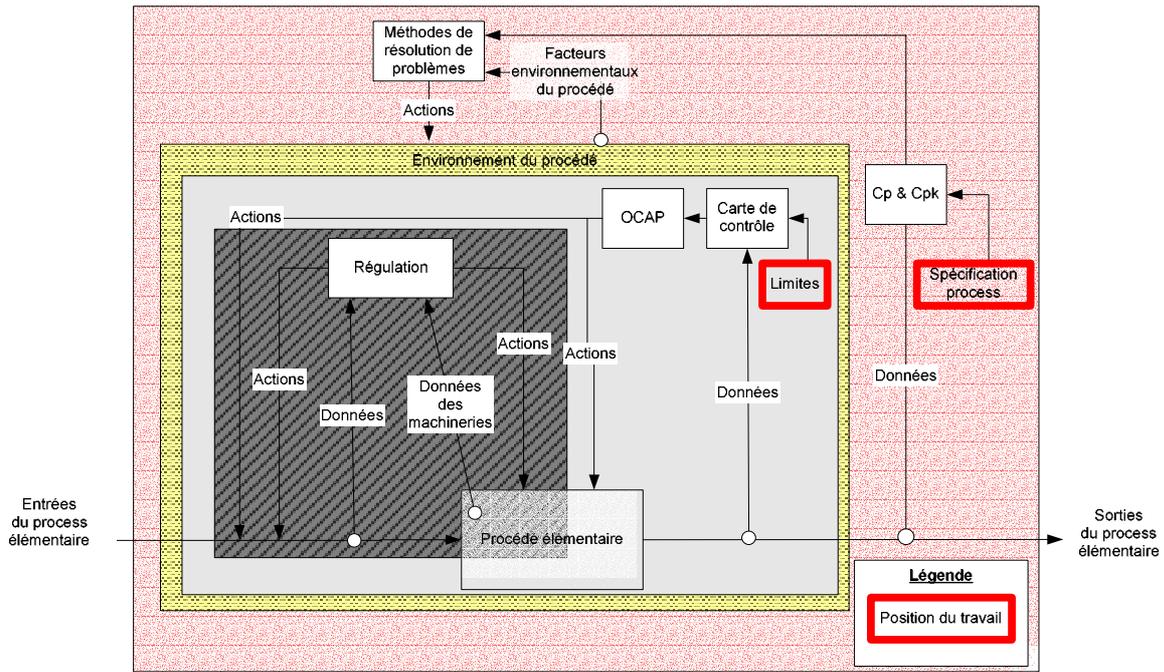


Figure 35. Positionnement du travail.

4.1.2 Résultats

On line	Off line	Nombre de paramètres totaux
497	3899	4396

Figure 36. Nombre des paramètres traités

4396 paramètres ont été étudiés - Figure 36. Il a fallu plus de 15 itérations pour passer d'un plan de spécifications papier, destiné à une utilisation ponctuelle à un plan de spécification informatisé pouvant être utilisé comme base de référence automatiquement. A partir du plan de surveillance, il est actuellement possible d'extraire l'ensemble des variables suivies par l'outil statistique. Un extrait est présenté ci-dessous en Figure 37.

Tagname	Metier	Description	Produit	Contamina	Unite	Localisatio	Fab Alerte High			
C2_CR-CHI-LK1_particles02	Chimie		LK1 (acide oxalique: 3.4Pourcent)	particles	0.2 micrometre/litre		20000			
C2_CR-CHI-AM1-283-NH3-Ag-DB	Chimie	AM1 Ag ppt Depart boucle	AM1	Ag	ppt	Depart boucle	4000			
C2_CR-CHI-AM1-283-NH3-Ag-DP	Chimie	AM1 Ag ppt Depotage	AM1	Ag	ppt	Depotage	4000			
C2_CR-CHI-AM1-283-NH3-Ag-FO	Chimie	AM1 Ag ppt Fournisseur	AM1	Ag	ppt	Fournisseur	4000			
C2_CR-CHI-AM1-283-NH3-Ag-IN	Chimie	AM1 Ag ppt Incoming	AM1	Ag	ppt	Incoming	4000			
C2_CR-CHI-AM1-283-NH3-Ag-RB	Chimie	AM1 Ag ppt Retour boucle	AM1	Ag	ppt	Retour boucle	4000			
Fab Warning Hig	Facilities Warning H	Facilities Warning I	Fab Warning I	Fab Alerte L	Target	On li	Frequence de mesure	SPC	ON line	Off line
15000	10000					Y	continue	oui	1	0
2500	1000					N		oui	0	1
2500	1000					N		oui	0	1
2500	1000					N		oui	0	1
2500	1000					N		oui	0	1
2500	1000					N		oui	0	1

Figure 37. Extrait du plan de surveillance.

4.1.3 Activités

De la construction du plan de surveillance deux activités ressortent. La première permet de sélectionner une variable pour mieux la comprendre. La seconde permet de caractériser la variable.

a) Sélectionner une variable :

Parmi l'ensemble des paramètres et variables devant être surveillés, l'activité de sélection des variables en fournit une. Sélectionner une variable qui ne peut pas être mesurée (physiquement ou parce que le capteur n'est pas disponible) ne sert à rien. Aucune donnée de cette variable ne parvient et elle ne peut pas être analysée. Aussi l'activité « sélectionner » est limitée par les moyens de mesure disponibles. La sortie de cette activité va être l'ensemble des caractéristiques statiques de cette variable : désignation, métier attaché, localisation, unité, commentaire, moyen de mesure. Nous résumons cette réflexion dans la Figure 38.

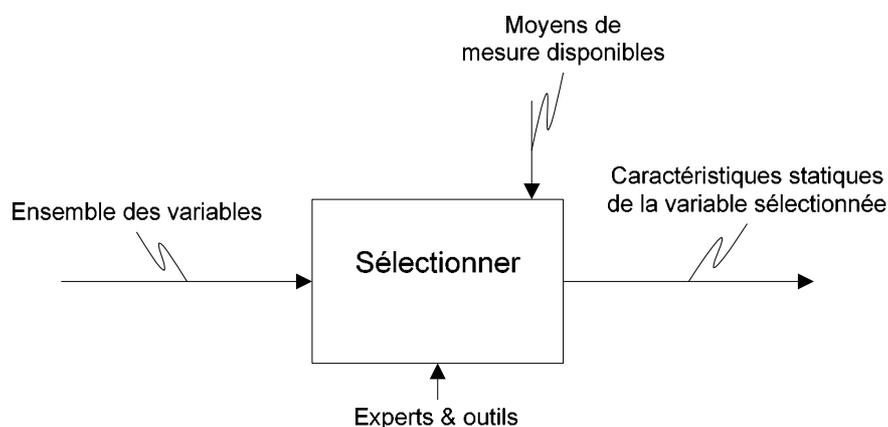


Figure 38. Activité de sélection.

b) Caractériser une variable :

Une variable peut être caractérisée complètement au travers de différentes études et outils. L'activité de caractérisation transforme les données relatives à une variable en un ensemble de limites de spécifications, limites d'alarmes, limites de contrôle, modèles comportementaux de la variable, capacités des moyens de mesures associés. L'activité de la Figure 39 résume cette réflexion.

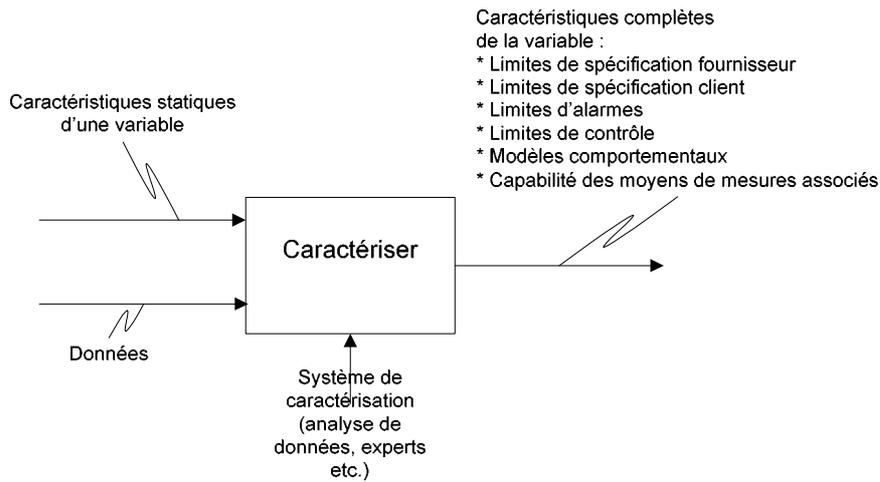


Figure 39. Activité de caractérisation.

4.1.4 Processus

Le processus de caractérisation des variables se déroule en deux temps :

- la sélection des variables à analyser
- l'analyse de ces variables

4.2 La collecte des données off line

La seconde réalisation concerne la collecte des données dites off line. C'est la première étape de la mise sous contrôle de plus de la moitié des paramètres des installations générales. Nos travaux ont consisté à mettre en place une base de collecte pour mettre à disposition des analyses de l'ensemble des données off line. Avant ces travaux les résultats des analyses étaient envoyés par les laboratoires sous format papier. Tous les paramètres des chimies distribuées au parc machine étaient contrôlés mais l'exploitation des résultats était difficile.

4.2.1 Positionnement

Depuis nos travaux, la collecte des données est faite dans une base de données commune à tous les métiers. Chaque laboratoire communique ses résultats par un formulaire électronique automatiquement traité. Chaque valeur est extraite et stockée dans la base. Il est à présent possible de disposer d'outils d'analyse de ces données. Les travaux se positionnent comme l'illustre la Figure 40.

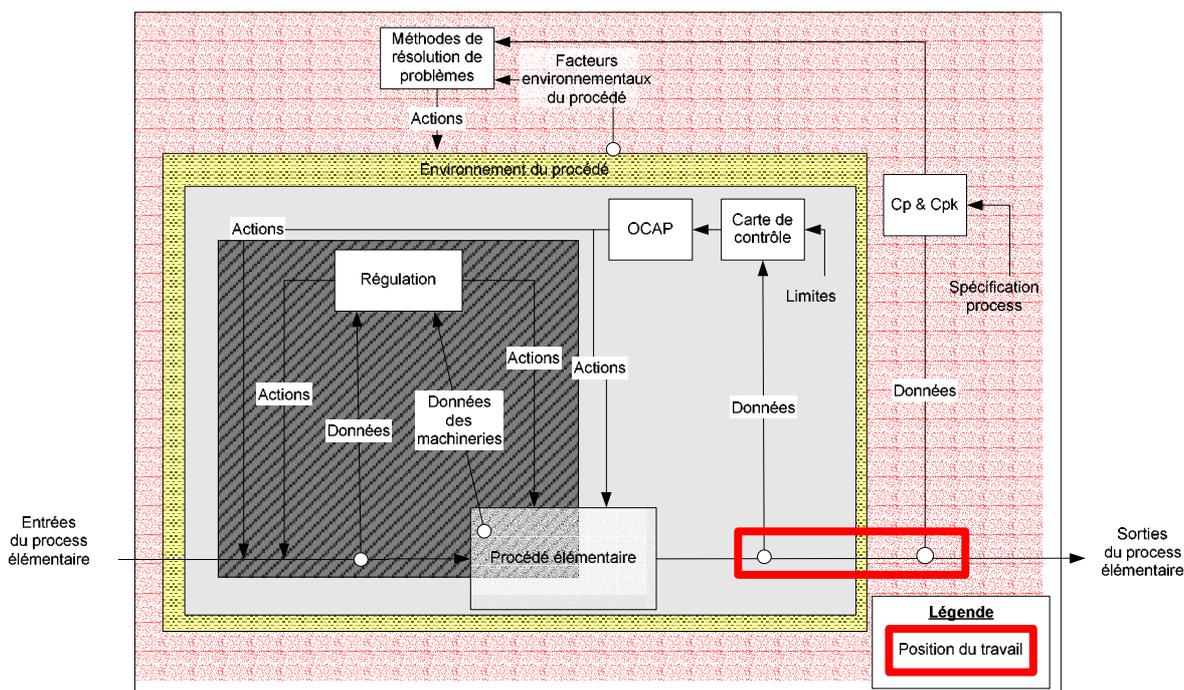


Figure 40. Illustration des travaux.

4.2.2 Résultats

Les résultats obtenus pendant la thèse ont permis à la chimie et à l'EDI d'enregistrer leurs données provenant d'analyses de laboratoires et de les analyser automatiquement. Les autres métiers vont entrer dans un cycle d'adhésion.

Nombre de paramètres collectés : 3818. Les autres paramètres restent encore à analyser par l'ancienne méthode. La collecte des données dites off line passe par une standardisation des modes de communication avec les fournisseurs d'analyse. Le masque de saisie mis en place est présenté succinctement Figure 41 en deux parties. Il permet un enregistrement automatique des données dans la base de données offline.

Site	Laboratoire	Produit	N° analyse	Localisation	Date de prélèvement + heure	Date de réception
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	EDI		départ boucle	04/05/2004	04/05/2004
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	EDI		Retour boucle	04/05/2004	04/05/2004
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	Eau adoucie TH0	-	Amont réseau	04/05/2004	04/05/2004
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	Eau adoucie TH5	-	Amont réseau	04/05/2004	04/05/2004
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	Eau Brute	-	Amont réseau	04/05/2004	04/05/2004
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	EDI		Départ boucle	05/05/2004	05/05/2004
CR2 Alliance	Faure Ingénierie	EDI		Départ boucle	11/05/2004	11/05/2004

Contaminant	value	unit	LQM	standard deviation	incertitude	analytical method
Microorganismes	20	germes/Litre	N/A	N/A	Chemscan RDI	Chemscan RDI 126 (0096)
Microorganismes	20	germes/Litre	N/A	N/A	Chemscan RDI	Chemscan RDI 126 (0096)
Microorganisme	211	germes/Litre	N/A	N/A	N/A	Chemscan RDI
Microorganisme	339	germes/Litre	N/A	N/A	N/A	Chemscan RDI
Microorganisme	16	germes/Litre	N/A	N/A	N/A	Chemscan RDI
Microorganisme	0	germes/Litre	N/A	N/A	N/A	Chemscan RDI
Microorganisme	0	germes/Litre	N/A	N/A	N/A	Chemscan RDI

Figure 41. Masque d'échange des données avec les laboratoires.

Les données ainsi préparées sont importées dans la base par le biais d'une procédure d'import suivie par les responsables en salle de contrôle. La collecte des données off line est une étape fondamentale dans la maîtrise d'un processus à feu continu. Cette étape permet de mettre à disposition des données et des informations pour les investigations. En cas de non conformité, des corrélations peuvent être tirées à partir de ces données.

4.2.3 Activité

Conditionnée par le plan de surveillance, la capabilité des moyens de mesure, les formats d'échange et de stockage, l'activité de "collecter des données off line" transforme un ensemble de mesures en données enregistrées dans une base de données spécifique grâce à un système de collecte. L'outil de collecte repose sur une base de données. Nous avons défini dans le cadre de nos travaux, le cahier des charge de cette base, dont le modèle conceptuel de données est présenté en ANNEXE 7.1. Elle peut être représentée par l'activité Figure 42.

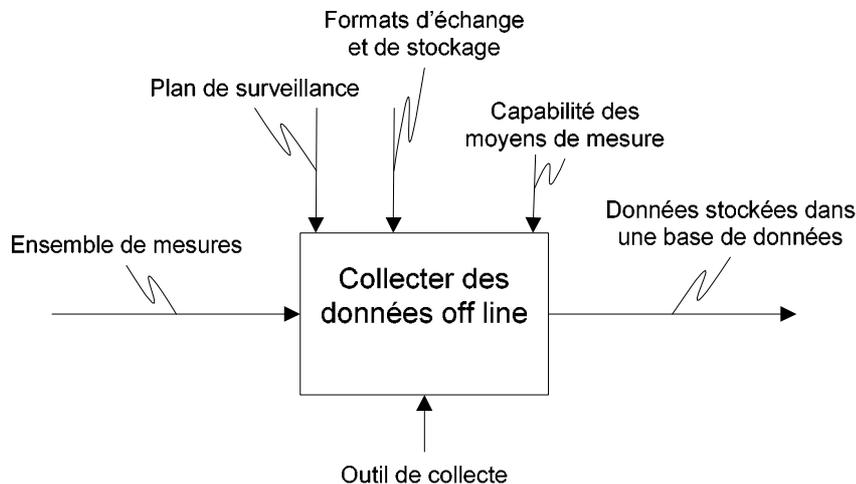


Figure 42. Activité de collecte des données off line.

4.2.4 Processus

Cette activité peut être détaillée par le processus suivant : la mesure est réalisée, elle est transmise au laboratoire. Après analyse, les résultats sont formatés et transmis pour être stockés dans la base de données. Le chargement dans cette base finalise la collecte des données off line. Ce processus est présenté Figure 43.

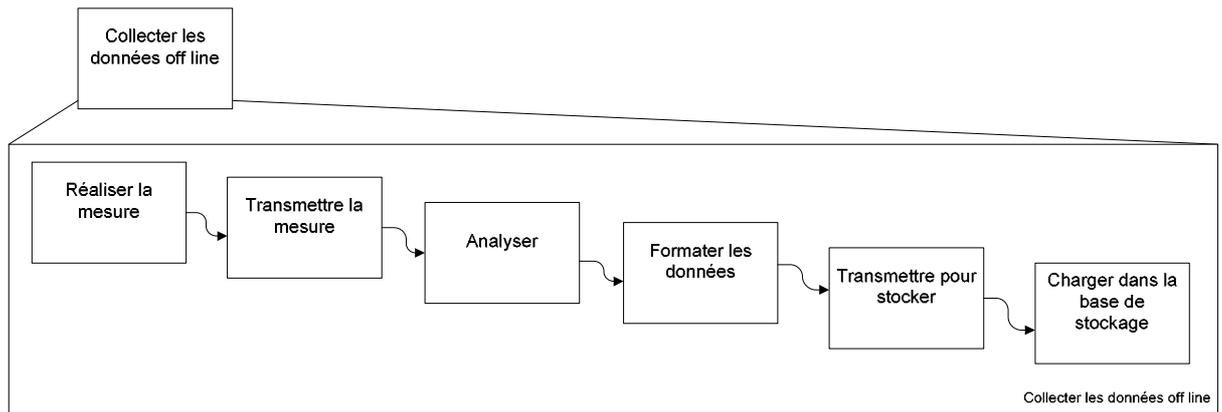


Figure 43. Processus lié à la collecte de données off line.

4.3 L'outillage de l'amélioration

A présent, les variables clefs sont identifiées et toutes les données sont disponibles pour l'analyse. Nous allons présenter l'outil permettant de fournir les voies d'amélioration des moyens généraux.

4.3.1 Positionnement des travaux

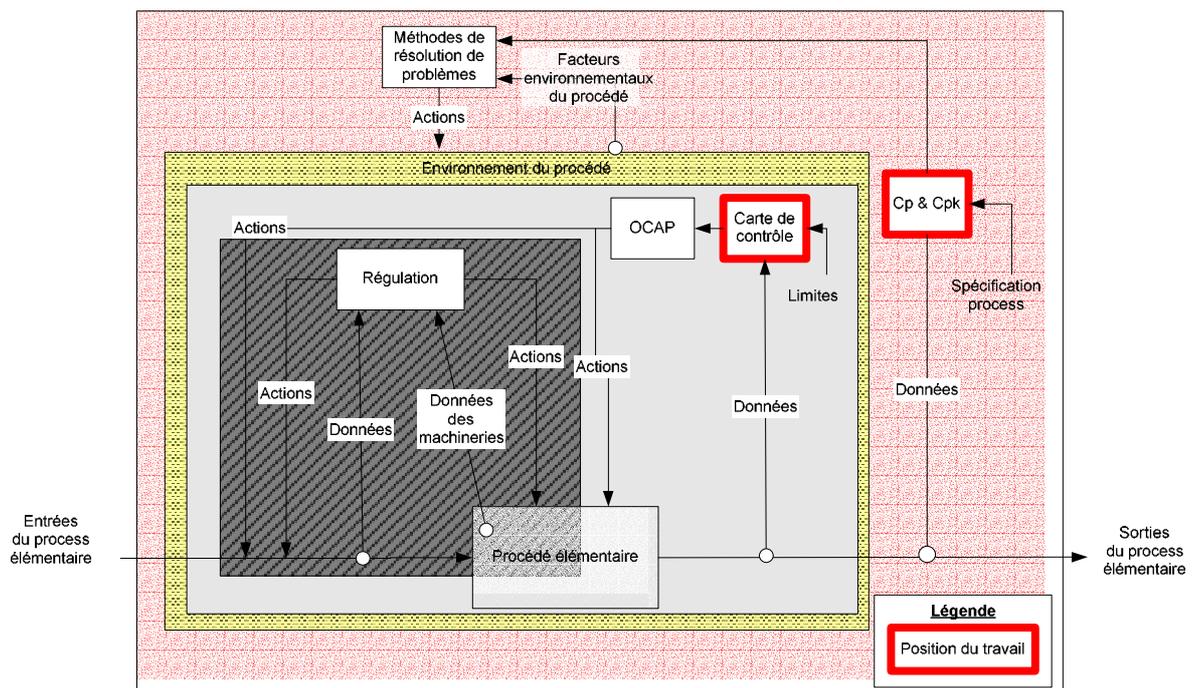


Figure 44. Positionnement des travaux sur les indicateurs de maîtrise.

Par ces travaux, les facilities disposent d'un outil de visualisation des cartes de contrôle et de calcul des Cp et Cpk de leurs paramètres clefs. Des alertes notifiées en rouge permettent une identification visuelle des paramètres hors contrôle. Les paramètres qui sont surveillés de la sorte sont tous les paramètres prépondérants des facilities. Aussi une dérive les affectant doit être corrigée par un plan d'action prioritaire. En ce sens cet outil permet de définir des voies d'amélioration.

La différence avec le traitement par cartes de contrôle des machines de production réside dans le fait que la boucle de rétroaction est consultative. Un hors contrôle n'arrête pas les machineries des installations générales.

4.3.2 Résultats :

Le suivi des paramètres clefs des facilities est intégré à un outil de suivi statistique préexistant à nos travaux. Nous avons défini le cahier des charges en accords avec nos modèles pour implémenter les fonctions suivantes :

- Import et stockage des données off line.
- Visualisation de données suivant les spécificités de chaque métier.
- Communication journalière entre les outils de stockage et ceux d'analyse.
- Analyse journalière des données des paramètres clefs.
- Construction des indicateurs Cp et Cpk ainsi que de rapports sur les hors contrôle.
- Création de rapports spécifiques sur le niveau de contrôle.
- Visualisation intuitive en rouge des variables « hors contrôle ».

Des photos d'écran de cet outil sont présentés en ANNEXE 7.2

4.3.3 Activités :

La réalisation de l'outil de visualisation des voies d'amélioration nous conduit à cinq activités : Collecter des données, Etudier statistiquement, Analyser en temps réel, Réagir, Synthétiser.

a) Collecter des données :

Partant des données disponibles dans les serveurs d'historiques de données et des capteurs placés sur les machineries, la collecte de données fournit trois ensembles de données :

- Des données pour des analyses long terme,
- Des données pour des analyses court terme,
- Ainsi que les nouvelles valeurs d'une variable.

Les notions de court et long terme sont détaillées dans le paragraphe suivant. Les nouvelles valeurs d'une variable particulière sont destinées aux cartes de contrôles. Ces données sont extraites sous le contrôle de requêtes sur les serveurs les contenant. Elles peuvent être représentées par l'activité de la Figure 45.

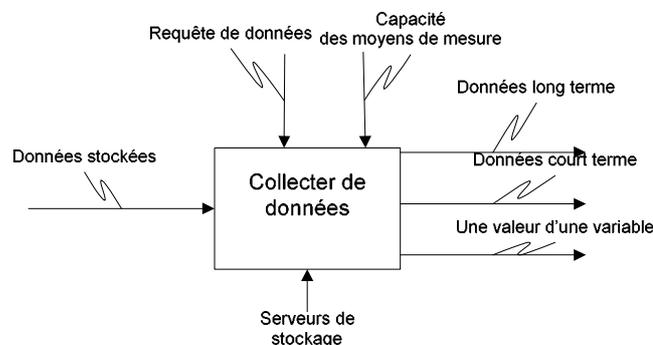


Figure 45. Activité de collecte de données.

b) Etudier statistiquement :

Les moyens généraux doivent fournir des points de fonctionnement stables dans le temps. Les études long terme vont montrer le comportement des variables et permettre de déterminer les limites de contrôle acceptables, ainsi que des lois de fonctionnement.

Des études sur des données à court terme vont montrer le niveau de maîtrise en regard des spécifications (clients ou fournisseur), au travers des indicateurs C_p , C_{pk} . Afin de calculer ces indicateurs, les caractéristiques complètes des variables étudiées doivent être fournies. Ces études sont réalisées par des outils d'analyse de données et validées par des experts. Elles sont contraintes par les algorithmes de calcul, et la confiance dans les données. Cette activité est représentée par le schéma Figure 46.

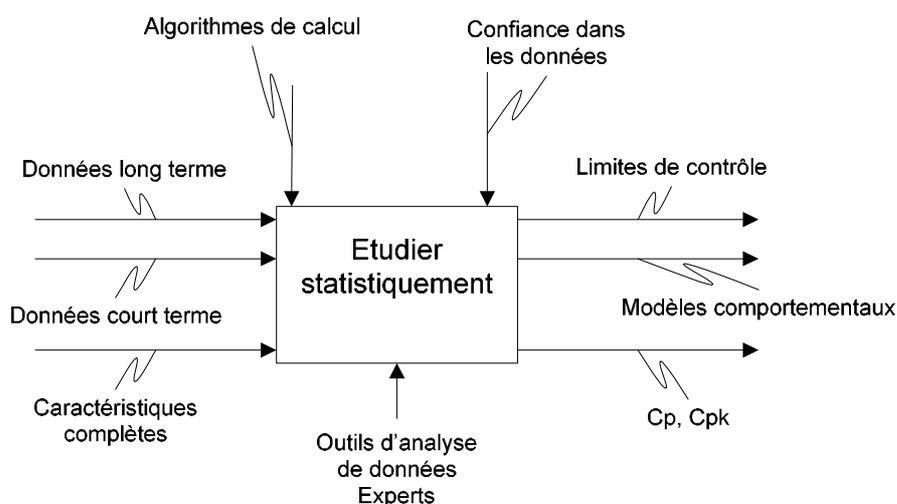


Figure 46. Activité d'étude statistique.

c) Analyser des données en « temps réel » :

Les analyses de données temps réel utilisent les valeurs fournies en temps réel c'est-à-dire celles obtenues à chaque changement de la valeur de la variable ou celles obtenues à chaque période d'enregistrement. Les entrées de cette activité sont les caractéristiques de la variable à surveiller ainsi que les données collectées en temps réel. Sa sortie est le résultat de la comparaison entre les limites de contrôle ou les alarmes et les données temps réel. Elle est contrainte par la validité des données. Cette activité est représentée dans le schéma Figure 47.

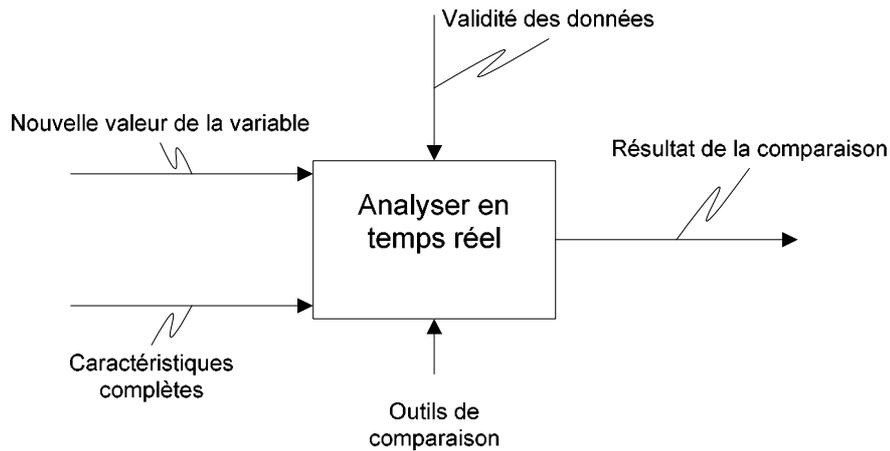


Figure 47. Activité d'analyse en temps réel.

Aux facilities, l'analyse en temps réel est réalisée par l'outil de gestion des alarmes. Les caractéristiques complètes sont déjà intégrées dans l'outil de comparaison. A chaque mesure un ensemble de caractéristiques est associé. L'outil de comparaison est un logiciel de comparaison des alarmes.

d) Synthétiser et réagir :

Nous avons rencontré différents types de synthèse :

- pour les études statistiques, sur le court terme (limites de contrôle, études des spécifications...)
- pour les études statistiques, sur le long terme (Cp, Cpk)
- pour les résultats des comparaisons (mise en rouge des variables, alarmes)
- chacune des synthèses est réalisée par des outils spécifiques.

Nous avons rencontré différents types de réaction :

- Les réactions immédiates comme la prise en compte d'une alarme
- Les réactions à court terme comme par exemple le changement d'un capteur suite à une fausse détection
- les actions à long terme qui sont des mises à jours des spécifications, des projets de re-conception par exemple

Les réactions sont réalisées lors de travaux de groupes par des personnes avisées. Lors de ces travaux de groupe des analyses complémentaires peuvent être demandées afin de trouver les causes d'un problème. Les réactions font office de la partie « résolution de problèmes » présentée au paragraphe 3.2, page 83.

Ces deux activités sont illustrées en Figure 48.

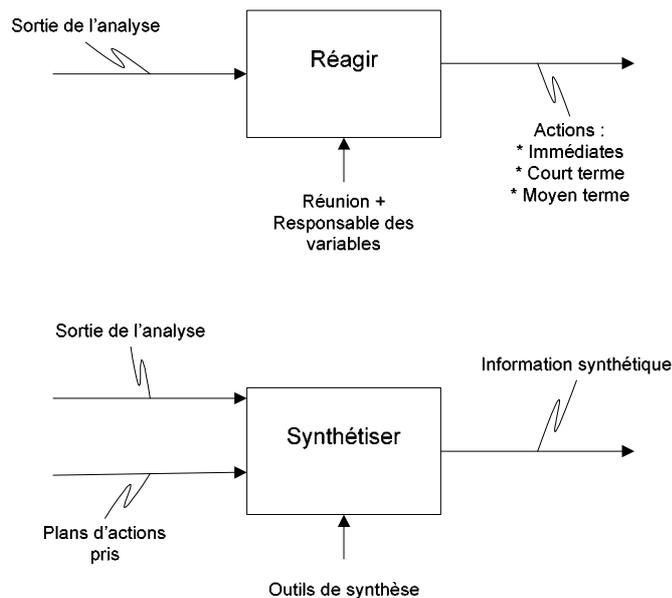


Figure 48. Activités de synthèse et de réaction.

4.3.4 Processus

Le processus de maîtrise des moyens généraux se représente par la Figure 49.

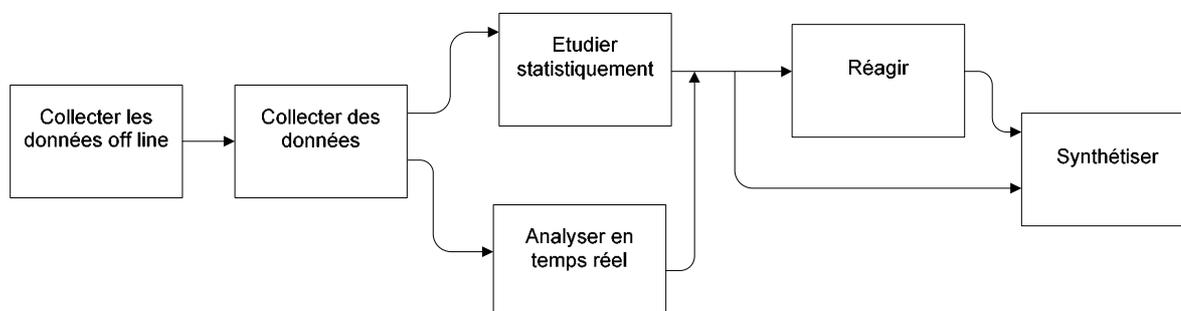


Figure 49. Illustration du processus de maîtrise des moyens généraux.

Les données off line sont collectées, puis avec les données on line, elles sont mises à dispositions (ce que nous appelons à nouveau collecter) pour les analyses Deux études peuvent être menées sur ces données, une étude statistique et/ou une analyse en temps réel. Ces résultats conduisent à construire des plans d'actions d'amélioration et fournissent des informations pour construire des synthèses sur le niveau de maîtrise des moyens de production.

5 Synthèses des réalisations

Pour les facilities, les résultats de ce cas d'étude permettent de construire une stratégie de maîtrise de chaque métier des moyens généraux comme présenté en Figure 50.

Par ce cas d'étude, deux boucles de rétroactions sur les moyens de production des facilities ont été créées. Elles sont effectives si les dérives et les hors contrôles sont traités par des plans d'actions. Ces réalisations viennent s'ajouter comme une couche supplémentaire de maîtrise des procédés, par l'analyse de données. Jusqu'alors seule la régulation des machines avait cette fonction.

La prise en compte des dérives et des hors contrôles, reste du ressort des acteurs de chaque service, ce qui permet de réguler la rétroaction. Aux moyens généraux de Crolles 2, une réunion quotidienne permet de revoir les demandes d'intervention.

Au travers de la modélisation du cas d'étude, certains points peuvent être soulignés :

- L'étape de sélection peut être étendue à la collecte des données on et off line. Cela revient à faire une requête définissant le plan de surveillance.
- L'étude statistique de données collectées s'apparente à l'activité de caractérisation.

Il est donc possible de rationaliser ces activités et processus, puisque la modélisation directe de ce qui a été réalisée n'est pas suffisante pour en tirer un modèle pouvant répondre à la problématique. C'est ce que nous allons faire dans le dernier paragraphe de ce chapitre.

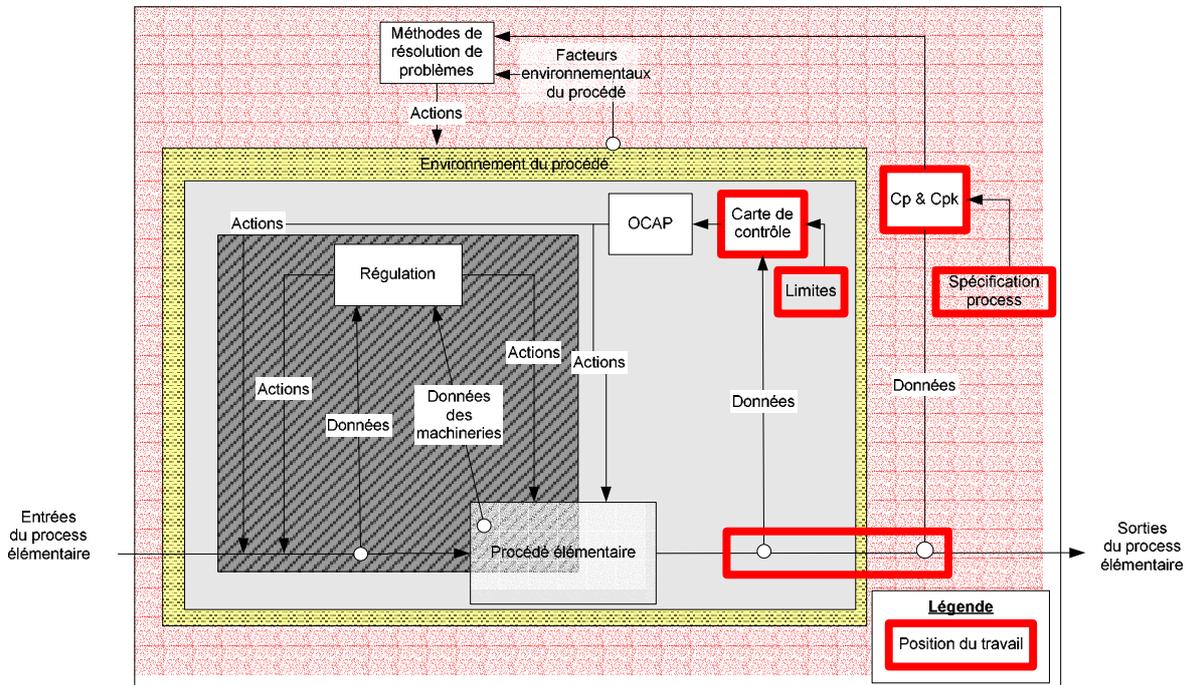


Figure 50. Stratégie de maîtrise in et off line des moyens généraux.

6 Pour en revenir à la problématique...

A présent nous disposons de la description complète du cas d'étude sur la mise sous contrôle des moyens généraux de l'usine de Crolles 2. Nous devons en extraire des réflexions pour approfondir notre recherche.

Notre problématique est de répondre à l'interrogation :

Comment qualifier et améliorer les moyens de productions, de manière dynamique, opérationnelle et en supportant les connaissances métier ?

Ce second cas d'étude est une réponse possible.

- Elle permet de qualifier les moyens de production par les analyses pré câblées (calcul des Cp, Cpk, comparaison des limites de contrôle) des données issues de l'appareil de production.
- Elle permet également l'amélioration par le fait que les plans d'actions, issus des hors contrôles agissent avant l'apparition des hors spécifications et donc des problèmes. Les risques sont alors prévenus.

Par ailleurs, elle possède les caractéristiques requises. Elle est :

- Opérationnelle car :
 - Appliquée aux moyens de production.
 - Utilisée dans la conduite quotidienne des plans d'actions.
 - Paramétrables, au travers des variables à mettre sous surveillance et des limites de spécification à définir.
- Dynamique car elle tient compte des évolutions de la variabilité des moyens de production pour le calcul des limites de contrôle.
- Un support aux connaissances métier car elle permet :
 - d'identifier les variables clef,
 - de construire une base de référence de leurs spécifications.

Nous proposons dans cette partie d'abstraire un modèle d'activités et des processus liés aux analyses on-line et off-line et de mieux analyser la dimension connaissance. Nous commençons par présenter les modèles des activités puis le processus associé. Cette partie se termine, ainsi que ce chapitre, par une réflexion autour des connaissances métiers mises en œuvre.

6.1 Les modèles d'activités

Les réalisations menées dans ce cas d'étude permettent d'identifier plusieurs activités. La vision du contrôle des moyens généraux permet de déduire un principe de fonctionnement.

Nous voyons plusieurs activités :

- La première activité concerne la **collecte de données** et de leurs validations.
- La seconde activité traite des **analyses en temps réel pour le processus** de fabrication sur lesquelles elles sont menées.
- La troisième fait appel à des **analyses de données qui sont faites dans un temps déconnecté** du processus de fabrication. Toutes les analyses conduisent à des actions d'amélioration sur l'appareil de production.

- La quatrième réalise des **synthèses**. Elle peut être différencié des analyses statistiques dans le sens où elle contribue à l'éclairage du management en lui fournissant des synthèses et des indicateurs adaptés.

Nous noterons dans la suite du document :

- Données off line : Données issues de campagnes de mesures.
- Données on line : Données issues de capteurs provenant des machines et servant à la régulation de ces machines ou d'autres machines.
- Analyses on line : terme employé pour désigner des analyses dans un temps compatible avec celui du processus analysé
- Analyses off line : terme employé pour désigner des analyses dans un temps déconnecté de celui du processus analysé.

6.1.1 La collecte des données on & off line

Nous proposons de fusionner les deux activités de collectes.

Les collectes des données off line et on line doivent être soumises à un plan de surveillance. Ce plan détaille les informations relatives à la variable à mesurer : sa désignation, sa fréquence d'échantillonnage, son caractère clef ou non. Le caractère clef doit être confirmé par une analyse de risques.

La validité des mesures doit être donnée non pas par une personne, mais par un indicateur de reproductibilité des mesures et de fiabilité des données que nous appelons (Cpm)

Afin de tenir compte de la collecte particulière des paramètres dits off line, il faut également définir le mode de collecte. L'opération de collecte étant faite en suivant un plan de surveillance, il est possible de tirer une information sur la qualité des données obtenues.

Suite à ces réalisations, toute l'infrastructure est disponible pour collecter et traiter la donnée. Mais si une étape dans cette chaîne se déroule mal, elle conduit à des erreurs de mesures. Des informations relatives à la qualité des données et sur l'opération de collecte peuvent alors être fournies en parallèle des données. Les données sont qualifiées de validées car elles doivent être en correspondance de forme avec les préconisations du plan de surveillance. Nous résumons la collecte dans l'activité, Figure 51.

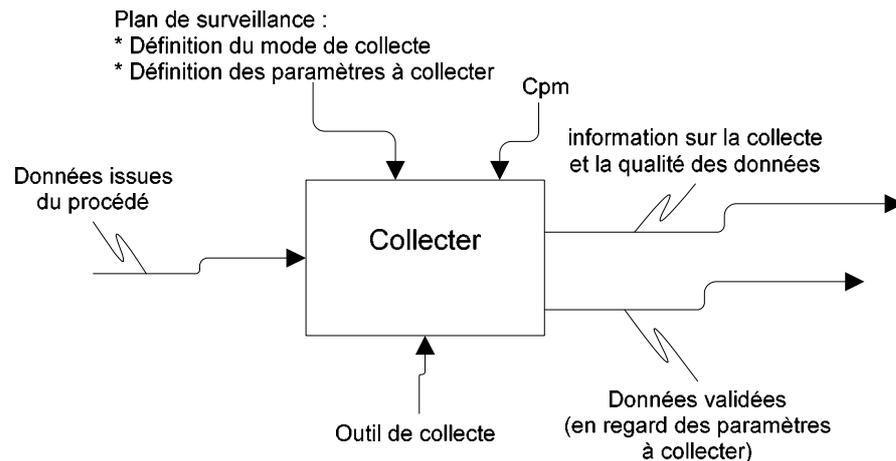


Figure 51. Activité de collecte des données.

6.1.2 L'analyse off line

Deux types d'analyse off line sont mentionnés dans le cas d'étude précédent :

- Les analyses off line réalisées pour caractériser les variables (dans le cadre du plan de surveillance).
- Les analyses off line réalisées pour caractériser l'évolution de ces caractéristiques.

Le processus de caractérisation d'une variable débute par la sélection d'une variable. Dans le processus de mise sous contrôle des moyens généraux, l'étape de collecte des données comporte une requête permettant d'extraire des données spécifiques. Ainsi, les variables qui vont faire l'objet d'un traitement et d'une extraction de données doivent être identifiées. Cette identification traduit un besoin de compréhension de cette variable. Dans le cas contraire, l'analyse est inutile. Ainsi la caractérisation d'une variable et l'analyse off line d'une variable se caractérisent par un besoin d'analyse en entrée.

Dans le cas d'étude, caractériser et analyser des données off line sont deux activités qui font chacune appel à une étape de validation des résultats.

Comme en plus, ces deux formes d'analyses peuvent faire appel aux mêmes outils, elles peuvent donc être regroupées au sein d'une même activité renommée « analyser des données ».

« Analyser off line » part du besoin de comprendre une variabilité, d'obtenir une corrélation etc. De là en découle la définition des éléments à analyser et une requête de collecte ou un plan de surveillance. Cette sous-activité « déterminer le besoin » est faite par des experts. La collecte des données faite, les données sont analysées grâce à des outils spécifiques tels MATLAB®, JMP®, Statgraphics® etc. Les résultats de ces analyses sont ensuite évalués en regard des besoins, par des experts, en suivant des règles d'interprétation plus ou moins explicites. De ces résultats sortent :

- un plan d'action (si une dérive est constatée, un contaminant à un taux trop élevé etc.)
- un résultat validé,

- un résultat d'analyse à raffiner dans une nouvelle étape d'analyse,
- un nouveau besoin d'analyse afin d'approfondir ou de préciser une variable.

Nous traduisons ces réflexions par la Figure 52 :

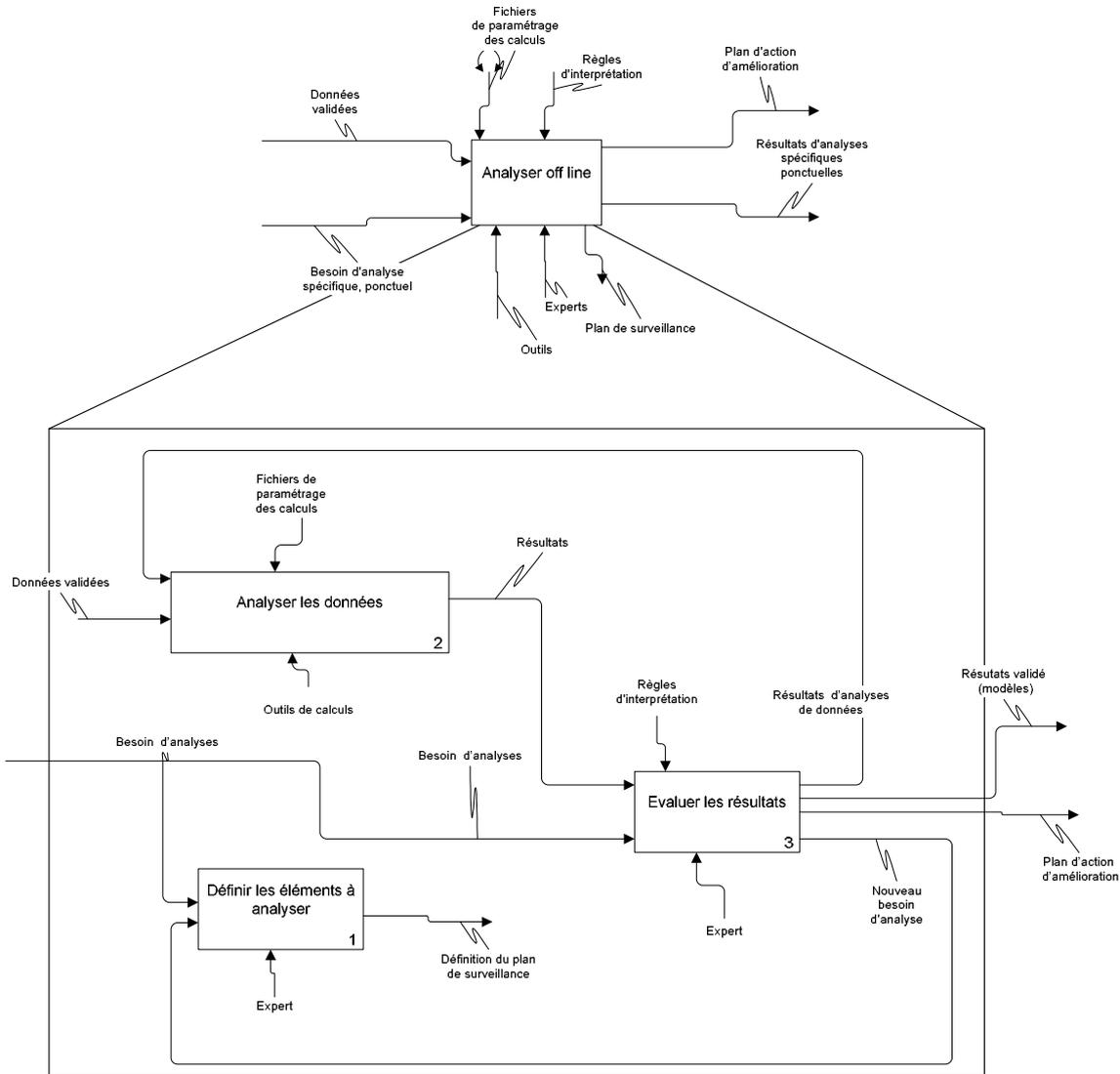


Figure 52. Modélisation de l'activité d'analyse de données off line.

6.1.3 Analyser on-line

Les données collectées, par l'activité de collecte servent à plusieurs activités.

Comme vu dans ce cas d'étude, la première activité du pôle d'analyse on line utilise les limites de contrôle. Les données sont employées directement dans cette activité. En cas de hors contrôle, une procédure préalablement définie appelée : OCAP (Out Of Control Action Plan) est appliquée. Elle est définie en amont et n'est pas remontée dans l'arborescence des activités. Lors d'une analyse d'un hors contrôle, il peut être demandé une analyse de données plus poussée, dite off line. Les résultats de cette analyse sont intégrés comme une entrée.

Il ressort de cette activité des informations sur le niveau de contrôle ainsi qu'un ensemble de plan d'actions d'amélioration. Cette activité est réalisée par des opérateurs et personnes en support, avec l'aide d'un outil spécifique.

En pratique, il est possible d'automatiser de nombreuses tâches dédiées aux analyses off line. Dans le cas des moyens généraux, si le logiciel contenant les alarmes peut recevoir ces limites d'une autre application, il est envisageable de stocker plusieurs semaines de données, de les analyser et de proposer des limites de contrôle automatiquement. Or c'est le cas de nombreux systèmes intégrés de maîtrise de procédés dont celui de la ligne de Crolles 2. D'un point de vue conceptuel, rien n'empêche que le calcul des indicateurs de capacité, les histogrammes de suivi ainsi que le calcul des limites de contrôle se fassent automatiquement.

Dans le cadre des analyses on line nous proposons une seconde activité. Elle est appelée « calculer les paramètres statistiques ». Elle a pour sortie les indicateurs de capacités C_p et C_{pk} , les histogrammes de suivi ainsi que les limites de contrôle. Pour le calcul des indicateurs, elle s'appuie sur les limites de spécifications. Pour le calcul des histogrammes et des limites de contrôles, il existe différents paramétrages de calculs qui ne sont pas reportés aux niveaux supérieurs. Cette activité est contrainte par le fait que les données collectées doivent être cohérentes avec les fichiers de spécifications fournis.

La troisième sous activité de l'analyse on line est l'utilisation des indicateurs. Dans le cas d'étude, réaction et synthèse ont été regroupées dans une activité. Dans cette partie de recherche, ces deux activités sont séparées. L'activité de réaction est positionnée au sein de l'activité d'analyse on line. Elle est réalisée lors de réunions dédiées. Elle s'appuie sur les résultats des indicateurs (C_p , C_{pk}), des histogrammes décrivant les tendances des paramètres et de toute autre analyse de données. Durant le déroulement de cette activité, des analyses supplémentaires peuvent être demandées. Il en ressort des informations relatives au niveau de contrôle ainsi que des plans d'action afin d'améliorer les indicateurs de performance.

Le choix de décomposer les activités de synthèses et de réactions provient du fait que opérationnellement des synthèses sont faites en plus des actions.

Ces trois activités décrivent l'activité spécifique de contrôle par la maîtrise statistique des procédés. Il peut cependant exister en parallèle des méthodes supplémentaires faisant intervenir des algorithmes spécifiques. Ainsi une quatrième activité d'analyse spécifique non conventionnelle peut être proposée. Elle s'appuie sur un système opérant différent, pouvant être composé d'outils non standard, tels les réseaux de neurones, les systèmes experts ou à base de cas. Elle transforme des données d'entrées, des informations pertinentes préalablement collectées et des résultats d'analyse en information sur le niveau de contrôle ainsi que d'éventuels plans d'action. Elle utilise des fichiers de spécification et de paramétrage des calculs et est contrainte par le fait que les spécifications doivent porter sur les données validées en entrée.

Ainsi les liens entre les 4 activités sont résumés dans le schéma de la Figure 53 :

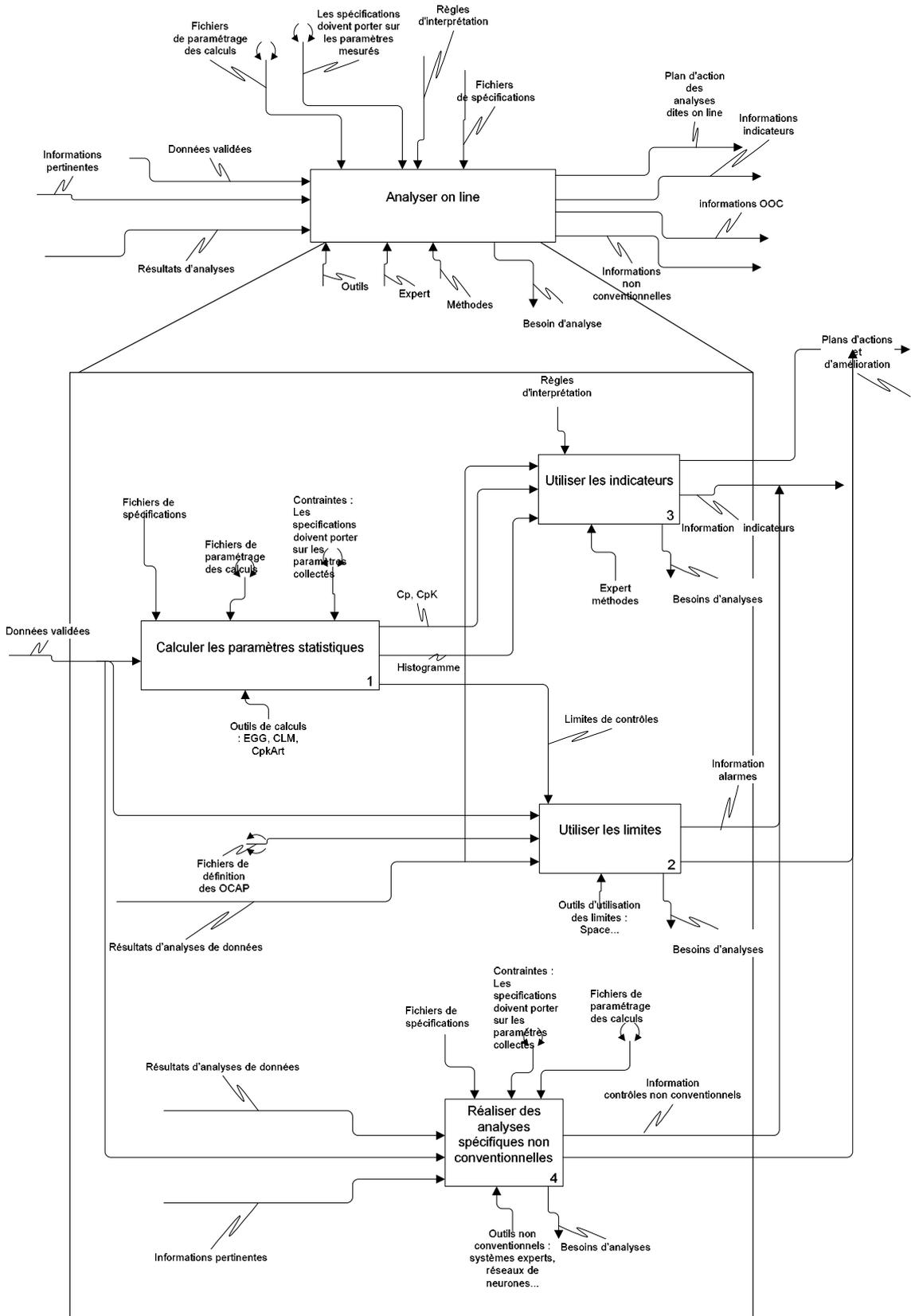


Figure 53. Détail de l'activité d'analyse on line.

6.1.4 L'activité « synthétiser »

Pour chacune des activités précédemment décrites, il est possible de réaliser des synthèses. Dans le cas d'étude des moyens généraux, il existe trois synthèses, celles :

- Des études statistiques sur le court terme.
- Des études statistiques sur le long terme.
- Des résultats des comparaisons.

a) Si nous restons sur le modèle d'une synthèse par activité et que la synthèse de chaque activité s'appuie sur les informations sortantes et les transforme par le biais de règles et d'outils spécialisés, alors nous avons : une synthèse des collectes, une synthèse des analyses off line, une synthèse des analyses on line. Cette activité est en fait une proposition car la synthèse des collectes n'existe pas à ce jour. Par ailleurs cette proposition répond à un réel besoin de connaître si des données sont pertinentes ou non. Pour les utilisateurs de la mesure, les Cpm ne sont pas souvent disponibles s'il n'existe pas un moyen simple d'y accéder.

Nous pensons donc qu'il doit exister une synthèse de la collecte aux caractéristiques suivantes :

- Une entrée contenant des informations sur la collecte et la qualité des données.
- Une sortie représentant une information synthétique sur l'activité de collecte.
- Une synthèse réalisée en suivant certaines règles de synthèse et par un outil de synthèse.

b) La synthèse des analyses on line permet de fournir le niveau de maîtrise du processus surveillé. La prise en charge de l'activité de SPC dans cette activité on line fournit des informations relatives à des indicateurs. L'introduction d'analyses non conventionnelles induit elle aussi la production d'informations sur ces analyses. Elle a pour entrées ces trois sources d'information ainsi que les plans d'actions pris et envisagés. L'activité de synthèse des analyses on line fournit une information relative au niveau de maîtrise du processus suivi. Elle réalise cette synthèse par un outil de synthèse employant certaines règles.

c) Sur le site de Crolles 2, les synthèses des analyses off line ne sont pas complètes. Pour les facilities, les Cp et Cpk produits le sont par l'activité d'analyse off line. Une synthèse hebdomadaire est proposée automatiquement. Par contre, au niveau de la ligne de production, les Cp et Cpk des opérations sont réalisées par l'activité d'analyse on line. La synthèse hebdomadaire est également proposée automatiquement. Pour toutes les autres analyses off line d'un groupe de variables particulières, il n'existe pas de système de reporting. Cette activité de synthèse peut donc être vue également comme une proposition.

L'application principale de cette proposition est de quantifier les analyses faites sur les procédés, machines et produits permettant ainsi de voir les zones de non optimisation de ces éléments et d'orienter les actions de « process control » vers ces endroits.

La synthèse des analyses dites off line restent similaire à celle du cas d'étude des moyens généraux. En entrée de cette activité, se trouvent les plans d'action et les résultats validés issus des analyses dites off line. Par un outil de synthèse adapté et un ensemble de règles, cette activité produit des informations relatives à l'analyse off line.

Les trois activités de synthèse sont positionnées au même niveau que les trois activités qu'elles synthétisent. Nous les regroupons dans une activité spécifique pour ne pas surcharger les représentations. Cette activité est représentée dans la Figure 54.

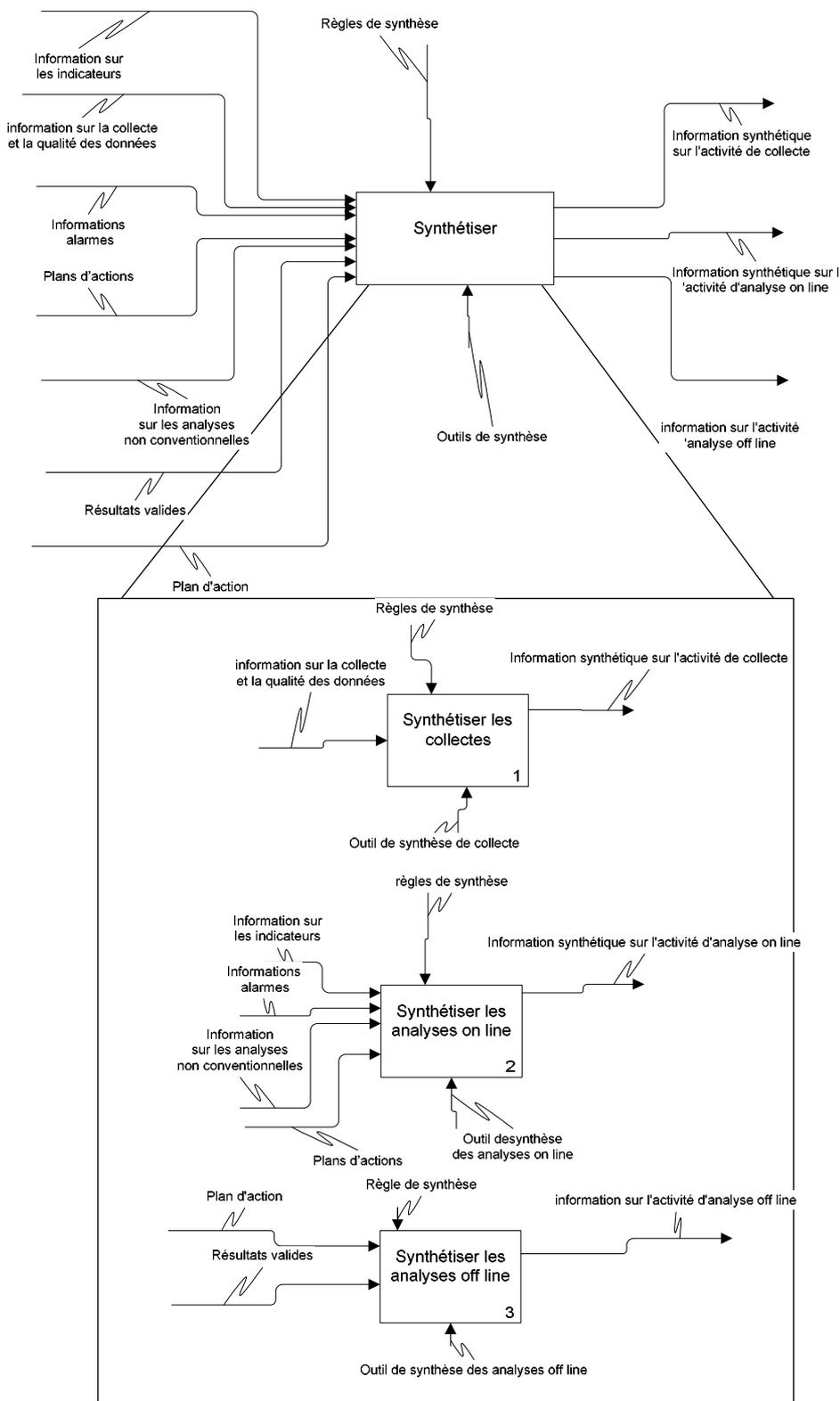


Figure 54. Activité liée à la synthèse.

6.2 Les processus

A partir de ces activités, il est possible de représenter leur utilisation. Nous employons à cet effet un formalisme qui nous permet de représenter explicitement des bouclages entre les activités. Un tel bouclage n'est pas permis avec l'outil de modélisation des processus suivant IDEF3³⁷ dont nous disposons.

Le formalisme employé pour représenter les processus est donné ci-dessous, Figure 55.

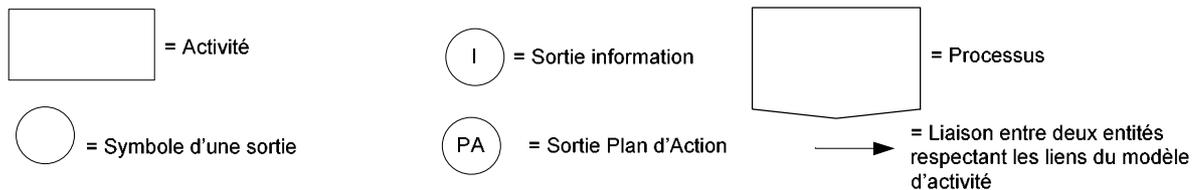


Figure 55. Formalisme employé pour les processus.

6.2.1 Le processus d'analyse off line

Ces différentes activités s'emploient dans le processus de maîtrise des moyens de production.

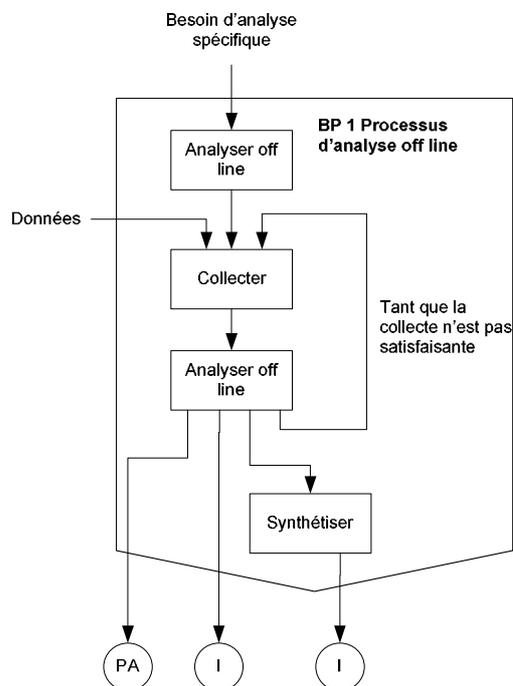


Figure 56. Processus d'analyse off line.

³⁷ ©ProCap 6.0

6.2.2 Le process d'analyse on line

Nous avons vu que l'activité d'analyse on line fait appel à l'activité d'analyse off line. Le processus qui emploie cette activité intègre BP1, présenté Figure 56.

Le processus commence par collecter des données issues du moyen de production.

L'activité d'analyse on line peut alors les utiliser.

Dans le cadre d'une analyse ponctuelle, elle peut faire appel à l'activité d'analyse off line. Mais cette dernière ne peut s'employer que dans le cadre du processus qui l'accompagne, la référence n'est donc pas uniquement l'activité d'analyse off line, mais le processus d'analyse off line.

L'activité de synthèse termine le processus.

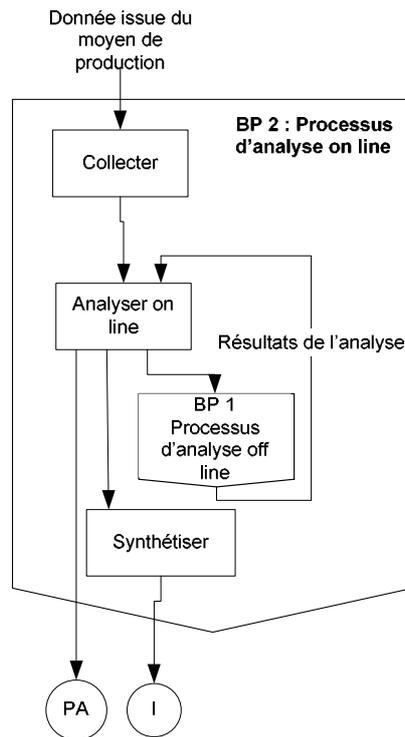


Figure 57. Processus d'analyse online.

6.3 Les connaissances manipulées

La notion de connaissance est sous-jacente tout au long de ce cas d'étude.

Déterminer et étudier les variables clés des facilities fournissent aux experts métiers, l'occasion de prendre du recul vis à vis de leurs moyens de production. Les informations produites (identifications de variables, limites de spécifications) sont considérées dans le métier comme des informations pertinentes de références, parfois elles sont appelées connaissances.

Les mettre sous surveillance, s'en servir dans un outil d'identification des zones déviantes permet de mieux caractériser les installations et comprendre leur évolution.

Globalement, ces outils sont perçus, dans le métier, comme supportant les connaissances.

Comme pour le premier cas d'étude, les informations relatives aux paramètres clef traduisent des informations essentielles pour la conduite des installations. Elles se présentent cependant sous forme de données structurées (Facilities Warning | 21,4), (Fab warning | 21,5) ; (Fab Alerte | 21,6). Ainsi c'est leur interprétation qui permet d'en tirer des informations pertinentes pour un métier donné ou non.

Par exemple, si l'ingénieur responsable de la salle blanche s'aperçoit que la température possède une limite de spécification haute à 25°C il sait qu'elle est erronée ou alors qu'il prévient trop tard les utilisateurs, la dérive a des conséquences graves sur la fabrication. En revanche, si on présente cette valeur, voire cette information (valeur + son lien avec le fait que ce soit une spécification haute) à une personne du design des circuits intégré, sa réaction n'est pas similaire.

Cet exemple conforte l'idée que la clef de la connaissance réside dans l'interprétation de cette information.

Le plan de contrôle est un élément fondamental de la maîtrise. Il consigne les variables clefs de l'appareil de production et ses caractéristiques associées, notamment les seuils de déclenchement des actions. Pour la réalisation de cette base, il n'y a pas eu de réticences organisationnelles. En revanche, il y avait un manque de cohérence dans l'utilisation des informations. Les spécifications doivent servir de référence à la salle de contrôle. Or, des limites de spécification peuvent être changées manuellement sans qu'il y ait une cohérence entre les deux modèles. Ce problème peut être résolu par le pilotage des modèles au sein d'une unique base de données qui valide la cohérence. Ce manque d'outillage est ainsi une source de freins.

Le manque d'homogénéité des infrastructures informatiques peut conduire à une non utilisation du plan de contrôle et donc à une rapide obsolescence de la pertinence des informations qu'il contient.

Ainsi, par combinaison des caractères **utile, explicite, à jour**, les informations sont vues comme des connaissances métier. L'**exploitation** opérationnelle de ces informations pérennise ces caractères. Les connaissances ainsi formées deviennent stables dans l'organisation.

7 Conclusion du chapitre

Ce chapitre présente notre second cas d'étude durant lequel nous mettons en œuvre la mise sous contrôle du service des moyens généraux. Après une introduction aux métiers et besoins des « facilities », nous présentons le positionnement bibliographique des travaux.

Le chapitre continue par la présentation des réalisations et résultats suivants :

- Nous avons identifié les paramètres clef des installations générales.
- Nous avons contribué à la définition et au déploiement de l'outil de collecte des données off line.
- Nous avons défini et déployé l'outil de surveillance par cartes de contrôle.
- Les outils développés sont présentés plus en détail en ANNEXE 7.

A partir de cette expérience opérationnelle, nous en déduisons les activités et processus permettant de qualifier et améliorer les moyens de production de manière dynamique et opérationnelle par l'analyse de données.

Comme au chapitre précédent, nous terminons ces développements en nous intéressant à l'aspect « connaissance », thème sous jacent à nos travaux. Nous soulignons les aspects explicites, utiles, à jour, qui permettent aux informations d'être pertinentes dans le métier.

**CHAPITRE IV. PROPOSITIONS DE
MODELES POUR QUALIFIER ET
AMELIORER LES MOYENS DE
PRODUCTION**

Les cas d'études, présentés dans les chapitres deux et trois, fournissent un support suffisant pour construire un modèle pour le « process control ». Dans ce chapitre, nous construisons effectivement ce modèle et répondons ainsi à notre problématique :

Comment qualifier et améliorer les moyens de production, de manière dynamique, opérationnelle et en supportant les connaissances métier ?

Ce chapitre se présente en 6 parties :

- **La première** revient sur la littérature afin de voir les différentes approches du terme «process control». Nous montrons qu'il est possible d'aborder ce terme suivant plusieurs angles. Nous soulignons aussi l'importance d'une vision intégrée et les outils que nous employons à cet effet.
- **Dans la deuxième**, nous analysons plus en détail le concept de connaissances qui est sous jacent à tous nos travaux. Nous en présentons une définition, employée pour répondre à « comment supporter les connaissances métier ? ».

Les parties qui suivent constituent le cœur de notre proposition de thèse. Nous construisons le modèle « à être » qui est constitué de 2 volets : les activités, les processus du métier.

- Dans la **troisième** partie, les activités du «process control» sont construites à partir des cas d'études appuyés par la littérature. Elles sont représentées dans le formalisme IDEF0.
- Dans la **quatrième** partie, trois processus métiers utilisant ces activités sont construits :
 - L'analyse on line
 - L'analyse off line
 - La gestion des risques
- Ces propositions se terminent dans la **cinquième** partie, par une réflexion sur la robustesse de ces modèles.
- Une **conclusion** vient terminer le chapitre.

Ce chapitre propose notre réponse vis-à-vis de la problématique.

1 Le concept de «process control» dans la littérature

La notion de «process control» possède plusieurs aspects se recoupant. Dans une première partie, nous l'abordons sous un angle de «régulation» des machines. Il est ensuite traité par une vue « mathématiques appliquées ». Enfin une vue « d'ingénierie qualité » complète ce tableau. Une conclusion sur la nécessité d'intégration et nos outils de modélisation termine ce paragraphe.

Cette partie montre différentes approches du concept de «process control» dans la littérature en introduisant progressivement une dimension humaine.

1.1 Une vue « régulation »

Pour commencer, nous partons du point de vue de la régulation des machines. Elle est indissociable de la notion de «process control». La régulation automatique des procédés est traitée en détail dans [CORRIOU 1996]. Pour être plus spécifique à l'industrie des

semi-conducteurs, une modélisation générale de la fabrication de circuits intégrés est présentée dans [BONING 1992]. Un cadre directeur de «process control» pour le semi-conducteurs est intégré dans [SACHS et Al, 1991].

Ils proposent de s'intéresser à trois niveaux de contrôle :

- La génération automatique de recettes de fabrication est présentée comme étant le point de départ de la maîtrise des procédés. Les consignes des machines sont générées automatiquement. Par exemple, en implantation ionique, les paramètres des machines sont automatiquement calculés en fonction de la dose à implanter.
- Le contrôle appelé « Run by Run » sert au paramétrage fin de chaque recette ainsi créée. Il intègre le modèle comportemental ou mécaniste de l'équipement aux mesures pré et post opératoires. Ce type de régulation réajuste les consignes en fonction des erreurs mesurées.
- Le contrôle temps réel vient compléter cet ensemble. Il permet d'ajuster finement le fonctionnement des machines. Ce niveau correspond aux automates de régulation de la machine.

Ces trois niveaux sont présentés Figure 58.

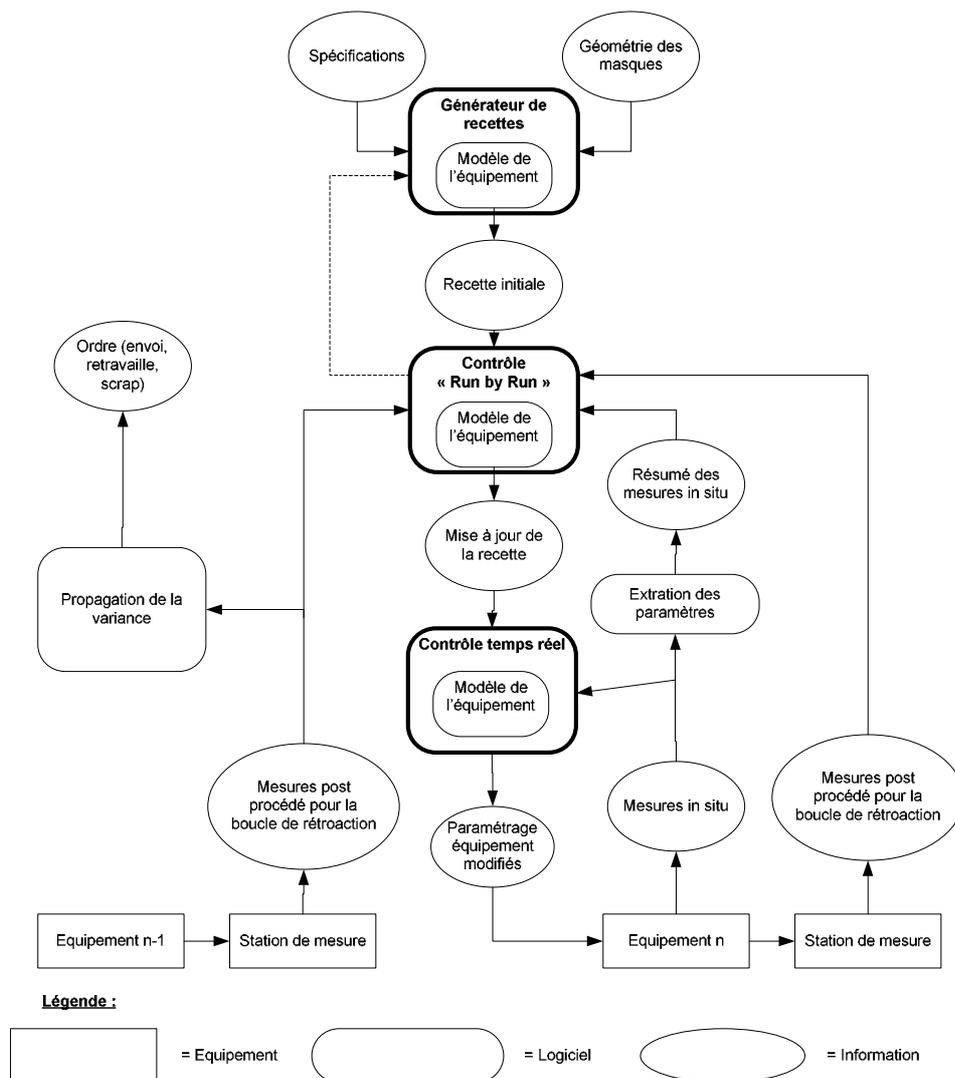


Figure 58. Modèle de «process control» pour la fabrication des VLSI.

[EDGAR 2000] proposent une revue des manières de réaliser le «process control» « automatiquement » dans l'industrie des semi-conducteurs.

Ainsi, au travers de ces quelques références nous voulons souligner qu'il existe une approche où, le contrôle et la maîtrise sont automatiques. Le «process control» est alors synonyme de régulation des procédés.

1.2 Une vue mathématique appliquée

a) A la régulation automatique des machines, la **Maîtrise Statistique des Procédés (MSP)** s'ajoute comme une couche supplémentaire. Une présentation spécifique et plus explicitée en a été faite en CHAPITRE III.3. Nous voudrions insister sur deux auteurs, l'un américain, l'autre français qui font office de référence : Douglas Montgomery avec [MONTGOMERY, 2001] et Maurice Pillet dans [PILLET, 2003]. Douglas Montgomery cite notamment cinq raisons d'employer la MSP :

- « (1) Une réduction des produits non conformes et des reprises permet une augmentation de la productivité et une baisse des coûts.
 (2) Les cartes de contrôle sont un moyen efficace de prévention des défauts.
 (3) Les cartes de contrôle préviennent les ajustements inutiles de procédés en différenciant les problèmes anormaux des fluctuations dues au bruit.
 (4) Les cartes de contrôle fournissent une information de diagnostic grâce aux formes dessinées par les points.
 (5) Les cartes de contrôle fournissent une information sur la stabilité du procédé dans le temps. »

La MSP donne au «process control» un ensemble de méthodes outillées (basées sur les mathématiques appliquées) qui soutiennent l'expertise humaine. En cas de détection d'une dérive ou d'un point hors contrôle des actions immédiates³⁸ sont menées. Elles peuvent être automatiques. La correction définitive du problème repose toujours sur un groupe de personne. En amont de la MSP, les paramètres pertinents à surveiller sont à définir ainsi que la vérification de la capacité des moyens de mesures. Ces actions sont dévolues à des experts³⁹.

Nous voyons donc que cette méthode permet une aide à la décision et à l'action. L'être humain intervient dans la boucle de contrôle tant en amont qu'en aval du contrôle.

Les applications de la MSP sont nombreuses dans l'industrie et notamment pour la fabrication de circuits intégrés. Une revue de cette pratique chez Freescale Semi-conducteur est réalisée dans [BERGERET 2004].

b) Des outils de « process control » font appel à des techniques d'intelligence artificielle (I.A.). [BOO SIK KANG 1999] proposent un cadre directeur de «process control», basé sur des techniques d'I.A. pour les industries manufacturières et notamment les semi-conducteurs. Ils proposent pour contrôler les processus de fabrication, 8 étapes :

- L'extraction des données
- Le placement de ces données dans des bases dites d'ingénierie

³⁸ Alarme, Arrêt de l'équipement...

³⁹ Ou reconnus comme experts dans une organisation donnée.

- L'extraction de règles à partir de ces bases
- La validation de ces règles par un expert
- Le placement de ces règles dans une base de règle
- Le contrôle des procédés par la génération d'alarmes préventives sur les dérives
- L'analyse des défauts et leurs mécanismes d'apparition

Ils résument leur proposition dans le schéma reproduit Figure 59.

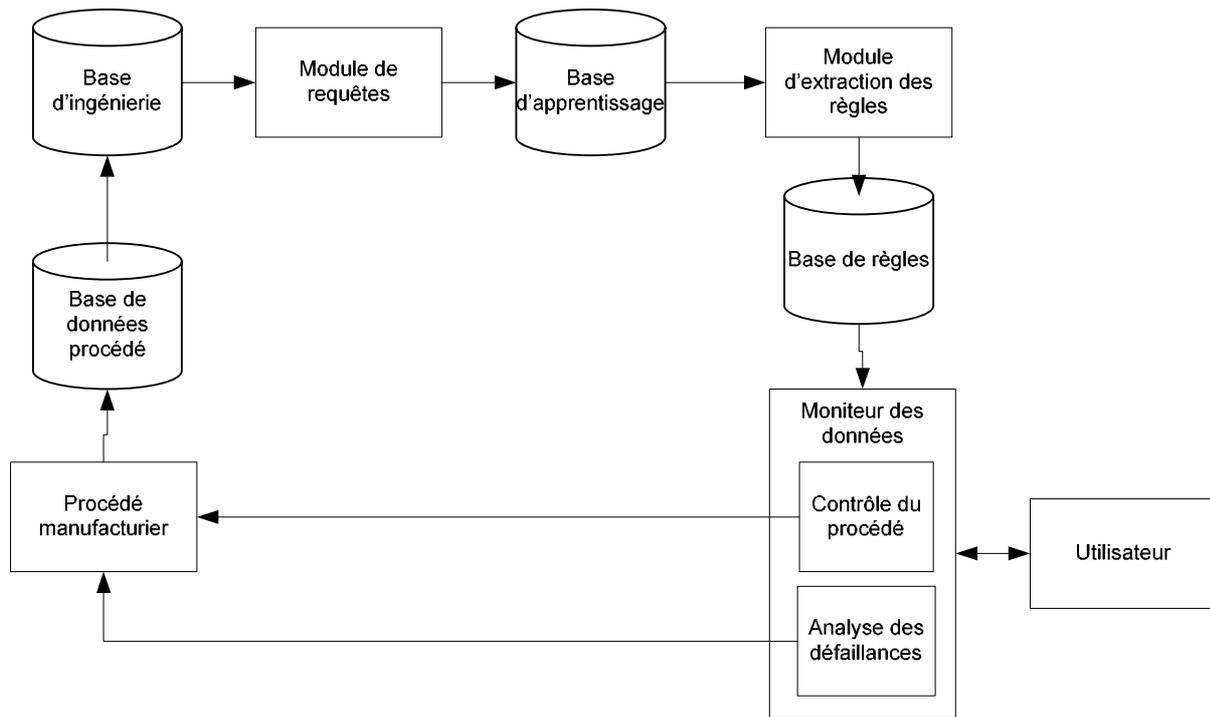


Figure 59. Cadre d'un système de «process control» intelligent.

Nous proposons dans [BASSETTO 2002], dans l'industrie des films plastiques, une démarche identique pour les productions à flux continus.

Le projet SACHEM de conduite de Hauts Fourneaux appliquée à 6 hauts fourneaux, présenté dans [LESAFFRE Al., 2000] propose également une architecture similaire. Elle est structurée en 5 étapes et rejoint les conclusions proposées dans les deux articles précédents :

- L'**acquisition** permet de faire entrer des données dans le système.
- Le **calcul** emploie des **modèles** physiques et empiriques de l'installation et prépare des informations pertinentes en vue des étapes dédiées aux raisonnements.
- La **perception** est une étape de reconnaissance de formes.
- Le **raisonnement** permet d'utiliser ces formes afin de **produire des alarmes** et autres signaux compréhensibles par l'homme.
- L'**interface** permet l'interaction avec l'opérateur et propose une **aide à la conduite**.

Chacune des 5 étapes est suivie par un monitoring spécifique. Cet ensemble est en interaction et est contrôlé par des personnes désignées comme expertes dans l'organisation dans laquelle ce système est implanté. Chacun de ces travaux s'est appliqué à une machine particulière. La convergence vers la stabilisation du système n'est pas prouvée.

Ces travaux possèdent certains points communs. Ils partent de **l'appareil de production** qui peut se résumer à une machine, mais qui peut également être une ligne de fabrication toute entière. A partir de ce système chacun d'entre eux **collecte** des données au travers d'un **réseau d'acquisition**. Ces données sont ensuite utilisées dans une **base spécifique de traitement**. Ce traitement est toujours réalisé dans un **espace de traitement**. Le temps de traitement peut être incompatible avec celui du procédé mis sous surveillance. Un ensemble de **transformations** est appliqué aux données afin d'en tirer des informations pertinentes (règles, formes connues, cas d'études). Cette étape peut être assimilée à de **l'extraction de connaissances** à partir de données. Ces informations pertinentes sont soumises à la **validation d'experts** (ou personnes désignées comme telles) et **réinjectées dans un système de rétroaction** sur l'appareil de production. Cette rétroaction peut être de différentes natures : proposition d'action, alarme, analyse de défaillance, prévention d'une dérive etc. Cette réinjection traduit le passage d'un espace « conceptuel » de raisonnement à l'espace physique. Ces propositions rejoignent les travaux sur la gestion des connaissances présentés dans [MARTIN, 1994] dans la méthode KADS sur l'acquisition des connaissances.

Ces outils sont intimement liés à l'être humain. Leur finalité a pour vocation d'être une aide à la décision. Ils nécessitent une interaction forte avec des utilisateurs plus ou moins experts (extraction et validation des connaissances). L'emploi des techniques d'intelligence artificielle est marqué par la présence humaine dans la boucle de rétroaction sur le procédé et ce plus encore que pour le contrôle statistique.

1.3 Une vue d'ingénierie qualité

Les propositions intégrant de plus en plus des être humains peuvent être vues à chaque fois comme des couches supplémentaires aidant à mieux maîtriser les procédés. Ainsi la notion de maîtrise n'est alors plus suivie que par des équations de régulation mais également par des indicateurs de performance tels les non conformités, les rebuts, les rendements etc. Or, contrôler un processus (manufacturier dans notre cas) par des indicateurs et un tableau de bord est une démarche d'ingénierie qualité.

R. D. Snee [SNEE 2003] montre l'imbrication profonde entre les outils de «process control» et la qualité. Ces outils sont notamment : la carte des procédés, les matrices causes – effets, les analyses de risques (AMDEC), l'analyse du système de mesure (conduisant à l'obtention des capacités des moyens de mesure), l'analyse des capacités des procédés, l'analyse de données multi variées, les plans d'expériences et les plans de surveillance des procédés. Ces outils entrent dans le processus d'amélioration continu représenté par leurs boucles motrices PDCA (Plan Do Check Act) ou DMAIC (Define Measure Analyse Improve Check).

L'ouverture du «process control» vers la dimension qualité est étudiée dans [KUO 1993] sous l'angle des systèmes experts. Les systèmes experts interprètent automatiquement les formes reconnues dans les cartes de contrôle et assurent le diagnostic associé en fonction

de cas préalablement appris et préservant et enrichissant ainsi les règles de l'art et permettant de systématiser les analyses.

Partant de la philosophie TQM, [PAN et KOLARIK, 1992] présentent les méthodes et outils classiquement utilisés en ingénierie qualité sous forme de l'arbre qualité. Six branches principales sont présentées :

- Le contrôle statistique
- Les plans d'expérience
- Les techniques de fiabilité
- L'assurance qualité (Quality Planning)
- L'audit qualité
- Le système d'information qualité

Ils recommandent de se baser sur une démarche systématique de résolution de problème afin de faciliter le déploiement de cette approche au sein de l'organisation. Ils positionnent également l'importance du support managérial comme moteur de la réussite. Ils soulignent que l'aspect managérial permet le déploiement des méthodes et outils qualité. Ils soulignent deux aspects organisationnels, vecteurs du message qualité :

- QIT : Quality Improvement Team
- QIMU : Quality Improvement Meeting Units.

Le QIT permet d'obtenir des relais au sein de l'organisation, des messages, méthodes et outils qualité. Les QIMU permettent une revue des actions menées et un retour d'expérience au sein de l'organisation.

D'autres outils qualité peuvent être approfondis par la lecture de [DABADE 1996].

Le «process control» intègre complètement ces aspects qualité. Il possède notamment ses propres relais dans l'organisation. Il diffuse ses messages et son retour d'expériences lors de réunions spécifiques. Il s'appuie sur l'ensemble des outils de la boîte à outil de la qualité et certains outils spécifiques. L'être humain est alors au cœur de la boucle de rétroaction et aidée par certains outils, notamment les statistiques.

1.4 La nécessité d'une vue intégrée

De cette étude bibliographique, nous en retirons plusieurs points :

- Tout d'abord, la façon de comprendre le «process control» est multiple. On peut le voir sous l'angle de la régulation des machines, des mathématiques appliquées, de la qualité. Ces approches ne sont pas des classifications mais bien des interprétations qui se recoupent.
- On voit également une composante humaine plus ou moins présente. Dans les outils de régulation, cette composante est complètement occultée voir absente. Dans la vue procédant de l'intelligence artificielle, elle est déjà un peu plus présente par l'interface avec les experts qui doivent fournir leurs connaissances de manière formelle. Enfin en ingénierie qualité, la composante humaine est prépondérante.

- La difficulté d'avoir une vue globale de ce que pourrait être le «process control» est donc soulignée par cette bibliographie qui nous le montre comme un patchwork d'approches possibles. Les intégrations se font au cas par cas.

Ainsi puisqu'il ne ressort pas de cette bibliographie un ensemble d'activités, de processus ainsi que leurs concepts associés permettant de définir ce qu'est le «process control» nous allons attacher nos efforts à sa construction dans la suite de ce travail.

1.5 Nos outils de modélisation

Des cas d'études, nous avons cherché à tirer des informations pour fournir un ensemble de modèles servant à construire une vision de «process control». Cette démarche relève de la modélisation en entreprise.

Le modèle de «process control» est proposé en deux volets :

- Les activités qui le composent
- Les processus métiers qui emploient ces activités.

Ces deux modèles sont représentés respectivement par les formalismes :

- IDEF 0
- IDEF 3

Ces formalismes ont été choisis pour leur large diffusion ainsi que leur simplicité de communication au sein de l'entreprise et permettent d'aboutir à un résultat. De nombreux travaux ont été réalisés pour construire des cadres de modélisation en entreprise. On pense notamment à CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing, Open System Architecture), GRAI (Graphes à Résultats et Activités Interreliées) [DOUMEINGT, 1984], GERAM (General Enterprise Reference Architecture Model) et IDEF (Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) DEFinition). Une présentation en est faite en ANNEXE 3.

En suivant les vues concernant la modélisation en entreprise données par KOSANKE, VERNADAT et ZELM dans [KOSANKE 1999], l'ingénierie d'entreprise et l'intégration d'entreprise sont définies par :

Ingénierie d'entreprise : définition, structuration, conception et implémentation des opérations d'entreprises en tant que communication entre réseaux de processus métiers. Elle comprend l'organisation, les ressources, les informations, les connaissances impliquées dans ces réseaux.

Intégration d'entreprise : fournir la bonne information à la bonne place et au bon moment. Par la communication entre les personnes, les machines, les moyens informatiques, engendrer une coopération et une coordination efficaces.

Aussi les modèles que nous allons présenter doivent être vus comme « un » modèle en entreprise du «process control» qui sert à l'ingénierie d'entreprise et à son intégration.

Il est fait référence à un modèle dit **TO-BE** et son pendant, le modèle **AS-IS**. Ces désignations proviennent des travaux sur les CIM (Computer Integrated Manufacturing) et repris dans tous les cadres directeurs de modélisation en entreprise. Le modèle au début

des travaux, s'il existe s'appelle AS-IS. Le modèle idéal vers lequel il faudrait évoluer s'appelle le modèle TO-BE.

Dans la suite du document **élément** désigne : une famille de machines, une famille de recettes aux caractéristiques communes, un ensemble d'opérations ou module. Les modèles présentés ci-après constituent le **modèle TO-BE** du «process control».

2 Le thème sous jacent des connaissances

Pour répondre à notre problématique notre modèle doit supporter les connaissances métier. La notion de connaissance est sous jacente à ces travaux. Mais pour prendre cette dimension en compte, précisons ce concept.

2.1 Le concept de connaissance et ses caractéristiques

Nous avons vu pour le cas d'étude sur la gestion des risques que les connaissances sont l'ensemble des risques et des typologies. Au regard de celui sur la mise sous contrôle des moyens généraux, les connaissances sont assimilées aux variables clefs et à leurs attributs (description, niveaux de contrôle, alerte, alarme, unité etc.).

Ainsi, au travers de ces cas, il semble exister un certain consensus autour de la notion de connaissance :

- Le concept de connaissance n'est pas défini.
- La connaissance est entendue comme une information, explicite, utile, à jour, et réutilisée dans le métier, par différents types de systèmes. Dans le métier, ces caractéristiques particulières permettent de faire la distinction entre une information quelconque et une connaissance.

L'information qui est entendue dans le métier comme une connaissance est une sorte d'objet intermédiaire dans la production de connaissances chez les différents acteurs de ce métier.

Par ailleurs, le champ de recherche sur les connaissances est très actif. Les définitions de ce concept ne manquent pas :

- Selon [HAYES-ROTH 1994] : Les connaissances sont l'ensemble de toutes les données qui améliorent la résolution de problèmes.
- Selon [ERMINE 2000] : La notion de connaissance n'est pas immédiate à définir. Elle se distingue de celle de donnée, d'information. Il en propose une définition systémique : une connaissance = système de signes.
- Selon [PACHULSKI, 2001] : La connaissance résulte de la rencontre d'un sujet avec une donnée et s'inscrit au travers du système d'interprétation de l'individu dans sa mémoire.
- Selon [LABROUSSE, 2004] : la connaissance est le résultat d'une interaction entre des informations et un système d'interprétation dans un domaine d'application donné. Elle peut être modélisée par le triplet « information/utilisateur/domaine » et peut être décomposée en trois catégories : les savoirs formalisés (ou explicites), les savoirs formalisables et les savoirs tacites (intangibles).

Nous présentons notre compréhension de ce vaste champ d'étude en ANNEXE 4.

Dans cette thèse, nous définissons **une connaissance** comme le résultat des interactions entre une information, un système d'interprétation et un domaine d'application donné.

Notre définition est illustrée par la Figure 60.

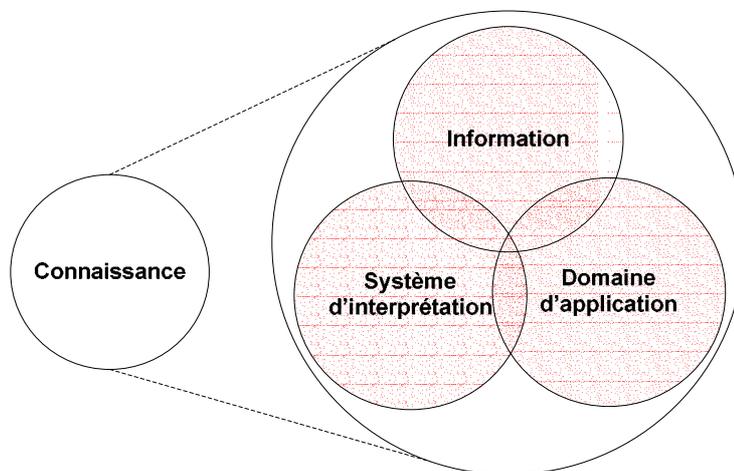


Figure 60. Illustration du concept de connaissance.

A partir de cette définition, nous pensons caractériser une connaissance. La recherche des types de connaissances n'est pas nouvelle. Par exemple, les travaux menés par [NONAKA, 1994] soulignent quatre types de connaissances :

- implicites versus explicite
- personnelles versus de groupes

D'autres, comme [PACHULSKI, 2001] caractérisent les connaissances par leur emploi (cruciales, importantes ...). Nos travaux [BASSETTO 2004], présentent également d'autres types de connaissances : stables, instables, innovantes, routinières

Ici cependant, nous proposons d'utiliser cette définition de la connaissance pour fonder la définition de sa caractéristique. La connaissance contient trois pôles interagissant. Chacun d'eux possède des attributs.

Aussi, nous définissons la **caractéristique d'une connaissance** comme la réunion des attributs de ses composantes et des attributs de leurs liens.

Nous pouvons à présent fonder les caractéristiques des connaissances sur des faits : prenons par exemple le caractère explicite d'une connaissance, il est donné par le caractère explicite de l'information la supportant. Illustrons notre propos par quelques types différents de ces trois pôles et de leurs liens :

Composantes			Interactions		
Système d'interprétation	Information	Domaine d'application	Système d'interprétation & Information	Information & Domaine d'application	Domaine d'application & Système d'interprétation
Personne	Explicite	Défini	Utilise...	Utile dans...	Influence la construction
Groupe	Tacite	Indéfini	Pas de liens	Inutile dans...	Dirige l'interprétation
Machine (programme, ordinateur...)				Obsolète	Pas de lien
				A jour	

Figure 61. Caractéristiques des composantes de la connaissance et de leurs interactions.

L'objet ici n'est pas de dresser une liste exhaustive des composantes possibles et de leurs interactions, mais de juste souligner le fait qu'il est possible de caractériser finement les connaissances à travers l'interprétation de cette définition.

Comme nous l'avons vu dans les deux cas d'étude, l'information est souvent indissociable de son support. Chaque risque d'une AMDEC est lié à la structuration qui l'entoure (fichiers, arborescence de stockage) et qui a permis qu'il soit là. Chaque description d'une variable du plan de surveillance est intimement liée à la façon dont il faut la décrire. Jusqu'à présent, nous avons fait l'amalgame entre l'information et son support. Lorsque les traitements spécifiques à ce support sont impactants pour les connaissances, nous effectuons la distinction.

2.2 Vers un invariant des connaissances métier

Revenons un instant sur ce qui a été fait lors des deux cas d'étude relativement à nos deux nouvelles définitions :

Pour le cas de la gestion des risques : nous avons au départ un domaine défini, des informations tacites dans la tête des ingénieurs et un système d'interprétation qui était ces mêmes ingénieurs. Après la mise en place de notre démarche, nous sommes passés à des informations explicites : les risques. Le système d'interprétation est à présent l'ensemble de l'organisation et le programme de synthèse. Le domaine d'application est resté invariant.

Ainsi, dans le premier cas d'étude tout notre travail a été de :

- Mettre en place une structure permettant de supporter le passage du caractère implicite à explicite des informations sur les risques.
- Construire un mode de stockage des supports des informations.
- Construire le système d'interprétation.
- Construire des liens pérennes d'utilisation des informations sur les risques.
- Construire des liens pérennes de mise à jour des risques.

Revenons sur le cas d'étude de la mise sous contrôle des moyens généraux : nous avons au départ un domaine d'application défini, des informations tacites dans la tête des ingénieurs et un système d'interprétation qui était ces mêmes ingénieurs. Après ce cas

d'étude, le plan de surveillance est explicite, inclus dans un système automatique de maîtrise statistique des procédés et utilisé opérationnellement.

Tout notre travail dans le second cas d'étude a été de :

- Mettre en place une structure permettant de supporter l'explicitation des variables clefs.
- Construire un stockage des supports des informations.
- Construire le système d'interprétation adapté à ces variables.
- Construire des liens pérennes d'utilisation.
- Construire des liens pérennes de mise à jour.

A partir de ces points, nous voyons apparaître certains invariants :

- Le domaine d'application est défini, il s'agit du métier dans lequel nous intervenons. Il est illustré par le modèle du domaine technologie – procédé – machine présenté Figure 4, page 24. Le fait de définir ce domaine caractérise les connaissances comme étant du métier.
- Le lien entre le système d'interprétation et l'information existe. Le système d'interprétation utilise les informations.
- Le lien entre l'information et le domaine d'application existe également. Il est même double :
 - Les informations doivent être utiles dans le domaine d'application.
 - Les informations doivent être à jour dans le domaine d'application.

Dans notre contexte dynamique, il est impératif de pouvoir supporter différentes formes d'évolution des connaissances. Nous considérons qu'une connaissance évolue si et seulement si ses caractéristiques évoluent. C'est-à-dire qu'il est nécessaire de savoir supporter les évolutions des composantes et de leurs interactions.

Enfin, nous devons être vigilants sur les supports des informations. Une base de donnée adaptée au métier a plus de succès qu'une collection d'outils rudimentaires, non ergonomiques. Ainsi, fournir des supports d'information adaptés aux pratiques du métier vient supporter les connaissances métier.

Selon nous, quelles que soient les évolutions, ces points doivent être respectés. A défaut nous pourrions avoir des informations obsolètes ou non utilisées ou pour une application inconnue. Dans d'autres contextes, ces caractéristiques pourraient être recherchées. Pour des applications visant l'innovation de rupture, l'information « innovante » peut, par exemple, émerger de la confrontation d'informations a priori inutiles dans le domaine.

Ainsi, en application directe de ces définitions et des cas d'étude, nous avons identifié cinq points invariants :

1. les informations sont utiles dans notre domaine d'application,
2. les informations sont à jour dans notre domaine d'application,
3. le système d'interprétation utilise les informations,
4. les supports d'informations sont adaptés au métier,
5. les évolutions des caractéristiques et des liens sont supportées.

2.3 Comment supporter les connaissances métier ?

Maintenant, nous disposons de définition de la connaissance, et de ses caractéristiques, nous savons qu'il existe des invariants, regardons comment répondre à une partie de notre interrogation : comment supporter les connaissances métier ?

Comme notre action conduit à un ensemble d'activités et de processus associés, nous proposons de décliner les invariants des connaissances lors de la construction et application de notre modèle.

1) Pour traiter le premier invariant (informations utiles dans le domaine) nous pensons qu'il est nécessaire de cibler sur quoi va porter notre modèle. Pour ce faire nous proposons de :

Comprendre le domaine précis dans lequel la qualification et l'amélioration doit se faire. Vis-à-vis d'un objectif particulier dans ce domaine, trier les informations qui y sont liées de celles qui ne le sont pas. Ce travail de tri est réalisé en comprenant le métier. Nous préconisons de pratiquer le métier et d'interroger les différents acteurs y intervenant. Ce travail est très proche de celui de la construction d'un modèle conceptuel informatique.

2) Pour traiter le second invariant (informations à jour dans le domaine), nous pensons lier les méthodes et outils de qualification et d'amélioration aux événements se déroulant sur ce domaine et ainsi les rendre dynamiques. L'évènementiel n'est plus traité par une activité ou un processus spécifique (gestion des changements par exemple) mais il est pris en compte comme un point d'entrée des différentes activités et intégré dans leur fonctionnement. C'est par ce point que nous voulons introduire notre modèle au sein de l'organisation.

3) Pour traiter le troisième invariant (système d'interprétation utilisant les informations), nous structurons les activités et leurs liens de telle manière à ce que ces informations soient réemployées systématiquement. L'implication managériale est également sollicitée pour susciter l'emploi de ces informations.

4) Le quatrième invariant (supports d'information adaptés au métier) est pris en compte au niveau du déploiement des activités : les supports des informations manipulées par les activités doivent être outillés et intégrés dans une large mesure, permettant ainsi une facilité d'accès aux informations et donc à leur réutilisation. C'est souvent en pensant à ce point en premier que l'organisation cherche à résoudre ses problèmes d'intégration. Nous devons donc être particulièrement vigilant à ne pas contraindre la vision que nous allons construire par les outils, mais bien en utilisant ou fabriquant les outils adaptés à cette vision.

5) Le cinquième invariant (support de l'évolution des connaissances) est traité dans l'anticipation systématique de certaines évolutions. L'application de notre modèle modifie les connaissances (c'est-à-dire les caractéristiques de leurs composantes ainsi que de leurs liens). Il est nécessaire d'aller dans le sens de cette modification. Dans le cas contraire le déploiement du modèle peut être mis à mal. Nous anticipons de manière systématique les évolutions suivantes :

- Le système d'interprétation change pour passer de l'individu au groupe : il y a diffusion de la connaissance. Pour ce faire nous proposons des rapports spécifiques et des réunions adaptées.

- L'information passe d'un caractère explicite à un caractère implicite. Il y a appropriation. Par l'intermédiaire de formations adaptées, nous pensons répondre à ce problème.
- L'information passe d'un caractère implicite à explicite. Il y a explicitation. Nous pensons supporter cette transformation :
- Par un appui auprès des personnes devant expliciter leurs informations
- En proposant une perspective d'explicitation qui supporte et ne remette pas en cause l'expertise.
- Par des synthèses, des formations, un support de terrain et managérial, nous pouvons anticiper trois types de changement : la diffusion, l'appropriation, l'explicitation. De manière plus générale, pour répondre à ce cinquième invariant, lorsqu'un développement et le déploiement d'une méthode ou d'un outil sont proposés, il est nécessaire de pouvoir répondre aux questions suivantes :
 - Quelles sont les évolutions des connaissances qu'ils engendrent ?
 - Ces évolutions sont-elles néfastes pour le métier ?
 - Dans le cas où les apports sont bénéfiques, comment supporter ces évolutions ?

Ainsi nous envisageons de supporter les connaissances métier par :

Une gestion de leurs caractéristiques :

- Une compréhension fine du domaine sur lequel va porter le modèle permet de se focaliser sur les informations pertinentes dans le domaine et d'outiller le support de ces informations.
- L'utilité, la mise à jour et l'emploi des connaissances sont obtenus par une construction de modèles, en lien avec les opérations de ce domaine, qui tiennent compte de son événementiel et qui réutilise au maximum les informations.

Une gestion de leur changement :

- La prise en compte, systématique lors de l'implémentation de chaque activité, de son impact sur les connaissances et, si nécessaire, d'une adaptation de la façon dont elle est réalisée.
- Par des formations permettant d'intégrer ces changements
- Par un support opérationnel, permettant quotidiennement de mieux vivre ce changement.
- Une implication managériale permettant d'inciter et d'entretenir le changement.

Dans la suite du chapitre, nous construisons notre modèle pour le « process control ». Les activités tiendront compte des recommandations ci-dessus et notamment du réemploi systématique des informations. Cependant c'est lors de l'implantation de ce modèle, que le support des connaissances métier devient effectif. Les connaissances seront plus ou moins bien supportées par le choix :

- du domaine sur lequel se focaliser,
- des méthodes et outils supportant les activités,

- de la capacité à offrir un support et des formations adaptées.

3 La construction des activités du «process control»

Le modèle précis du domaine sur lequel les activités sont basées est présenté en ANNEXE 5. Il vient préciser finement celui présenté au CHAPITRE I. Sa présentation n'est cependant pas directement utile pour soutenir notre propos.

Différentes activités peuvent être présentées en synthèse des deux cas d'étude ainsi que des études bibliographiques sur le «process control».

Notre méthodologie de gestion des risques, chapitre 2, fait apparaître, par élément, 3 activités :

- Collecter les évènements
- Gérer les risques opérationnels
- Synthétiser les risques opérationnels

La constitution de ces 3 activités a été une démarche d'amélioration du processus de gestion des risques opérationnels dans le sens où il a permis de connecter l'évènementiel à la gestion des risques et de créer des liens entre les différents niveaux de gestion, à travers l'emploi des typologies. Ces boucles permettent le retour d'expérience et l'anticipation des problèmes importants.

La mise sous surveillance des moyens généraux, chapitre 3, a permis de mettre en évidence quatre activités au cœur de cette démarche :

- Collecter des données
- Analyser on line
- Analyser off line
- Réaliser des synthèses.

La constitution de ces quatre activités a permis notamment de préciser l'emploi des qualificatifs on-line et off-line.

Ainsi en synthèse des cas d'études nous en déduisons 5 activités :

- Collecter
- Analyser off line
- Gérer les risques
- Analyser on line
- Synthétiser

<p>Ces cinq activités constituent le cœur de notre proposition et structurent notre vision stratégique pour le « process control ».</p>
--

Nous présentons Figure 62 la vue synthétique des activités de «process control» dont le détail est donné dans cette partie.

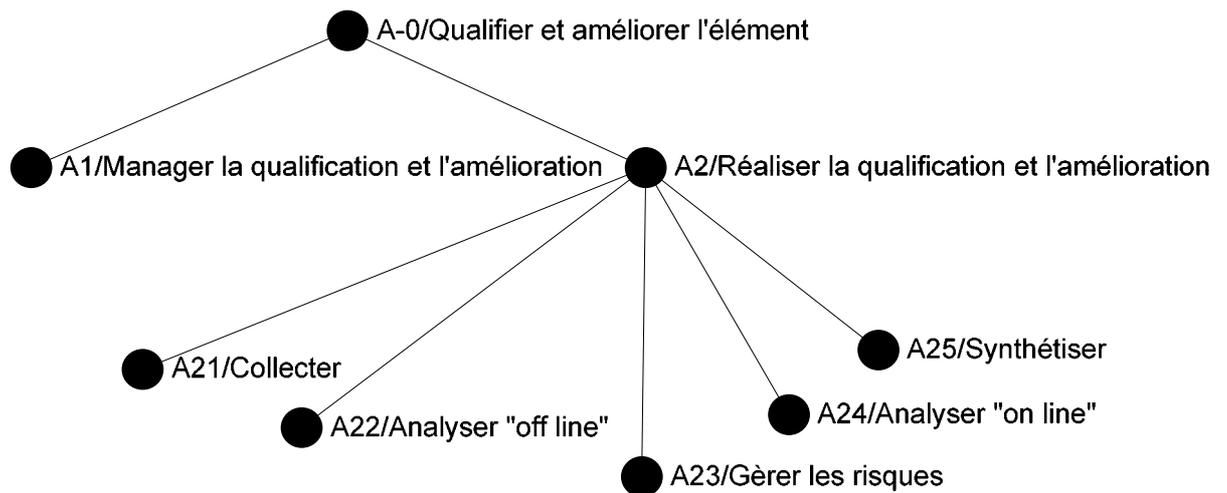


Figure 62. Arborescence de décomposition des activités du «process control».

Dans la suite du paragraphe, nous **construisons** de manière **ascendante** ces activités et leurs liens. Nous présentons le détail de l'activité A2, dans l'ordre : A21, A22, A23, A24 et A25, puis A1 et enfin A-0. Cette partie se termine par une synthèse vis-à-vis de notre problématique.

3.1 A21 / Collecter

Dans les deux cas d'étude, nous avons identifié une activité de collecte. Dans le premier cas, elle porte sur la collecte des événements des éléments⁴⁰ de l'appareil de production. Dans le second cas, la collecte porte sur des données on line et off line des machines et des procédés.

La notion de collecte est également confirmée dans l'étude bibliographique sur le «process control». Mais les cas d'étude liés à l'intelligence artificielle soulignent la nécessité de collecter également des connaissances. L'emploi de systèmes experts ne peut se faire uniquement sur une génération automatique des règles. L'extraction de règles à partir de données ne vient que confirmer et garnir des règles préalablement établies. Deux interventions humaines sont pour cela nécessaires :

- Le cogniticien qui gère le système
- Les experts métiers qui vont fournir les règles de base pour le système.

Pour la majorité des systèmes experts, le travail de collecte des connaissances d'experts est réalisé lors d'entretiens entre les experts et un cogniticien. Il y a une forme de collecte de connaissances.

⁴⁰ Pour mémoire, un élément est un module de technologie, un procédé, une famille de machines.

Comme les connaissances ne peuvent pas être directement collectées, ce sont les informations qui servent à leur constitution qui sont en fait collectées. Cette étape de formalisation des connaissances d'experts peut être modélisée par une étape de collecte des informations. Elle est contrôlée par la méthode de collecte et réalisée par le cognicien aidé éventuellement d'outils. Collecter des règles à partir d'êtres humains peut présenter des difficultés. Elles peuvent être résumées dans une information représentative du déroulement de cette collecte.

Par abus de langage, elle est désignée comme étant de la collecte de connaissances. Il s'agit, en fait, d'informations structurées, pouvant être interprétées par des systèmes semblables à des moteurs d'inférences. Au vu de l'importance que revêt cette collecte pour les outils utilisant ces informations pertinentes et au vu de la masse de travail à fournir pour faire ce travail d'explicitation, nous considérons que c'est une activité à part entière. Nous la représentons dans l'activité A213 /« *Collecter des informations* ».

Ainsi, en intégrant les modèles des deux cas d'étude et cette réflexion, nous pouvons présenter, Figure 63, l'activité A21/ « *collecter* ».

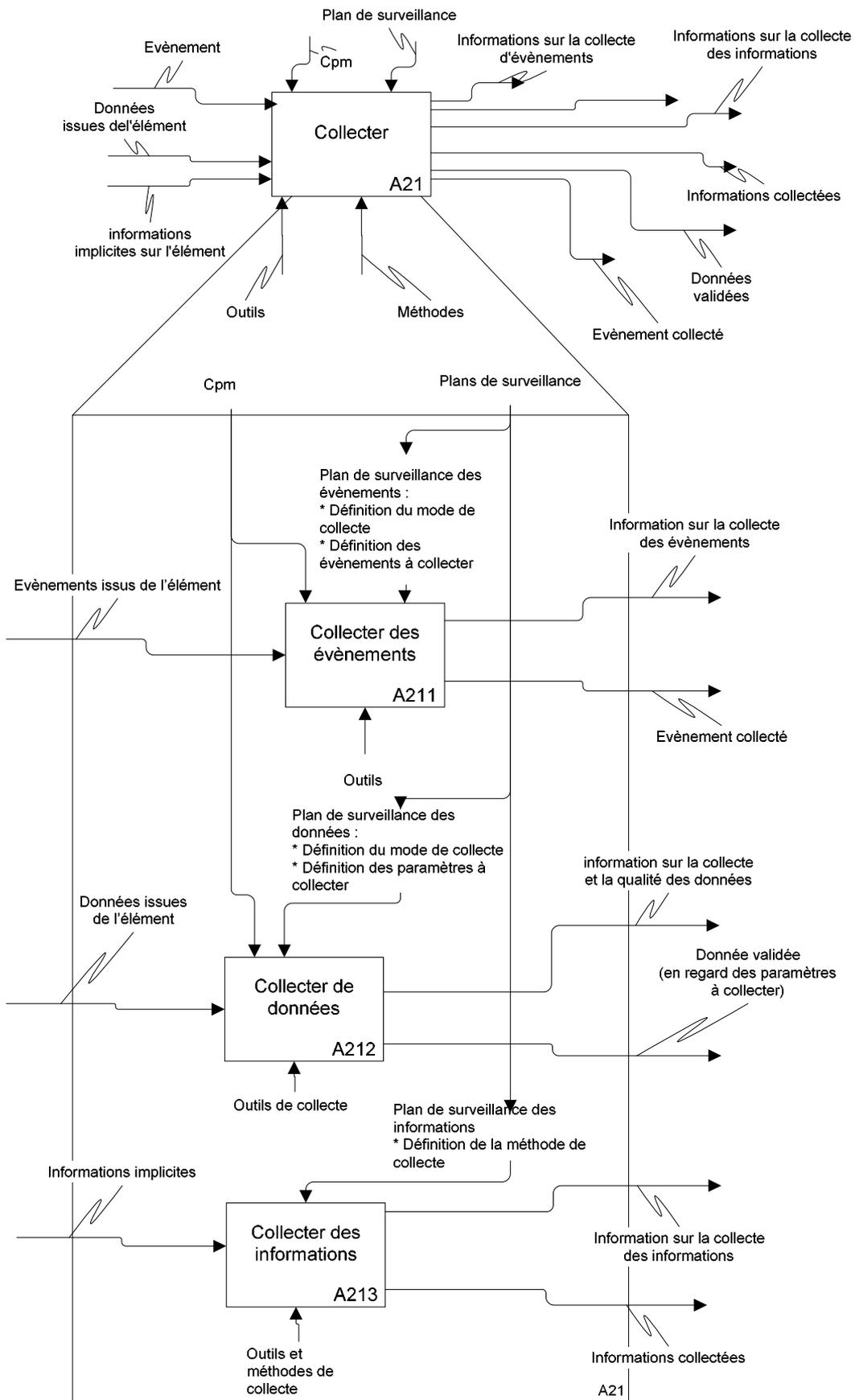


Figure 63. Activité de collecter.

3.2 A22 / Analyser off line

La deuxième activité présentée s'appelle « analyser off line ». Elle a été identifiée lors du cas d'étude sur les moyens généraux présenté en CHAPITRE III.6.1.2, page 103.

La collecte d'informations, précédemment évoquée, impacte cette activité. Avant d'être interprétées et de former des connaissances, les informations collectées doivent être validées. Pour des règles tirées à partir de données, la validation se fait en deux temps : une analyse des règles puis leur évaluation en regard de règles d'interprétation. Dans les cas où ces supports ne sont pas validés alors il est préférable de relancer une collecte ou de créer un plan d'action d'amélioration des informations à disposition (formation, cibler un autre expert, changer de méthode de collecte...).

De chaque sous activité de l'analyse off line peut sortir un ensemble d'informations qui ne sont pas représentées. Elles sont regroupées au niveau A22 dans une sortie appelée informations sur l'activité « analyser off line ».

Par ces réflexions et par le résultat du cas d'étude sur les moyens généraux, nous proposons l'activité A22 / « *analyser off line* » illustrée en Figure 64.

L'activité de collecte transforme des données, d'évènements, ou d'informations implicites sur l'élément en évènements collectés, données collectées, informations explicites, par le biais de méthodes et outils spécifiques et sous contrôle d'un plan de surveillance. Il ressort de cette activité un ensemble d'informations sur la collecte.

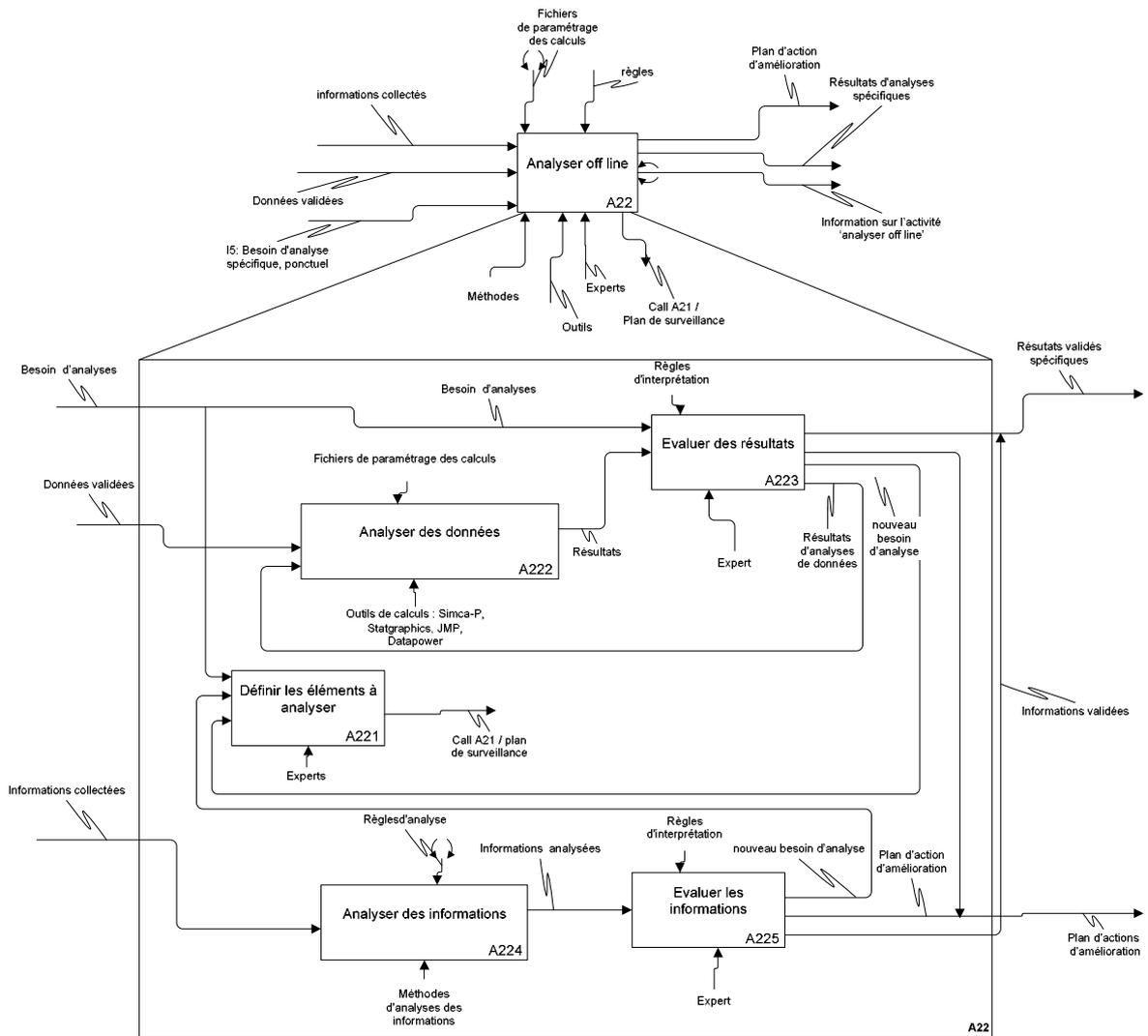


Figure 64. Activité d’analyser “off line”.

3.3 A23 / Gérer les risques

La troisième activité que nous présentons a été identifiée et étudiée lors du cas d’étude sur la gestion des risques, CHAPITRE II.8.1, page 57. Elle s’appelle « Gérer les risques » et nous la présentons en Figure 65.

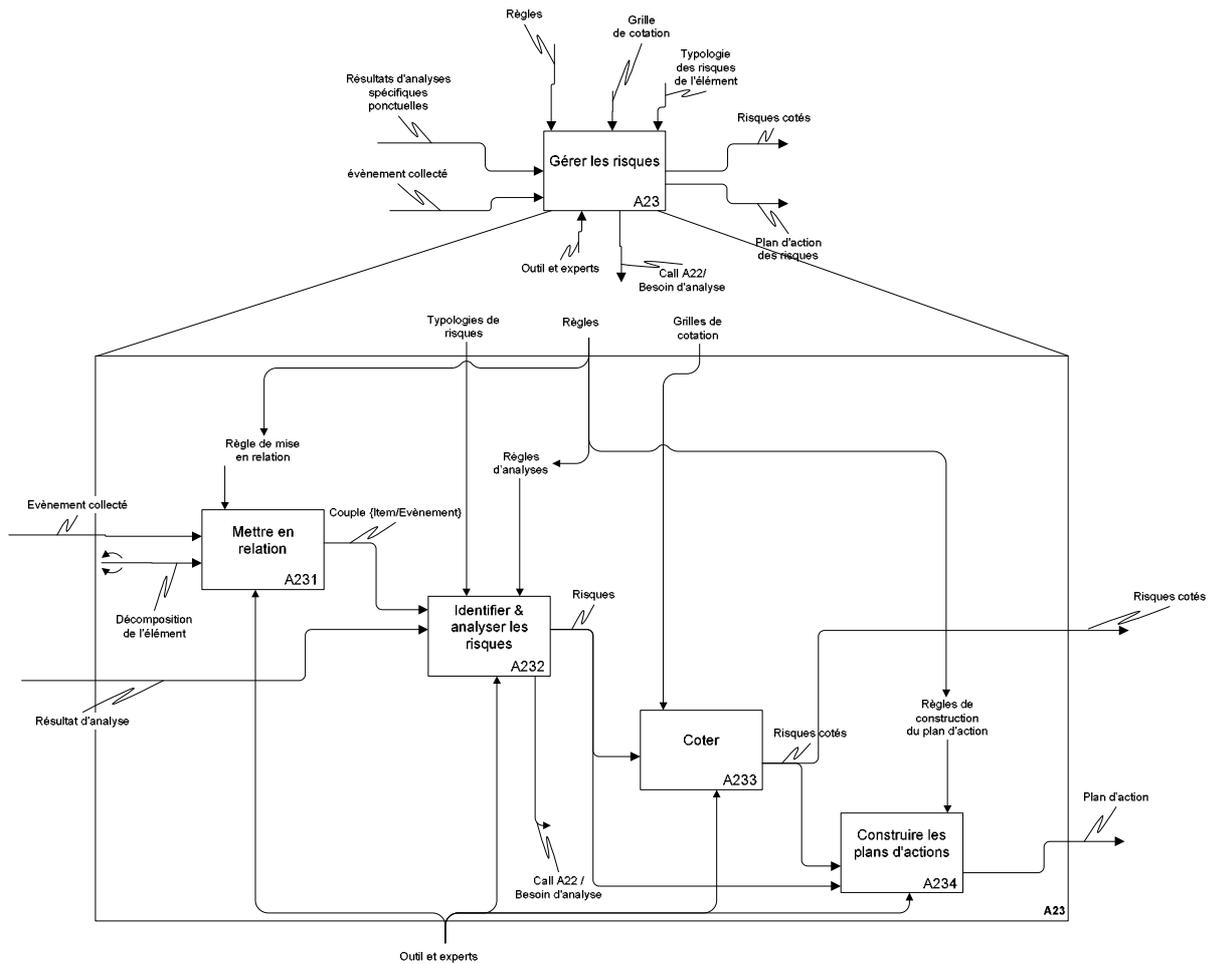


Figure 65. Activité de gérer les risques.

Nous présentons cette activité comme une intégration des AMDEC et des 8D puisque l'identification et l'analyse des risques est mise dans la sous activité A232. Les typologies des risques sont générées à partir des risques lors de l'activité de synthèse que nous présentons dans les deux paragraphes suivant.

3.4 A24 / Analyser on line

La quatrième activité que nous présentons est un résultat direct du cas d'étude sur les moyens généraux présenté en CHAPITRE III.6.1.3. Il s'agit de l'activité « analyser on line ». L'aspect connaissance qui y était mentionné est cependant transformé, vu notre définition de la connaissance, en information validée.

Le calcul des histogrammes, de Cp, de Cpk et des limites de contrôle est une partie intégrante de l'analyse des données en temps réel. Il se base cependant sur un historique de données qui crée une ambiguïté sur leur appartenance à l'activité « on line ». Ils pourraient en effet être rattachés à l'activité d'analyser « off line ». Dans cette thèse nous les considérons néanmoins comme une part intégrante de l'analyse « on line ». Nous voulons que la MSP se retrouve dans cette activité, vu son importance dans le contrôle d'une ligne de production. Les analyses, telles celles présentées dans la première partie de

ce chapitre basée sur l'intelligence artificielle, restent très marginales dans leurs application. La plupart des problèmes de dérive des moyens de production sont traités par les outils statistiques classiques. C'est pourquoi les activités de suivi par cartes de contrôle et leurs calculs sont placés dans cette activité.

Nous présentons Figure 66 l'activité A24 Analyser « on line », comme une intégration du résultat de CHAPITRE III.6.1.3 et de ses réflexions.

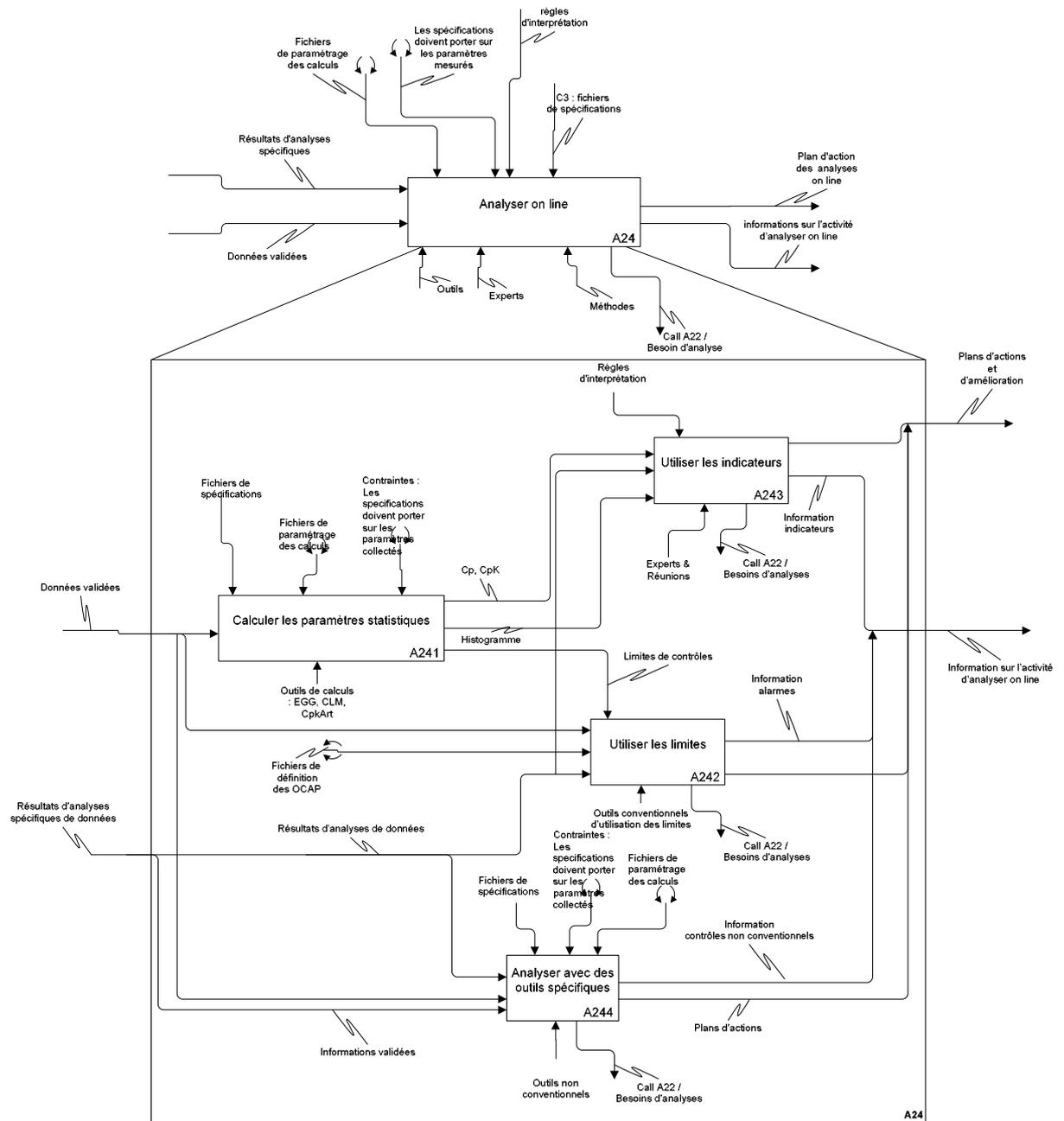


Figure 66. Eléments constitutifs de l'activité d'analyser « on line » .

3.5 A25 / Synthétiser

Dans cette partie, nous présentons l'activité permettant de réaliser les synthèses et donc de fournir un certain nombre d'informations au cœur de la qualification. Des éléments bibliographiques sur le «process control», la synthèse reste un élément marginal. En revanche, les deux cas d'étude montrent l'activité de synthèse comme importante.

Nous avons vu que la synthèse des risques est un élément fondamental. Cette activité permet de fournir :

- le plan de surveillance de l'élément analysé. Habituellement, il est fourni par l'expérience des personnes en charge de l'élément à contrôler.
- les typologies des risques.
- Les zones sensibles de l'élément analysé.

Lors de la mise sous contrôle des moyens généraux, « collecter » et « analyser on line » possèdent naturellement leurs synthèses. Nous avons proposé de réaliser également la synthèse sur l'activité d'analyser « off line ». Cette synthèse n'existe pas et permet de répondre aux questions :

- Réalise-t-on beaucoup de plans d'expériences ou non ?
- Quel est le degré de couverture des gammes opératoires par le nombre de plans d'expérience ?

A partir de ces deux cas d'étude, nous construisons l'activité : « synthétiser », nommée A25, qui regroupe ces différentes activités de synthèse. Par élément, elle fournit les informations sur leur comportement et leur niveau de maîtrise. Nous la représentons dans le schéma de la Figure 67.

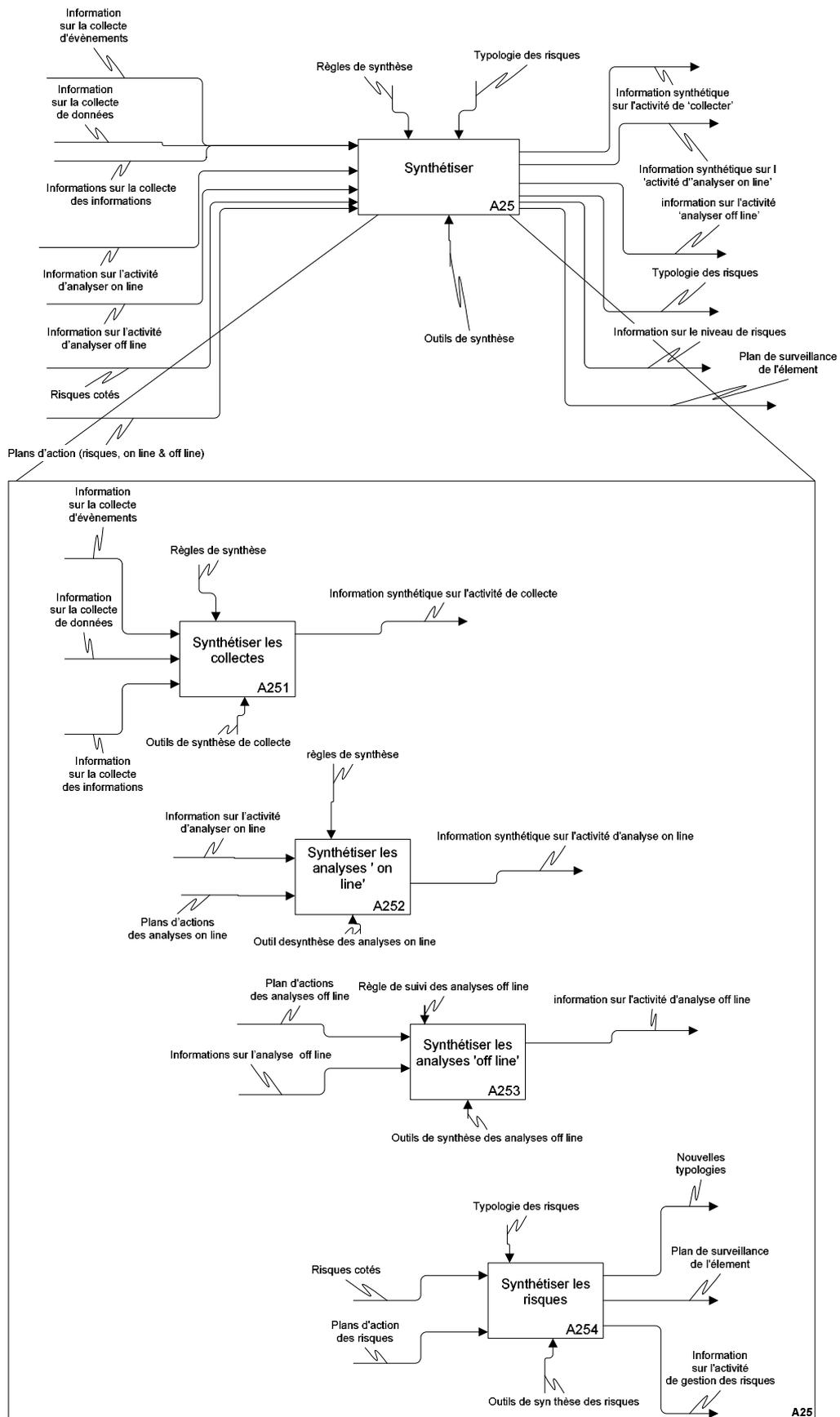


Figure 67. Activité de synthèse.

3.6 La vue A2/ « Réaliser la qualification et l'amélioration »

Nous venons de présenter les 5 activités au cœur du « process control » : **C**ollecter, **A**nalyser off line, **g**érer les **R**isques, **A**nalyser on line, **S**ynthétiser.

Nous présentons ici les liens qui existent entre ces 5 activités. Lorsque le lien entre deux activités est basé sur un échange d'information (comme c'est le cas par exemple pour l'échange du plan de contrôle), il y a une garantie de réutilisation de l'information. Si ces deux activités liées sont déployées et que le lien est également respecté alors nous contribuons aux invariants sur les connaissances. Nous participons ainsi à supporter les connaissances métier.

Nous construisons les liens à partir des activités A2X, où X varie dans {1,..5}. Nous notons trois types de liens :

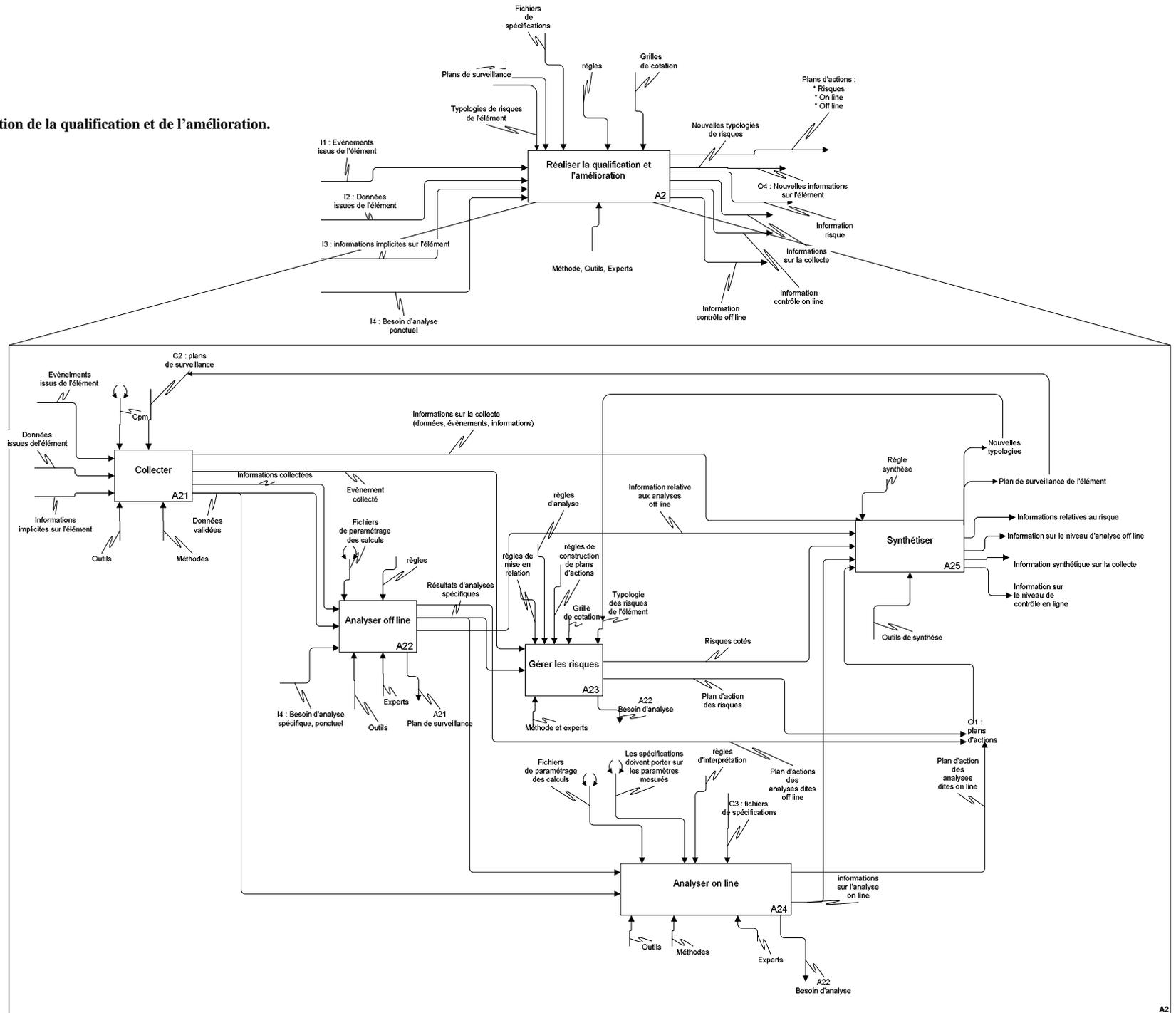
- Le premier est le lien classique entre deux activités : la sortie d'une activité est l'entrée, le contrôle ou la ressource d'une autre. Ces liens traduisent :
 - L'alimentation des activités par la collecte
 - L'utilisation des résultats pour la synthèse
 - L'emploi des résultats des analyses off line dans les autres activités

- Le second est lié aux interactions entre des activités. Deux activités de niveau 3 peuvent communiquer alors qu'elles sont dans deux activités différentes, au niveau 2. Nous le modélisons par un appel nommé « call ». Ce type de lien est réalisé entre :
 - « analyser on line » et « analyser off line » : Il traduit le besoin d'analyse durant l'analyse on line
 - « gérer les risques » et « analyser off line » : Il traduit le besoin d'analyse durant la gestion des risques
 - « analyser off line » et « collecter » : Il traduit la transformation d'un besoin d'analyse en un plan de collecte de données

- Le troisième lien est une rétroaction au niveau des contrôles :
 - L'activité « synthétiser » fournit de nouvelles typologies de risques.
 - L'activité « synthétiser » fournit le plan de surveillance de l'élément en fonction des risques qui ont été gérés.

Le détail des liens est présenté en Figure 68.

Figure 68. Activité de réalisation de la qualification et de l'amélioration.



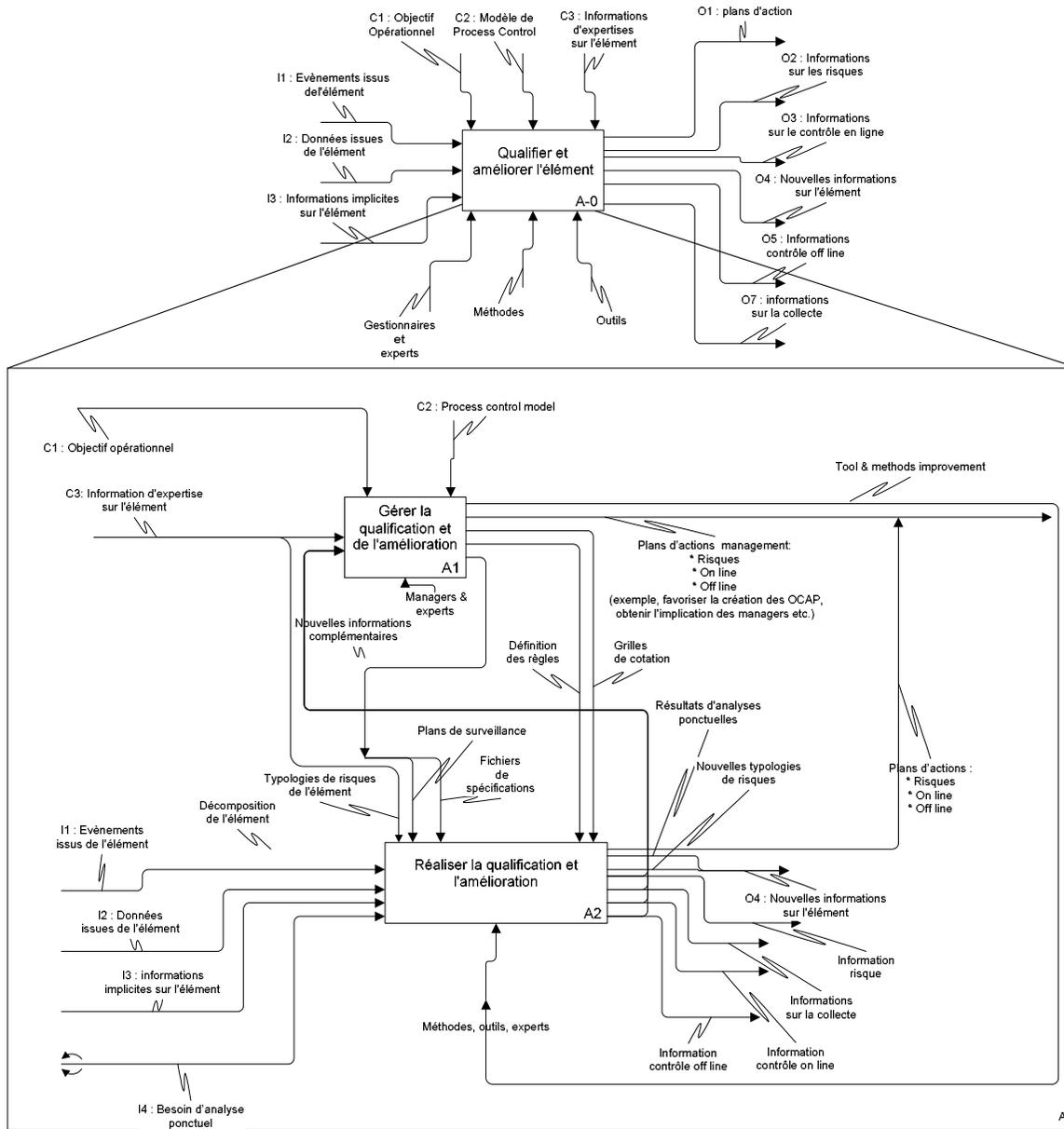


Figure 69. Qualifier et améliorer un élément.

3.7 Vue A-0 / Qualifier et améliorer l'élément

A présent, nous disposons des activités permettant de réaliser la qualification et l'amélioration.

Comme tout groupe de l'organisation, le «process control» est géré. Ce management se retrouve dans notre modèle au travers de l'activité « gérer l'amélioration et la qualification ».

Cette activité, que nous présentons en Figure 69, a pour contrôle un autre niveau de management, qui définit les objectifs opérationnels de l'élément et qui sort du cadre d'étude de cette thèse. En fonction des informations disponibles sur l'élément (expertise et retour d'informations) et en déclinant les objectifs opérationnels, les managers et experts, définissent les règles de la qualification et de l'amélioration de l'élément, (grilles de cotations, règles etc.)

Ils appliquent également certains plans d'actions qui leur sont spécifiques : l'organisation matérielle ou l'embauche de personnels, par exemple.

Ainsi l'interaction entre l'activité de « réaliser la qualification et l'amélioration » et son activité de management, peut qualifier et améliorer un élément en regard d'objectifs

Remarque : L'entrée I4 n'est pas reportée au niveau supérieur puisqu'elle ne sert pas à la compréhension du modèle. Avoir un besoin ponctuel d'informations sur l'appareil de production n'est intéressant qu'au niveau de la réalisation de la qualification et de la maîtrise.

3.8 Synthèse sur la partie « activités »

Lorsque nous avons établi la problématique, le seul modèle de « process control » à notre disposition (cf. Chapitre 1) était difficile à comprendre. Il ne permettait pas d'avoir une vision claire et structurante. A présent, pour chaque élément des moyens de production, nous disposons de l'activité « qualifier et améliorer un élément » décomposée jusqu'au troisième niveau. Nous l'avons construite à partir des deux cas d'étude ainsi que de la bibliographie sur le process control.

Comme nous l'avons vu les caractères dynamique, opérationnel, supportant les connaissances métier sont apportés essentiellement lors de l'application de cette activité. Mais, elle est cependant conçue pour les favoriser :

- Par les liens très nombreux entre les sous activités, les informations métier, qui sont à la base des connaissances métier, sont très fréquemment réemployées.
- Le côté dynamique est également favorisé par la collecte qui est axé sur l'évènementiel de l'élément. Ainsi, il est possible de qualifier et mettre sous contrôle tout évènement susceptible d'être collecté.
- L'aspect opérationnel est assuré par la cohérence entre les contraintes (et leur décomposition) imposées aux activités et le domaine d'application. En effet, il ne viendra pas à l'idée de suivre la fréquentation du site Internet de l'entreprise si l'objectif opérationnel est le Production Fab Yield. En revanche les opérations étant centrées sur le Production Fab Yied, seuls les évènements qui impactent cet indicateur sont collectés.

A partir de cette activité A-0 et de ses déclinaisons, nous proposons de qualifier et améliorer, chaque élément de notre domaine, de manière opérationnelle, dynamique, en supportant les connaissances métier.

4 Les processus métier du «process control»

Regardons à présent plus en détail l'aspect dynamique. Nous allons voir, au travers des processus métiers, comment le caractère dynamique est pris en compte. Nous comprenons ce caractère comme la capacité à tenir compte des changements voulus ou involontaire de l'appareil de production.

4.1 Description des processus de qualification et d'amélioration d'un élément

Nous gardons dans cette partie le découpage du domaine en éléments et raisonnons dans ce cadre de l'élément. Dans la suite, X désignera un élément :

- Module.
- Procédé.
- Machines.

Dans les deux cas d'étude, nous avons identifié plusieurs processus :

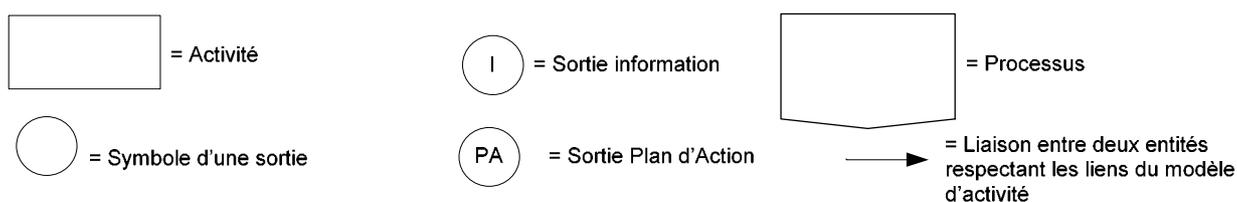
- Lors de la gestion des risques, deux processus ont été identifiés : la mise sous contrôle des risques et l'analyse systématique des risques.
- Lors de la mise sous contrôle des moyens généraux, deux processus ont également été présentés, celui d'analyse off line, et le processus d'analyse on line.

Dans cette partie, nous ne présentons que 3 processus :

- L'analyse off line
- L'analyse on line
- La gestion des risques

D'autres enchaînements d'activités peuvent être imaginés mais nous ne retenons que ces trois là qui recoupent notre expérience des cas d'étude, la dimension dynamique du process control.

Dans cette partie nous voulons représenter explicitement des bouclages entre les activités. Cette modélisation ne nous est pas permise avec l'outil⁴¹ de modélisation des processus suivant IDEF3. Aussi, le formalisme employé pour représenter les processus est représenté Figure 70.



⁴¹ ©ProCap 6.0

Figure 70. Formalisme employé pour représenter les processus.

Pour ne pas surcharger le schéma nous supposons que chaque lien entre les activités respecte le modèle d'activité A-0 c'est-à-dire qu'ils sont des flux au sens IDEF3.

4.1.1 Processus des analyses off line

a) Description du processus :

Le processus d'analyse off line est structuré comme celui que nous avons identifié lors du cas d'étude sur la mise sous contrôle des moyens généraux (voir Figure 56 page 109). Il part d'un besoin d'analyse spécifique. Ce besoin est transformé en plan de contrôle ou surveillance par l'activité *A22/Analyser off line*. Il est appliqué à la collecte de données par l'activité *A21/Collecter*. Une fois collectées, les données peuvent être re-analysées dans *A22/Analyser off line*. Deux possibilités :

- soit l'analyse aboutit et il en sort un plan d'action ou des informations directement utilisables (pour en faire des connaissances).
- soit il faut changer la collecte en modifiant le plan de surveillance.

Après l'étape de synthèse, il ressort des informations relatives à l'analyse off line.

Ainsi en entrée du processus se trouve un besoin d'analyse d'un élément X et en sortie un plan d'action et au moins deux informations. Nous le notons BPX.1, et le représentons Figure 71.

b) Contribution du processus à la qualification et à l'amélioration des moyens de production :

Les analyses off line sont utilisées pour caractériser de manière statistique, par exemple, le comportement de variables spécifiques d'un élément. Dans le cas où les informations sont des résultats de plans d'expériences les analyses fournissent des points de fonctionnements.

Dans ces deux cas, la qualification est évidente puisqu'elle permet un apprentissage qui n'existait pas auparavant.

L'amélioration est liée à l'optimisation réalisée et à la fonction de désirabilité optimisée dans les plans d'expériences. Le nouveau point de fonctionnement optimise une fonction particulière. Son application permet ainsi d'améliorer l'élément de production en regard de cette fonction.

Nous présentons ce processus bien qu'il ne soutienne pas directement le côté dynamique car il est complètement intégré aux pratiques du process control, telles que nous les vivons. Nous allons voir qu'il est également intégré dans les deux autres processus.

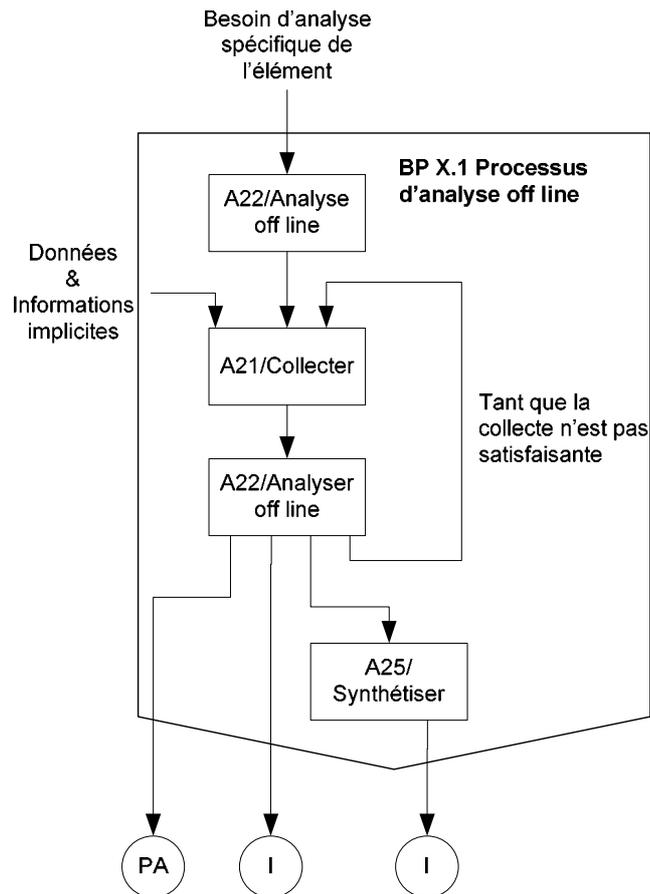


Figure 71. Processus d'analyse off line.

4.1.2 Processus de gestion des risques

a) Description du processus :

Comme nous l'avons vu Figure 17 page 60, pour ne pas être statique, la gestion des risques doit être connectée à l'évènementiel des moyens de production. Chaque évènement se passant sur l'élément, doit être collecté et traité par l'activité adéquate.

L'évènement est collecté par l'activité *A21/Collecter*, puis traité par *A23/Gérer les risques*. Une demande d'analyse peut alors être faite, traitée par BPX.1. Il ressort de *A23/Gérer les risques*, un ensemble de plans d'action permettant la prise en compte des risques. La synthèse est faite dans *A25/Synthétiser* pour en ressortir :

- Une information sur le niveau de risque suite à cet évènement
- De nouvelles typologies de risques
- Ce processus est appelé BPX.2 et représenté le schéma Figure 72.

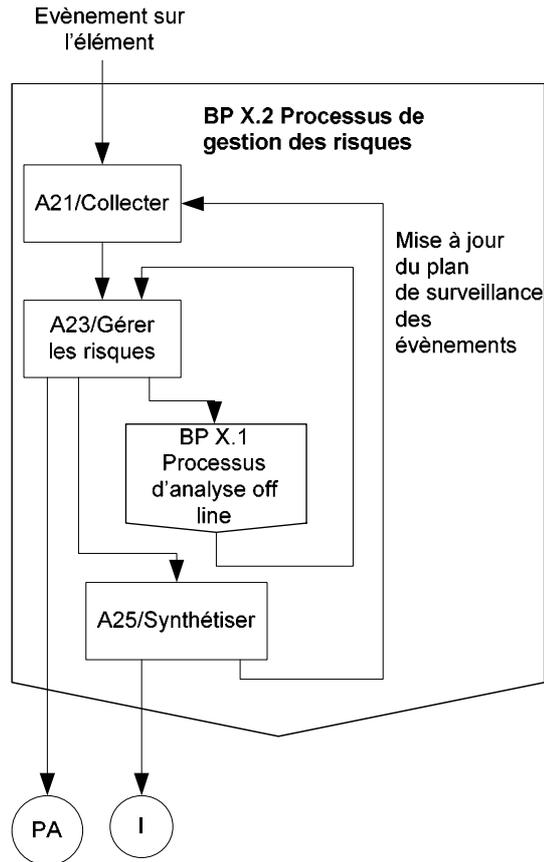


Figure 72. Scénario de gestion des risques.

b) Contribution du processus à la qualification et à l'amélioration des moyens de production :

- A la sortie de ce processus, il y a un ensemble de plans d'action, de nouvelles typologies et des informations sur le niveau de maîtrise des risques de l'élément.

Notons :

- $R_{>seuil}$ l'ensemble des risques dont la gravité dépasse un certain seuil.
- F l'application traduisant la réalisation des plans d'action. Hypothèse : Si les plans d'actions sont bien pensés alors la gravité des risques diminue réellement. Cela se traduit par la relation :

$$\text{Card } R_{>seuil} \gg \text{Card } F(R_{>seuil}).$$

Comme la gravité d'un risque est définie en regard d'un objectif opérationnel, cette baisse, garantit la diminution des freins à l'atteinte de l'objectif opérationnels. L'**amélioration** de l'élément est donc **garantie** en regard de cet objectif opérationnel. Elle est réelle lorsque les analyses sont exhaustives et les plans d'actions appliqués.

La qualification se fait au travers des informations issues de l'activité de synthèse.

Comme la gestion des risques est faite vis-à-vis d'un risque opérationnel, il y a autant de processus BPX.2 que d'objectifs opérationnels. Le traitement des objectifs opérationnels contradictoires, s'inscrit dans le prolongement de nos travaux.

Des connaissances peuvent être tirées des informations délivrées par ce processus. Les plans d'actions contribuent directement à améliorer l'élément. Basé sur l'évènementiel de cet élément ces deux aspects sont directement connectés à son évolution. La qualification et l'amélioration sont donc dynamiques.

4.1.3 Processus des analyses on line

Dans cette description, nous ne parlons pas de la collecte des informations qui n'est pas une fin en soi, mais une action ponctuelle pour alimenter les outils spécifiques d'analyse on line.

a) Description du processus :

Ce processus est structuré comme celui que nous avons identifié lors du cas d'étude sur les moyens généraux (cf. Figure 71 page 147)

Un flux de données de l'élément est collecté par l'activité *A21/Collecter*. Il est analysé par l'activité *A24/Analyser on line*. Des analyses spécifiques complémentaires peuvent être faites par *BPX.1*. A l'issue de *A24/Analyser on line*, des plans d'action peuvent être émis. *A25/Synthétiser* fournit des informations relatives au niveau de maîtrise de la variabilité de l'élément.

Ce processus est appelé *BPX.3* et représenté Figure 73.

b) Contribution du processus à la qualification et à l'amélioration des moyens de production :

En terme d'information le processus délivre la liste des paramètres non maîtrisés. Il est en ce sens un moyen de connaître les points faibles de l'élément X mis sous surveillance.

Notons A l'ensemble des variables au $Cpk < 1,33$ et F_{A24-1} la fonction d'application des plans d'action d'amélioration des Cpk sur A.

Card A \gg Card $F_{A24-1}(A)$. Autrement dit, après application des plans d'actions d'amélioration des variables, leur Cpk augmente. Leur variabilité est donc maîtrisée. L'amélioration passe par la réduction des variabilités de l'élément sous surveillance.

Notons B l'ensemble des variables Hors Contrôle et F_{A24-2} la fonction d'application des OCAP (Out Of Control Action Plan) sur B.

Card B \gg Card $F_{A24-2}(B)$. Un grand nombre de dérives et d'éléments non maîtrisés ont été interceptés. L'amélioration est donc réalisée a posteriori.

Des informations délivrées par *A25/Synthétiser*, des connaissances peuvent être tirées sur la qualification de l'élément. Les plans d'actions contribuent directement à améliorer l'élément. Basé sur les données collectées de l'élément, ces deux aspects sont directement connectés à son évolution. La qualification et l'amélioration sont donc dynamiques.

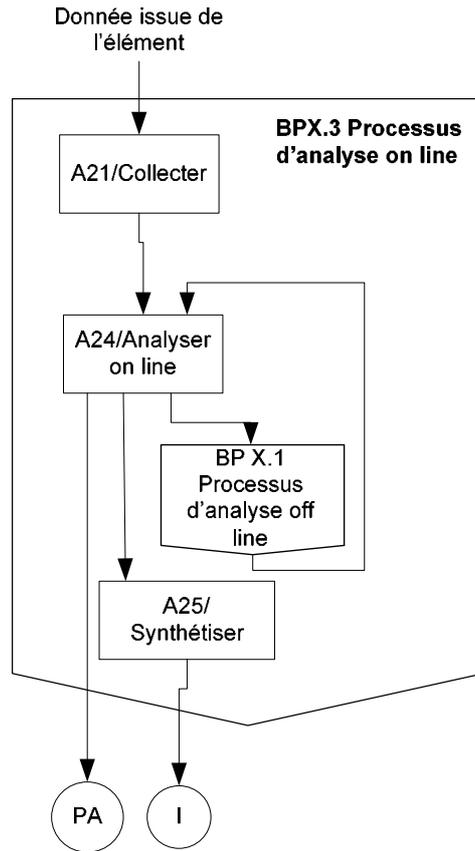


Figure 73. Scénario des analyses on line.

4.1.4 Conclusion

A partir des informations issues des trois processus, le management du «process control» peut également conduire des plans d'action. Ils sont de nature particulière car ils peuvent agir sur la constitution des paramètres ainsi que sur la nature des liens entre les activités.

Nous avons ainsi, par élément et par objectif opérationnel, au moins trois processus mettant en œuvre les activités de process control. Ces activités sont ancrées sur l'évènementiel de l'élément. Le caractère dynamique du «process control» trouve majoritairement ses fondements dans ces processus.

Ainsi nous pouvons représenter le processus illustratif du «process control» sur un élément X. Nous l'appellerons BP X et le représentons Figure 74.

Les entrées et les sorties de ce processus sont identiques à celles de l'activité A-0 de qualifier et d'améliorer l'élément. Cependant, elle est vue ici sous l'angle temporel. La dynamique des liens entre les activités se révèle. Le «process control» est rythmé par la vie de éléments du domaine. Nous pensons être en présence de véritables Processus Métiers⁴².

⁴² En anglais Business Process, d'où la désignation par BP d'un processus

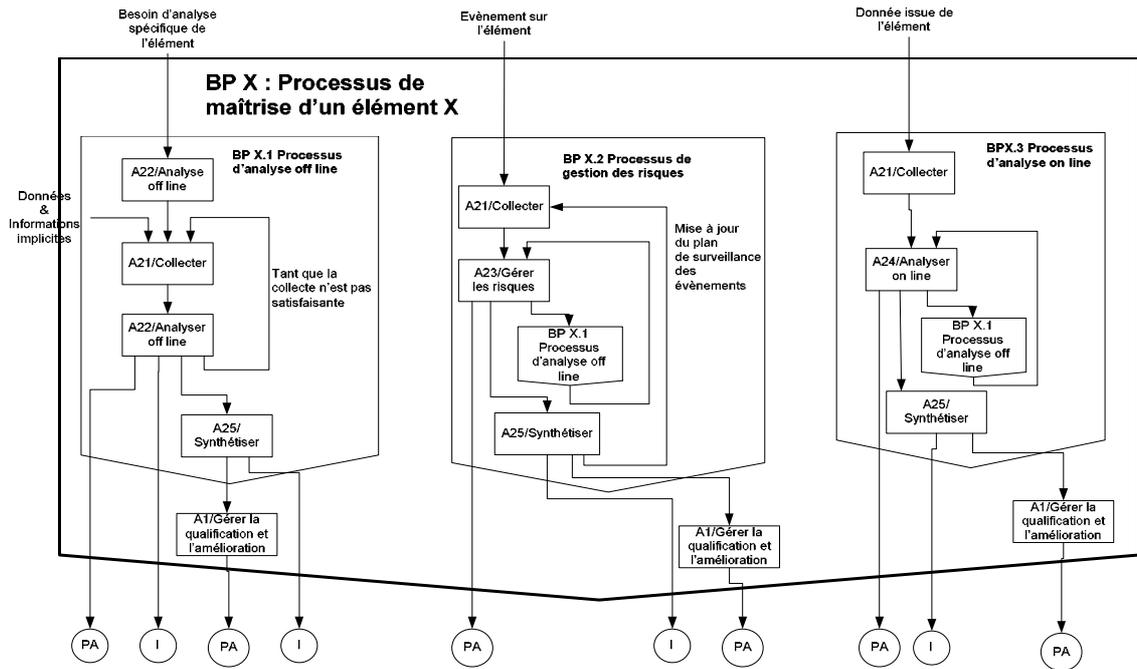


Figure 74. Processus de qualification et d'amélioration d'un élément.

4.2 Liens interprocessus

L'activité *A21/collecter* est contrôlée par un plan de contrôle. Pour chaque processus permettant de contrôler l'élément, il faut définir sur quoi porte la collecte. Pour BPX.1 et BPX.2 ce plan est défini de manière dynamique. En revanche, nous voyons que pour BPX.3 ce n'est pas le cas. Le plan de surveillance pour le processus d'analyse on line est défini à un niveau de management (en accord avec notre modèle d'activité) et qu'il n'est pas mis à jour en fonction de l'évènementiel de l'appareil de production. Or c'est justement ce caractère que nous recherchons. A quoi bon contrôler un paramètre si la mesure n'est plus représentative ou comment intégrer l'analyse on line d'un nouveau paramètre.

Pour le plan de surveillance d'un élément ressort de l'activité de synthèse de gestion des risques. Cette information est à réinjecter pour contrôler l'activité *A21/Collecter* de BPX.3. Nous proposons de lier le processus de gestion des risques avec celui d'analyse on line par le lien représenté Figure 75.

Ce lien est extrêmement structurant dans l'aspect dynamique. Si un outillage adapté permet de réaliser le processus de gestion des risques, alors le plan de surveillance est dynamique en fonction des risques. Si ce plan de surveillance est commun avec celui de la collecte, le processus d'analyse on line BPX.3 dépend des risques réellement encourus.

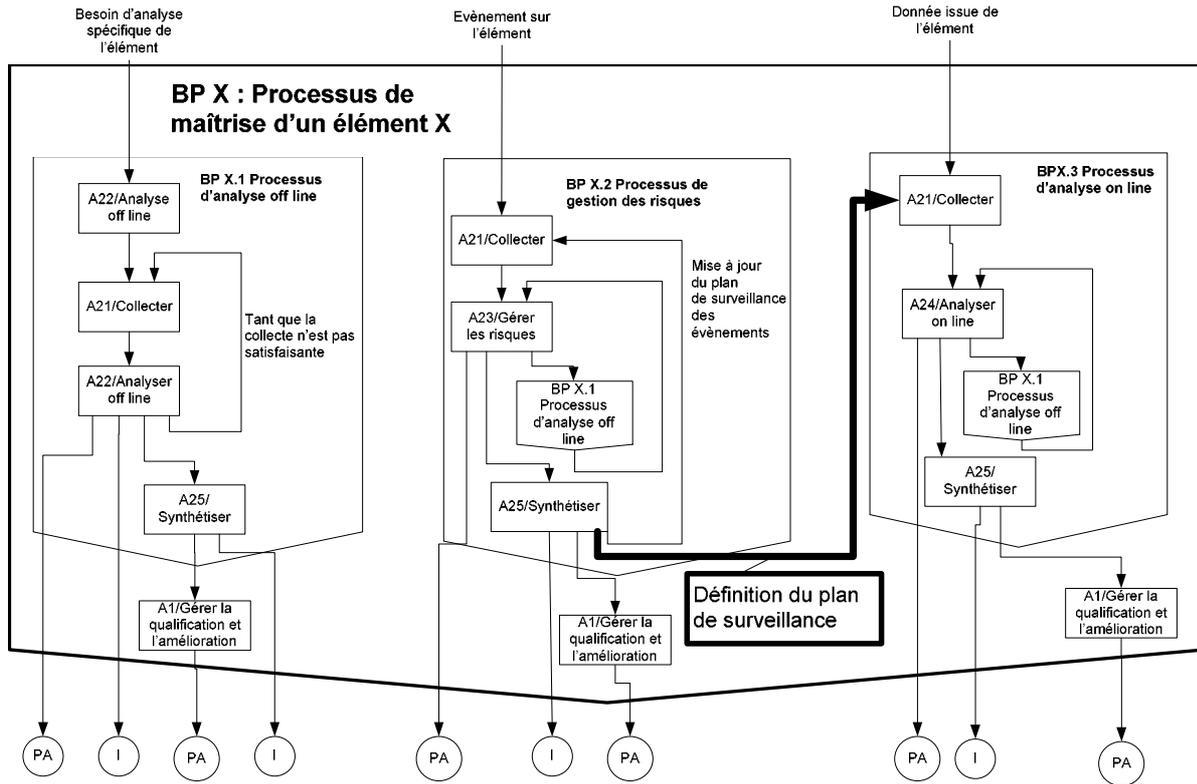


Figure 75. lien entre les scénarios de qualification et d'amélioration.

A l'heure de l'écriture de cette thèse, cette cohérence est suivie manuellement. Il est cependant envisagé de mieux la contrôler pour aller progressivement vers son « verrouillage ».

4.3 Maîtrise globale des moyens de production

Les processus précédemment modélisés ont montré leur intérêt pour apprendre à connaître chaque élément particulier et construire des plans d'action pour l'améliorer en regard d'objectifs opérationnels qui lui sont propres.

Or nous savons qu'il existe des liens entre les différents éléments. Regardons celui que nous avons étudié. Comme vu lors du cas d'étude sur la gestion des risques, le processus de gestion des risques a un impact sur les typologies de risques. Jusqu'à présent nous n'avons pas inclus ces informations dans nos processus. Nous avons vu CHAPITRE II.8.2 page 61, que les typologies structurent des liens entre les éléments du domaine. Ce sont elles qui structurent la maîtrise et le retour d'expérience sur l'ensemble des moyens de production. Voyons à présent comment les intégrer à notre modèle. Reprenons pour ce faire les résultats sur la mise sous contrôle et le retour d'expérience étudiés CHAPITRE II.8.2.2 page 71.

4.3.1 La mise sous contrôle

Lorsque l'analyse de risques porte sur les technologies, l'item/fonction des risques est l'opération de sa gamme de fabrication. Les effets recherchés sont des non conformités aux fonctionnalités attendues. Les modes de défaillance sont les non respects des

opérations de la gamme. Chacun d'entre eux a un ou plusieurs effets sur les fonctionnalités du produit final. Les causes sont imputables à deux niveaux :

- Soit elles proviennent de la constitution de la gamme et nécessitent des investigations.
- Soit elles surviennent par la réalisation de l'opération de la gamme.

Dans ce dernier cas la cause est toute désignée : elle provient de l'application de la recette ayant entraînée la réalisation de l'opération. La gamme opératoire liée à l'opération défectueuse est en cause. Comme nous l'avons montré au chapitre 2, un lien existe entre les typologies de risques des technologies et les typologies de risques des recettes.

Lorsque l'analyse des risques porte sur les gammes opératoires, l'item/fonction de base de l'analyse est la séquence de la gamme opératoire. Ne pas tenir compte de l'une d'elles est manquer une source potentielle de défaillances pour les opérations de la gamme. A chaque étape de la séquence de la gamme opératoire correspond un ensemble de consignes machines. La recette peut ne pas fonctionner à cause de ce séquençement proposé ou de ces consignes.

Abstraction faite des problèmes liés à de mauvaises définitions de points de fonctionnement, tous les autres modes de défaillance de chaque séquence de la gamme opératoire sont dus à une non atteinte de ces consignes (non atteinte, dépassement, aucune valeur) et donc dus à des défaillances des machines. Ainsi, les typologies des risques des recettes, sont liées aux typologies des risques des machines.

Ainsi, les typologies créent des liens entre les trois éléments. Ces liens garantissent que si les analyses sont conduites suivant l'ordre : Gamme -> Gamme opératoire -> Machine, alors il y a une garantie de mise sous contrôle de l'ensemble de la gamme.

4.3.2 Le retour d'expérience

L'analyse présentée ci-dessus, permet uniquement de mettre sous contrôle les moyens de production. L'anticipation d'autres problèmes repose sur la capacité du groupe à prévoir des risques autres que ceux imposés par les typologies. Cette anticipation est basée sur les connaissances des personnes impliquées dans les analyses et par le caractère exhaustif de leurs propos. Si seulement une petite partie des problèmes est anticipée alors de nombreux cas non pris en compte peuvent apparaître et le travail de prévention n'a pas été efficace.

Le retour d'expérience peut être vu sous deux angles :

- Le premier est représenté par l'exhaustivité de la mise sous contrôle et de l'anticipation. Plus les analyses sont exhaustives, plus l'expérience capitalisée dans ces documents est importante.
- Le second est représenté par la capacité de mise à jour des analyses en fonction des événements.

Au niveau machine, de nouveaux effets de défaillances, qui ne sont pas dans les typologies prises en compte, peuvent apparaître. C'est alors un retour d'expérience au niveau des recettes.

De même, des événements au niveau des recettes peuvent engendrer des risques non pris en compte dans les typologies des technologies. C'est un retour d'expérience vers les technologies.

De la capacité à mettre à jour les analyses en fonction de l'évènementiel dépend donc la qualité du retour d'expérience. Ces retours d'expérience permettent de voir comment se comportent les gammes et recettes au fil du temps.

4.3.3 Synthèse

La mise sous contrôle et le retour d'expérience passent par la gestion des typologies comme nous l'avons étudié de manière détaillée au paragraphe CHAPITRE II.8.2.

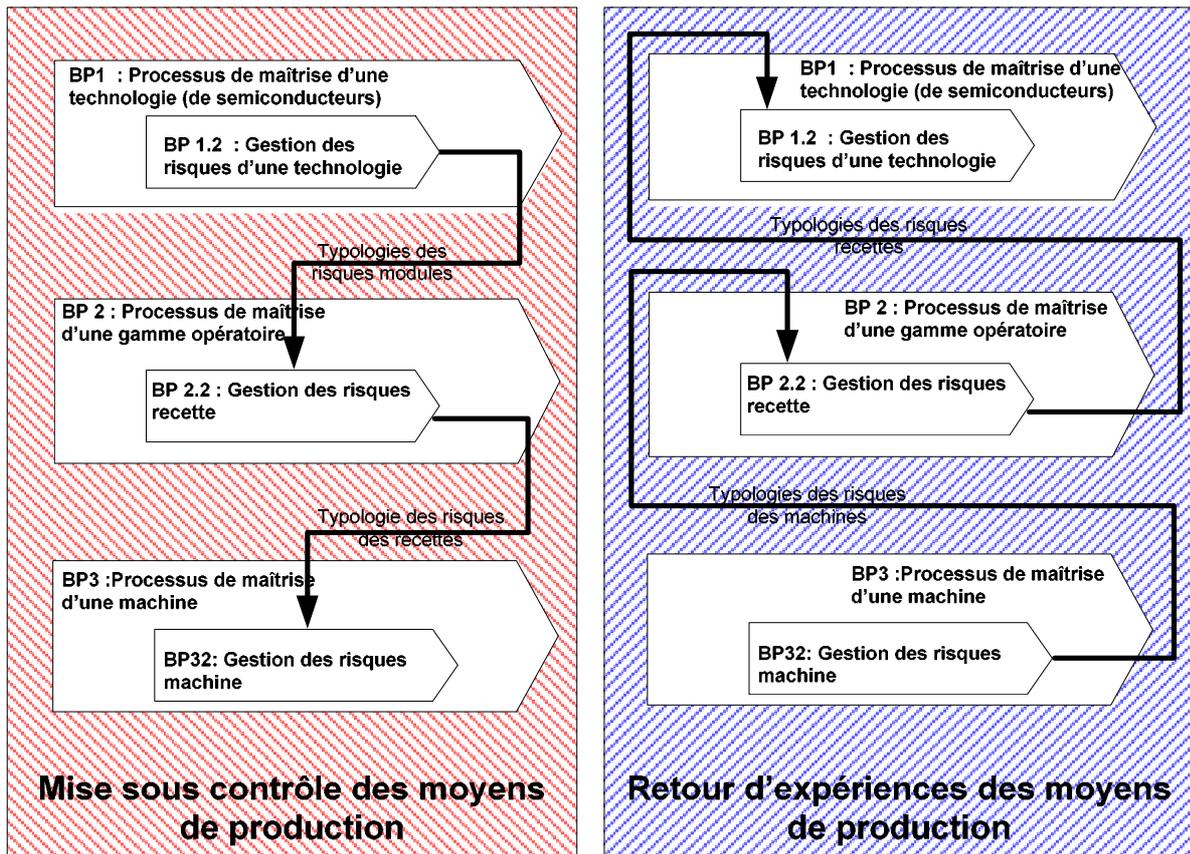


Figure 76. La mise sous contrôle et le retour d'expériences.

La mise sous contrôle de la ligne de fabrication, pour un produit donné suit l'enchaînement présenté dans le premier schéma. Le second schéma traduit le retour d'expérience lié à de nouvelles typologies. Il se déroule du niveau des machines au niveau des produits.

Ainsi, nous venons de voir que pour chaque élément des moyens de production, il existe un processus dynamique de qualification et d'amélioration. Par les typologies de risques de ces éléments, les différents processus métier sont liés. Il est alors possible de structurer la pratique de la mise sous contrôle et du retour d'expérience, de manière dynamique.

L'approfondissement de ces liens s'inscrit comme une véritable perspective de recherche.

5 La robustesse de la qualification et de l'amélioration

Être capable de réaliser tous ces processus, c'est disposer de toutes les activités et d'avoir préalablement défini tous les contrôles et les systèmes opérants nécessaires. Comme cela est détaillé ANNEXE 6, il faut, élément par élément, disposer des 50 « paramètres » pour appliquer cette activité. Or cela représente un changement des pratiques et un investissement lourd⁴³ pour l'organisation. Il est difficilement possible d'appliquer en bloc, l'ensemble des activités.

La bonne nouvelle est que chaque processus engendre, sur un élément :

- Des informations
- Des plans actions

Il n'est pas nécessaire d'appliquer tous les processus pour obtenir une boucle de rétroaction permettant de qualifier et d'améliorer l'élément.

Le « process control » d'un élément peut fonctionner sans que toutes les activités soient en place. Nous parlons alors d'un fonctionnement en mode dégradé.

a) Pour réaliser BP X.1 : Analyser les données off line, il faut pouvoir :

- Collecter (8 paramètres)
- Analyser off line (3 paramètres)
- Synthétiser (8 paramètres)

21 paramètres sont à déterminer. Cependant en regardant de plus près, il suffit de collecter des données et de les analyser, en se passant de l'activité de synthèse et de management pour obtenir des informations et des plans d'actions.

Il suffit de déterminer 8 paramètres, dont le détail est donné Figure 77, pour avoir une boucle de rétroaction complète sur l'élément à partir des données qu'il fournit.

Activité	Sous activité	Sous-SousActivité	Paramètre à définir
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des données	Outils de collecte
			Plan de surveillance
			Cpm
	Analyser off line	Définir les éléments à analyser	Disposer des experts
		Analyser les données	fichiers de paramétrage des calculs
			outils de calculs
		Evaluer les résultats	Disposer d'experts
		Règles d'interprétation	

Figure 77. Paramètres nécessaires au fonctionnement de BP X.1 dégradé.

b) Pour réaliser BPX.2 : gérer les risques, il faut pouvoir :

- Collecter (8 paramètres)
- Gérer les risques (8 paramètres)
- Réaliser BP X.1 (8 paramètres - en supposant que BPX.1 soit en mode dégradé -)
- Synthétiser (9 paramètres)

⁴³ Un outil logiciel, par exemple, d'analyse de données peut revenir de 30K€ à plus de 200K€, ce qui n'est pas négligeable pour l'entreprise.

33 paramètres sont à déterminer. Cependant, ce processus peut fonctionner de manière dégradée. Si les liens avec BPX.1 sont supprimés, alors la gestion des risques est toujours possible, mais il n'est plus permis de faire des investigations (faisant appel à de l'analyse de données) pour approfondir les causes.

La collecte ne peut porter que sur l'évènementiel, ce qui ne nécessite que 3 paramètres à déterminer. Enfin, la synthèse peut être réduite à sa plus simple expression (2 paramètres) pour ne synthétiser que les risques.

Ainsi, pour faire BP X.2 en mode dégradé, il suffit de déterminer 14 paramètres dont le détail est donné Figure 78, voire 13 en supprimant les typologies

Activité	Sous activité	Sous-SousActivité	Paramètre à définir	
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecte des évènements	Plan de surveillance	
			Outils de collecte	
			Cpm	
	Gérer les risques	Mettre en relation		Règles de mise en relation
				Outils & experts
		Identifier et analyser les risques		Outils
				Typologie des risques
				Règles d'analyses
				Grilles de cotation
	Coter		Disposer d'outils ou d'experts	
	Construire les plans d'actions		Règles de construction des PA	
	Synthétiser	Synthétiser la gestion des risques		Experts
				Outils
			Règles	

Figure 78. Paramètres nécessaires au fonctionnement de BP X.2 dégradé.

Il ressort un ensemble de plans d'actions en regard des évènements se produisant sur l'élément.

c) Pour réaliser BPX.3 : analyser on line, il faut pouvoir :

- Collecter (8 paramètres)
- Analyser on line (12 paramètres)
- Réaliser BP X.1 (8 paramètres- en supposant que l'on soit au minimum -)
- Synthétiser (9 paramètres)

37 paramètres sont à déterminer. Cependant en mode dégradé, ne possédant qu'un calcul des limites de contrôle et des indicateurs Cp & Cpk, il suffit de déterminer 11 paramètres, dont le détail est donné Figure 79, pour faire fonctionner une boucle de rétroaction sur l'élément.

Activité	Sous activité	Sous-SousActivité	Paramètre à définir	
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des données	Outils de collecte	
			Plan de surveillance	
			Cpm	
	Analyser on line	Calculer les paramètres statistiques		Outils de calculs
				Fichiers de spécification
				fichiers de paramétrage des calculs
		Utiliser les indicateurs		Contraintes
				Règles d'interprétation
				Experts
	Utiliser les limites			Limites
				Outils

Figure 79. Paramètres nécessaires au fonctionnement de BP X.3 dégradé.

Ainsi, nous venons de voir qu'il n'est pas nécessaire d'avoir tous les paramètres pour obtenir une boucle de rétroaction sur chaque élément. Si certaines activités ne fonctionnent pas correctement, des rétroactions peuvent être possibles. Le modèle d'activités et de processus que nous proposons est donc impacté si toutes les activités ne sont pas en place. Il reste cependant capable de fournir des informations et des plans d'actions pour améliorer l'élément du moyen de production sur lequel il porte.

Par ce fait, il est possible de construire et d'implémenter le modèle de manière progressive dans l'organisation. Il est possible de tenir compte des moyens disponibles dans l'organisation ainsi que des contraintes et des besoins tout en convergeant vers le modèle TO-BE proposé.

6 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présenté notre réponse à la problématique : comment qualifier et améliorer les moyens de production de manière opérationnelle, dynamique, en supportant les connaissances métier.

Le modèle de «process control» que nous proposons est construit à partir de la réalité vécue dans les deux cas d'étude ainsi que de la bibliographie. Il s'applique à un modèle du domaine, décomposé en éléments. Pour chacun d'entre eux, le modèle est composé de 5 activités centrales, pilotées par une activité de management. Pour chaque élément, nous proposons également 3 processus métier enchaînant ces activités. Chacun de ces processus engendre des informations et des plans d'actions sur l'élément. Nous identifions également entre ces processus structurant la mise sous contrôle de l'ensemble de moyens de production et le retour d'expérience.

Qualification :

Chaque information issue des processus métier peut fournir une connaissance à la personne ou au groupe en disposant. Ces informations sont à l'origine de la qualification.

Amélioration :

L'amélioration est effectuée en regard des objectifs opérationnels préalablement définis au niveau managérial.

Nous avons montré que l'amélioration est obtenue grâce à l'application des plans d'action. La capacité de l'organisation à réaliser les plans d'actions détermine le niveau d'amélioration. Le paramétrage des activités et des processus engendre plus ou moins d'actions. Ainsi une adéquation doit être trouvée afin d'équilibrer la charge de travail et le niveau de maîtrise des moyens de production.

Caractère opérationnel :

L'aspect opérationnel est assuré par la cohérence entre les contraintes (et leurs décomposition) imposées aux activités et le domaine d'application.

Caractère dynamique :

L'aspect dynamique est assuré par la connexion étroite et structurée entre les activités (et les processus en découlant) et l'évènementiel de l'élément.

Caractère permettant de supporter les connaissances métiers :

Le support des connaissances métier, est précablé dans la structure des activités proposées. Il prend toute sa dimension si l’organisation peut appliquer les recommandations faites dans ce chapitre en 2.

Comme illustré Figure 80, nous disposons à présent d’une vision structurante pour le « process control ». Ce modèle «à être », peut être appliqué de manière progressive, en mettant en place les processus métier petit à petit en fonction des capacités des organisations voulant l’appliquer.

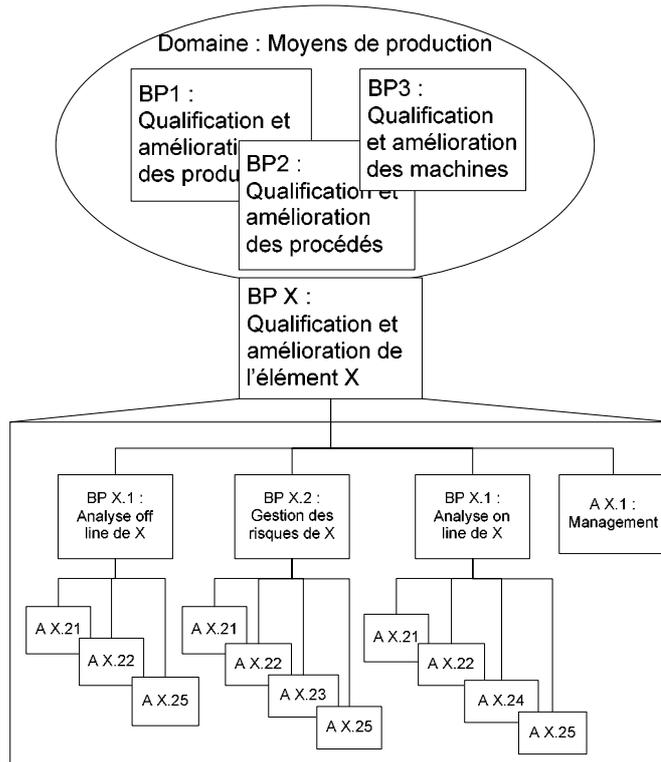


Figure 80. Modèle TO-BE en entreprise du «process control».

Par élément chaque sous processus métier, noté BP X.1, 2, 3 conduit à mieux le comprendre (11 sorties aidant la qualification) et à l’améliorer (8 voies actions possibles) et ce de manière dynamique, opérationnelle, en supportant les connaissances métier. Cet ensemble est résumé Figure 81.

Processus métier	Qualification	Amélioration
Analyse off line	Informations suite à l'analyse de données	Optimisation des points de fonctionnement
Analyse off line	Informations suite au déroulement des analyses	
Analyse off line	Informations validées sur l'élément	
Analyse on line	Limites de contrôle	Actions suite aux hors contrôles
Analyse on line	Indicateurs de capacités	Actions suites à la dégradation d'indicateurs
Analyse on line		Actions suites à des analyses spécifiques
Gestion des risques	Plans de surveillance cohérent	
Gestion des risques	Identification des zones à risques	Actions de réduction systématique des risques
Gestion des risques	Base d'informations pertinentes dans le métier	
Gestion des risques	Typologies des risques	Mise sous contrôle
Gestion des risques	Typologies des risques	Retour d'expérience
Pour chaque processus métier	Apprentissage par le management	par des plans d'actions des managers

Figure 81. Synthèse de la qualification et de l'amélioration d'un élément.

CONCLUSION GENERALE

Dans notre environnement de fabrication de circuits intégrés, nous avons proposé et validé un modèle global pour qualifier et améliorer les moyens de production de manière opérationnelle, dynamique, en supportant les connaissances métier. Nous l'avons construit à partir de deux cas d'étude et le présentons dans la Figure 80 comme notre vision pour le « process control ».

Dans ce manuscrit nous avons présenté des concepts, idées et méthodes qui sont appliqués ou en phase de déploiement sur l'usine de Crolles 2. Nos méthodes industrielles présentées dans les deux cas d'étude, nous ont permis d'accomplir nos deux objectifs, d'une part répondre aux besoins industriels de gestion des risques et de mise sous surveillance des moyens généraux et d'autre part nous donné les concepts nécessaires à la construction du modèle global pour le « process control ».

L'outillage adapté à ces méthodes et la prise en compte des plans d'actions qui en résultent, garantissent une qualification et une amélioration en regard d'objectifs opérationnels prédéterminés. Les développements informatiques réalisés feront l'objet d'un rapport technique interne à l'usine. Leurs fonctionnalités sont brièvement présentées à la fin des chapitres des cas d'étude, quelques extraits d'interfaces les illustrent en annexe.

Par nos réalisations, les ingénieurs trouvent un cadre d'expression et de structuration de leurs analyses de risques. Ils disposent également d'un outil de maîtrise des moyens généraux. Par les rapports établis le pouvoir d'analyse du management est renforcé.

Pour citer quelques résultats : 2391 risques ont été évalués pour les technologies, 248 possèdent un seuil SEV*DET supérieur à 40 et sont à ce titre considérés comme importants. Dans cet ensemble, il reste à en traiter 131 par des plans d'actions. Les technologies C120, C090 ont passé les audits de risques pour la production. Toutes les actions qui leur étaient liées (une cinquantaine par technologie) ont été réalisées. Elles ne comportent plus aucun risque dont le produit SEV*OCC*DET est supérieur à 125. Chaque action menée, permet de diminuer le risque le rendant, moins sévère, moins fréquent et plus détectable.

Actuellement les ateliers ont évalué 7503 risques, dont 642 dépassent le seuil d'action parmi lesquels 423 sont encore à traiter. Nous retenons qu'environ 5% des risques évalués ont conduit à des plans d'action d'amélioration des moyens de production vis-à-vis du risque que nous nommons « SCRAP ».

La mise sous surveillance des moyens généraux, le déploiement de l'outil a permis directement d'identifier des erreurs de la chaîne de mesure des installations et de montrer des dérives des installations avant d'être hors spécification pour les services HVAC et Waste Water.

Les cas d'étude de la mise sous contrôle des moyens généraux et de la gestion des risques opérationnels de l'usine de Crolles2, ont forgé les caractères appliqué et industriel, de nos travaux de thèse. Nous envisageons des perspectives à court terme, pour l'industriel mais également des ouvertures de recherches pour la communauté scientifique.

L'outillage des typologies des risques est la première extension de nos travaux. Nous commençons à lier les informations des risques aux analyses de fiabilité des produits.

Comme les informations relatives aux risques tendent à l'exhaustivité et à l'être à jour, les analyses de fiabilité bénéficient de cette pertinence.

L'outillage du lien entre les processus de gestion des risques et d'analyse on line, permet d'envisager, par technologie la construction d'un plan de contrôle dynamique, basé sur l'évènementiel de la ligne.

Nous avons centré cette étude sur les moyens de production. Il est envisagé d'étendre le domaine d'application aux phases de conception des technologies et des produits ainsi que d'autres types de fabrications de circuits intégrés (usines de « Back End »).

Pour d'autres organisations, la construction des activités de qualification et d'amélioration, des concepts associés et leur emploi dans un ensemble de processus reste une vision « à être », à appliquer. Nous proposons un cadre directeur pour l'extension de notre modèle de « process control ».

Pour comprendre comment aborder le déploiement de ces activités dans une autre industrie, ou un autre secteur d'activité, regardons un instant notre propre démarche.

1) Nous débutons par la construction d'un modèle du domaine des fabrications de semi-conducteurs. Il est construit pour faciliter une identification plus précise des différents éléments le constituant et notamment les liens produits, procédés, ressources. A partir de ce point, nous avons délimité notre périmètre d'action.

2) La perspective d'utilité a guidé les développements. Nous avons veillé à ne pas fournir une méthode et des outils imposés, mais qui soient de réelles aides au travail journalier. Pour que ces outils soient adaptés au terrain et à l'implication managériale, nous avons procédé à une analyse des besoins et avons proposé des solutions qui y répondaient de manière progressive.

Le pendant de cette démarche est de se laisser dériver au gré des besoins des acteurs. Des développements, guidés uniquement par les besoins, peuvent ne pas converger vers une solution intégrée. Or, c'est ce travers qui est à la base de notre problématique. Se focaliser sur les besoins conduit à des développements pertinents, localement. Notre effort a consisté à fournir un compromis entre la réponse à un besoin local (qui a emporté une adhésion rapide) et une solution plus globale (qui demande un effort organisationnel).

Conscient de ce changement de pratique, nous avons fait appel à l'implication managériale pour déployer certaines solutions dans l'organisation. Pour que son acceptation soit la plus harmonieuse possible, nous pensons qu'il est nécessaire d'avoir une double démarche :

- Poussée par les résultats (down => top)
- Tirée par le management (top => down)

Des deux cas d'étude présentés dans les deuxième et troisième chapitres, il ressort que les clefs du succès de l'implantation de nouvelles activités sont :

- une implication opérationnelle forte.
- des activités centrées sur les informations pertinentes dans le métier.
- une réutilisation dynamique de ces informations par toute l'organisation.

Une dynamique positive s'instaure alors autour des méthodes et outils proposés.

3) Les contraintes du domaine des fabrications de semi-conducteurs, nous ont amené à travailler nos propositions pour qu'elles soient opérationnelles, dynamiques et qu'elles

supportent les connaissances métier. Au long des cas d'étude, nous avons traité cette difficulté. En fait, par la compréhension du domaine dans lequel nous sommes intervenus et en répondant à des besoins connus dans l'organisation, le caractère opérationnel a pu être facilement acquis. Par la prise en compte de l'évènementiel pour gérer les risques et définir les plans de contrôle, que le caractère dynamique est introduit. C'est, au chapitre 4, que nous avons intégré l'aspect connaissance aux caractères opérationnels et dynamique de notre proposition. Ces trois caractéristiques ne sont pas totalement dissociées. Comment en effet prétendre supporter les connaissances métier et ne pas être opérationnel ? En fait, nous avons même vu que pour faire des propositions qui supportent les connaissances métier, il fallait nécessairement qu'elles soient opérationnelles (car centrées sur les informations pertinentes du domaine) et dynamiques (car mises à jour en fonction de l'évènementiel).

Nous avons vu que pour supporter les connaissances métier, il faut tenir compte de deux aspects :

Il est nécessaire de gérer les caractéristiques des connaissances en :

- Ayant une compréhension fine du domaine sur lequel va porter le modèle
- Se concentrant, pour les informations, sur :
 - les plus pertinentes du domaine
 - l'outillage de leurs supports
- Se concentrant, lors de la construction des modèles :
 - Aux liens qu'ils entretiennent avec les opérations de ce domaine
 - A les lier à l'évènementiel du domaine
 - A ce qu'ils réutilisent au maximum les informations pertinentes du domaine.

Il est nécessaire de gérer les changements des caractéristiques de ces connaissances par :

- la prise en compte, systématique, pour chaque méthode et/ou outil, de leurs impacts sur les connaissances et, si nécessaire, les adapter.
- des formations permettant d'intégrer ces changements.
- un support opérationnel, permettant quotidiennement de mieux vivre ce changement.
- une implication managériale.

4) En synthèse des cas d'étude, nous avons pu construire l'activité *A-0/contrôler et améliorer un élément* et sa décomposition jusqu'au troisième niveau. Nous l'avons abordée suivant l'angle temporel pour fournir trois processus métier par élément : l'analyse off line, la gestion des risques et l'analyse on line.

Nous avons construit et mis en place notre démarche sur le site de Crolles2. Il est envisageable d'appliquer notre modèle de process control au sein d'une organisation différente.

Pour appliquer notre proposition dans une autre organisation, il faut que cette organisation entre dans une phase de révision de ses processus de maîtrise de fabrication, dans un but de rationalisation.

Pour faciliter l'introduction de ce travail, nous proposons à l'organisation d'identifier ce sur quoi vont porter ses efforts. Nous identifions notre proposition en la nommant:

La démarche CARAS

~
Collecter, Analyser off line, gérer les Risques, Analyser on line, Synthétiser

Appliquer le modèle que nous proposons consiste à mettre en place la démarche CARAS dans l'organisation. Nous préconisons de l'appliquer en trois étapes :

1. Etude du domaine

Cette étape permet de délimiter la zone d'action pour appliquer la démarche. Cette étape permet d'identifier les différentes contraintes du domaine et les éléments qui le constitue. Suivant l'enjeu et les ressources mobilisées, il sera possible d'ajuster la précision de la décomposition.

2. Par élément, audit de l'existant

Cette partie situe l'organisation vis-à-vis des activités et processus CARAS. Elle identifie ainsi les besoins de l'organisation en terme de qualification et d'amélioration et le chemin à parcourir pour implanter les activités et les processus que nous proposons.

3. Par élément, déploiement des activités et des processus

Cette partie constitue le cœur de notre démarche. La façon dont nous avons construit les processus les rend robustes aux dégradations, la qualification et l'amélioration peut se faire en ne les implantant que partiellement. Les activités peuvent être implémentées progressivement. Le plan de déploiement permet de définir comment l'organisation, en fonction de son existant va converger vers le modèle que nous proposons. Notre modèle TO-BE se construit en suivant ce plan de déploiement. Les connaissances métier sont supportées par :

- Avant tout déploiement d'activité, les connaissances du métier doivent être identifiées et caractérisées (étude de leurs composantes, des liens entre ces composantes et de leurs caractéristiques)
- L'évolution des caractéristiques de ces connaissances, par l'implémentation de l'activité (ou du processus), doit être anticipée.
- Enfin la mise en place d'une structure (organisationnelle, méthodologique, outils...) supportant ces caractéristiques et leurs évolutions, nous permet de garantir que les connaissances peuvent être pertinentes, à jour et utilisées. Ce dernier point peut être implanté en même temps que l'activité.

A l'aboutissement de cette démarche, l'organisation dispose alors d'un outil : le process control, pour qualifier et améliorer ses moyens de production de manière opérationnelle, dynamique, en supportant ses connaissances métier. Pour supporter cette démarche, nous proposons une étape préliminaire de définition des outils de modélisation ainsi que des objectifs opérationnels sur lesquels se focaliser.

L'amélioration de la qualité des produits devient donc une réalité, confortée par une boucle auto entretenue et indirectement par le gain financier, résultant. Alors il est possible d'implémenter la démarche CARAS, sur d'autres sites industriels. D'autres usines peuvent être intéressées pour qualifier et améliorer leurs moyens de production de manière opérationnelle, dynamique, en supportant leurs connaissances métier.

BIBLIOGRAPHIE

- [ABELLO 1999], James ABELLO, Jeffrey KORN, Visualizing Massive Multi-Digraphs, rapport de recherches, Information Visualization Research, 1999
- [ALAVI 1999], Maryam ALAVI, Dorothy LEIDNER, Knowledge Management Systems : Emerging Views and Proactices from the field, Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Science, IEEE, 1999
- [ANG CHENG 1999], ANG CHENG-LEONG, KHOO Li PHENG, GAY ROBERT, KENG LENG, IDEF* : a comprehensive modelling methodology for the development of manufacturing enterprise systems, International Journal of Production Research, Vol 37, N°17, p3839-p3858, 1999
- [ESCOFIER 1998], Brigitte ESCOFIER, Jérôme PAGES, Analyses factorielles simples et multiples, Dunod, 3ème edition, 1998
- [BARRE 2005], Jean François BARRE, « Modélisation des entreprises : un enjeu majeur pour le futur », GDR MACS, Clermont Ferrand, 1 Avril 2005.
- [BASSETTO 2004], Samuel BASSETTO, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, A knowledge Management Framework, applied to relevant information discovery and reuse, CIRP ICME 2004, pp 151-157, ISBN 88-87030-44-8, Naples, 2004
- [BASSETTO 2002], Samuel BASSETTO, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, Introduction to the prototyping of a intelligent «process control» system, IFIP BASYS 2002, pp427-437, ISBN- 1-4020-7211-2Cancùn, 2002
- [BELL 1992], D. BELL, L. COX, S. JACKSON, P. SCHAEFER, Using Causal Reasoning for Automated Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Proceeding of the 1992 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp 343-353
- [BERGERET 2004], F. BERGERET, Y. CHANDON, C. LE GALL, De la statistique dans l'industrie : un exemple à Freescale (anciennement Motorola semi-conducteurs), Journal de la Société Française de Statistique, Tome 145, N°1, 2004.
- [BERIO 2001], Giuseppe BERIO, François VERNADAT, Enterprise modelling with CIMOSA : functional and organizational aspects, Production planning & control, VOL 12, N°2, pp 128-136, 2001.
- [BERNARD 2003], Sous la direction d'Alain BERNARD, Fabrication assistée par ordinateur, IC2 Productique, Hermès, 2003, ISBN 2-7462-0618-8
- [BERTIN 1977], Jacques BERTIN, La graphique et le traitement graphique de l'information, Paris, Flammarion ; 1977, 273p.
- [BONING 1992], Duane S. BONING, Michael B. McILRATH, Paul PENFIELD Jr, Emmanuel M. SACHS, A General Semiconductor Process Modeling

Framework, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Novembre 1992.

- [BOO SIK KANG 1999], Boo SIK KANG, Deok HYOEN CHOE, Sang Chan PARK, Intelligent «process control» in manufacturing industry with sequential processes, International Journal of Production Economics 60-61 (1999) 583-590, Elsevier editions.
- [BOWLES 2003], John B. BOWLES, An assesement of RPN Prioritization in a Failure Modes Effects and Criticality Analysis, Proceedings Annual Reliability and maintainability Symposium, 2003.
- [BRAUNSPERGER 1996], M. BRAUNSPERGER, Designing for Quality and Integrated approach for simultaneous quality engineering, Institute of Mechanical Engineering, Part B : Journal of engineering Manufacture, 210(B1), pp 1-10.
- [CARAUX 1984], G. CARAUX, Réorganisation et représentation visuelle d'une matrice de données numériques : un algorithme itératif, Revue de Statistique appliquée, Vol XXXII, N°4, 1984.
- [CEI 60300-2, 2004] IEC, Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 2: Lignes directrices pour la gestion de la sûreté de fonctionnement, IEC International, 60300-2 CEI:2004
- [CEI 60300-3-1, 2004] IEC, Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-1: Guide d'application – Techniques d'analyse de la sûreté de fonctionnement – Guide méthodologique IEC International, CEI 60300-3-1, 2004
- [CEI 61014, 2004] IEC, Programmes de croissance de fiabilité, IEC International, CEI 61014, 2004
- [CHEN 1997] D. CHEN, B. VALLESPER, G. DOUMEINGTS, GRAI integrated methodology an its mapping onto generic enterprise reference architecture and methodology, Computers in Industry, 33, pp387, 394, 1997
- [CLARK 2000], Fiona CLARK, Andreas FRÜCHTL, Designing a knowledge strategy, Knowledge Management Review, Vol3, Mois 05, pp20-25, 2000
- [CORRIOU 1996], Jean Pierre CORRIOU, Commande des procédés, Technique et Documentation, 1996, ISBN 2-7430-0145-3
- [D'OCAGNE 1885], Maurice D'Ocagne, Coordonnées parallèles et axiales – méthode de transformation géométrique et procédé nouveau de calcul graphique déduit de la considération des coordonnées parallèles, Pont et Chaussées, Gauthier Villars Imprimeurs, 1885
- [DABADE 1996], B.M. DABADE, P.K. RAY, Quality engineering for continuous performance improvement in products and processes : A review and

- reflections, Quality and reliability engineering international; Vol 12, 173-189, 1996
- [DALE 1990], BG DALE, P. SHAW, Failure Mode and Effects Analysis in the U.K. Motor industry : A State of the art study, Quality and Reliability Engineering International 6(3), pp 16-23 1990.
- [DAVIS 1988], M.S. DAVIS, R.E. MILES, V. POSTOYALKO, A two step methodology for CMOS VLSI reliability improvement : step one, Quality and Reliability International, Vol 4, pp 317-329, 1988
- [DE GRAVE 2004], Arnaud DE GRAVE, Conception intégrée des Microsystèmes ElectroMécaniques, Thèse de doctorat, INPG 15 Octobre 2004
- [DENIS 2000], François DENIS, Rémi GILLERON, Apprentissage à partir d'exemples, Notes de cours, Université de Lille, Maîtrise de mathématiques et sciences sociales, option Intelligence artificielle, 14 avril 2000.
- [DEPINTO 1997], Gary DE PINTO, Managing Factory Risk to Improve Customer Satisfaction, Semiconductor International 1997
- [DIENG, 1990], Rose DIENG, Méthode et Outils d'acquisition des connaissances, Rapport de recherche N°1319, INRIA, Novembre 1990
- [DoD, 1984] MILITARY STANDARD, Procedures for performing a failure mode effects and criticality analysis, MIL-STD-1629A, Department Of Defense, Washington, 1984
- [DOUMEINGTS 1984] DOUMEINGT G, « Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique », thèse d'Etat, Université de Bordeaux 1, 1984.
- [DOUMEINGTS 2001], G. DOUMEINGTS, Y. DUCQ, Enterprise modelling techniques to improve efficiency of enterprises, Production planning and control, Vol 12, N°2, pp 146-163, 2001
- [DUCQ 1999], Yves Ducq, Contribution à une méthodologie d'analyse de la cohérence des systèmes de production dans le cadre du modèle GRAI, Thèse de doctorat, présentation, GRP Nimes, juin 1999
- [EDGAR 2000], Thomàs F. EDGAR, Stephanie W. BUTLER, Jarrett CAMPBELL, Carlos PFEIFFER, Christophe BODE, Sung Bo WANG, K.S. BALAKRSHNAN, J. HAHN, Automatic control in microelectronics manufacturing : Practices, challenges, and possibilities, Automatica, N°36, pp 1567-1603, 2000
- [ERMINE 2000], Jean Claude ERMINE, La gestion des connaissances, un levier stratégique pour les entreprises, Actes IC2000, Ingénierie des connaissances, toulouse, 10-12 mai 2000

- [ERMINE 1996], Jean Louis ERMINE, Mathias CHAILLOT, Philippe BIGEAON, Borsi CHARRETON, Denis MALAVIEILLE, MKSM, Méthode pour la gestion des connaissances, Ingénierie des systèmes d'information, AFCET, Hermès, Vol4, N°4, pp541-575, 1996.
- [FIPS 1993], Federal Information Processing Standards Publication, IDEF0, FIPS Publication 193, 21 Decembre 1993.
- [FRIGIERE 2001], Joël FRIGIERE, Claude THIRION, De l'ingénierie des connaissances au management des connaissances chez Usinor, Management des connaissances, Hermes 2001, p 231 - p 240
- [FU 1996], Yongjian FU, Discovery of multiple-level rules from large databases, Simon Fraser University, Thesis, Juillet, 1996
- [GARDONI 2004], Mickael GARDONI, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, INPG, 2004
- [GARIN 1994], Hervé GARIN, AMDEC/MADE/AEEL, L'essentiel de la méthode, Collection A SAVOIR, ISBN, 2-12-475013-5, 1994
- [GENTIL 2002], Marie Hélène GENTIL, Catherine MERLE, Yves DUCQ, Guy DOUMEINGTS, Using GRAIPerf to Design and Implement a Quality Performance Indicator System in accordance with the New ISO9000 :2000 Standards, IEEE SMC MP2N5, 2002
- [GIRARD 2004], Philippe GIRARD, Guy DOUMEINGTS, Modelling the engineering design system to improve performance, Computers & Industrial Engineering, Vol 46, N°1, pp43-67, 2004.
- [GOYAL 1993], R.K. GOYAL, FMEA, The alternative Process Hazard Method, Hydrocarbon Processing, 72(5), pp 95-99, 1993
- [HAO 2000], Liang HAO, Zhang XIAOFENG, Wang YU, Wu QIDI, Research of Supply chain Modeling Technology, High Technology Letters, Vol6, N°3, Août 2000
- [HATON 1987] Jean Paul HATON, Knowledge-Based Methodology in Pattern Recognition and Understanding, Rapport de Recherche INRIA, Juillet 1987
- [HAYES-ROTH 1994], F. Hayes-Roth, N. JACOBSTEIN, The state of knowledge-based Systems, ACM, vol 37, N°3, p27-39, 1994
- [HAYES-ROTH 1983], B. HAYES-ROTH, D.B. LENAT, D.A. WATERMAN, Building Expert Systems. Reading MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1983
- [HYUNDO 1999], HYUNDO Cho, INBOM Lee, Integrated framework of IDEF modelling methods for structuring design of shop floor control systems,

International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol 12,
N°2, p113 - 128, 1999

- [ISHII et al. 2003], Steven KMENTA, Brent CHELDELIN, Kosuke ISHII, Assembly FMEA : A simplified Method for Identifying assembly errors, ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition Proceedings, Washington, D.C. Novembre 2003
- [ISHII 2003], Seung J. RHEE, Kosuke ISHII, Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability
- [JOHANNES, 2000], Werner Andreas JOHANNES, Structure and applicability of quality tools, decision support for the application of «process control» and improvement techniques, Thèse de doctorat, W.A.J. Schippers, ISBN 90-386-0723-7, 2000
- [KINNEY, 1991], Barry T. McKINNEY, FMECA, The right way, Proceedings Annual Reliability and maintainability Symposium, 1991
- [KOSANKE 1999], K. KOSANKE, M. ZELM, CIMOSA modelling processes, Computers in industry 40, pp 141-153, 1999
- [KOTZ 1998], Samuel KOTZ, Cynthia R. LOVELACE, Process Capability INDicies in Theory and Practice, Editions Arnold, 1998, ISBN 0340691778
- [LABROUSSE 2004], Michel LABROUSSE, Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise, Ecole centrale de Nantes, Thèse de Doctorat, 2004
- [LEBART 2000], Ludovic LEBART, Alain MORINEAU, Marie PIRON, Statistique exploratoire multidimensionnelle, Dunod, 3ème edition 2000
- [LESAFFRE 2000], François-Marie LESAFFRE, Claude THIRION, Laurent BAUDOIN, Systèmes d'aide à la conduite des procédés industriels, Editions scientifiques et médicales ELSEVIER, Mec. Ind. 1, 447-455, 2000.
- [LIEBOWITZ, 2000], J. LIEBOWITZ, Building organizational intelligence: A knowledge management primer, CRC Press, Boca Raton, FL, 2000
- [MACKULAK, 1984], G.T. MACKULAK, High level planning control IDEF sub 0 analysis for airframe manufacture, Journal of manufacturing system, volume 3, N°2, 1984, pp121-133.
- [MALOUBIER 1984], H. MALOUBIER, D. BREUIL, G. DOUMEINGTS, J. GAVARD, Use GRAI method to analyse and design production management system, Advances in production management systems, production management systems in the 80's, Proceedings of the IFIP WG 5.7, working conference, pp65-76, 1984.

- [MARTIN 1994], Philippe MARTIN, La méthodologie d'acquisition des connaissances KADS et les explications, Rapport de Recherche 2179, INRIA, Janvier 1994
- [MATTA et Al., 1999], Nada MATTA, Olivier CORBY, Myriam RIBIERE, Méthodes de capitalisation de mémoire de projet, Rapport de Recherche N°R3819, INRIA
- [MAYER 1995], Richard J. MAYER, Christopher P. MENZEL, Michael K. Painter, Paula S. deWitte, Thomas Blinn, Benjamin Perakath, INFORMATION INTEGRATION FOR CONCURRENT ENGINEERING (IICE) IDEF3 PROCESS DESCRIPTION CAPTURE METHOD REPORT, Knowledge Based systems, incorporated one KBSI PLACE 1500 university Drive East College Station, Texas 77840-2335, Septembre 1995
- [METAXIOTIS 2004], Kostas METAXIOTIS, Kostas ERGAZAKIS, Emmanuel SAMOUILIDIS, John PSARRAS, Decision support through knowledge management: the role of the artificial intelligence, International Journal of Computer Applications in Technology, Volume 9, N°2, pp101-106, 2004.
- [MILLE 1999] Alain MILLE, Tutorial RàPC, Etat de l'art du raisonnement à partir de cas, Plateforme AFIA'99, Palaiseau, 17 juin 1999
- [MILLE,2001], Alain MILLE, Les connaissances : formaliser, raisonner, apprendre, Cours de DEA, ECD, 2001
- [MIL-STD-105, 1989], Military Standard, Sampling procedures and tables for inspection by attributes, DoD, Washington, DC 20301, 10 may 1989
- [MIL-STD-414, 1957], Office of the assistant secretary of defense, Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent defective, DoD, Washington 25, 11 Juin 1957
- [MITAL 1993], KUO T. et MITAL A. Quality Control expert systems review pertinent literature, Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 4, N°4, pp245-257, 1993.
- [MONFARED 2002], MONFARED R.P., WEST, A.A., HARISON R., WESTON R.H., An implementation of the business process modeliling approach in the automotive industry, Proceedings of the institution of Mechanical Engineering. Part B, Management and Engineering Manufacture, Vol 216, N°B11, ISSN:ISBN : 0263-7146, 2002
- [MONTGOMERY 2001], Douglas C MONTGOMERY, Introduction to statistical quality control, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc, ISBN 0-471-31648-2
- [NAPOLI 1996], Amédéo NAPOLI, les logiques de description, Rapport de Recherche 3314, INRIA Lorraine, 1996

- [NF X60-30 2001], Norme AFNOR X6030, Maîtrise statistique des procédés, AFNOR, 2001, Tomes 1 à 6
- [NONAKA 1994], I. NONAKA, A dynamic Theory of Organizational knowledge creation, *Organization science* (5 :1), pp14-37, 1994
- [PACHULSKI 2001] , Alexandre PACHULSKI, Le repérage des connaissances cruciales pour l'entreprise : concepts, méthode et outils, Thèse de doctorat, Paris IX, 19 décembre 2001
- [PAN 1992], PAN JN et KOLARIK W.J. Quality tree systematic problem solving model using total quality management tools techniques, *Quality Engineering*, 5(1), 1-20, 1992
- [PELTIER 2001], René PELTIER, Un exemple concret de gestion des connaissances à AIRBUS, Journée AIP-PRIMECA de Grenoble,– Thème Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation, Mardi 22 mai 2001
- [PILLET, 2003], Maurice PILLET, La maîtrise statistique des procédés, Editions d'Organisation, ISBN, 2001
- [PINATON 2004], Jacques PINATON, Philippe CAMPION, De l'efficience de la production par une approche 'Qualité Totale' de type PDCA, GDR MACS, Journées de synthèse Aix, Octobre 2004
- [PRICE 2001], C.J. PRICE, N.S. TAYLOR, Automated multiple failure FMEA, *Reliability engineering and system safety* 76, 1-10, 2002
- [PURAN LUTHRA, 1991] Puran LUTHRA, FMECA : An integrated Approach, *Proceedings Annual Reliability and maintainability Symposium*, 1991
- [QS-9000, 1993], Potential Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) reference manual, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 1993
- [SACHS et Al, 1991], Emmanuel SACHS, Ruey-Sahn GUO, Sungdo HA, Albert HU, «process control» System for VLSI Fabrication, *IEEE Transaction on semiconductor Manufacturing*, Vol 4, N°2, May 1991
- [SALVI et Al, 2003] O. SALVI, E. BERNUCHON, Outils d'analyses des risques générés par une installation industrielle, Rapport Q7, INERIS DRA, Mai 2003
- [SAPORTA 1990], Gilbert SAPORTA, Probabilités analyse des données et statistique, Editions Technip, 1990
- [SEMATECH, 1992] Mario VILLACOURT, Failure Mode and Effects Analysis(FMEA) : A Guidance for Continuous Improvement for the

- [SHAW C. FENG et al. 2000], Shaw C. Feng, Eugene Y. Song, Information Modeling of Conceptual Planning Integrated with Conceptual Design, proceedings of DETC2000, Baltimore, Maryland, 2000
- [SHON-ROY et al, 1998], Lita SHON-ROY, Allan WIESNOSKI, Robert ZORICH, Advanced Semiconductor Fabrication Handbook, William Phillips Editor, ISBN 1-877750-70-0, 1998
- [SKOTNICKI 2001 a], Thomas SKOTNICKI, Transistor MOS et sa technologie de fabrication, Techniques de l'Ingénieur, traité Electronique volume E2430, 2001
- [SKOTNICKI 2001 b], Thomas SKOTNICKI, Circuits intégrés CMOS sur silicium, Techniques de l'Ingénieur, traité Electronique volume E2432, 2001
- [SMART 1999], P.A. SMART, R.S. MAULL, S.J. CHILDE, A reference model of 'operate' processes for process-based change, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol 12, N°6, pp471-482, 1999
- [SNEE 2003], Ronald D. SNEE, Eight essential tools, in Quality Progress pp86 – 88, decembre 2003.
- [SNOWDEN 1999] David SNOWDEN, A framework for creating a sustainable knowledge management program, The knowledge management Yearbook 1999-2000, pp52-64, 1999
- [STI, 2000], NASA Scientific and technical Information (STI) Program, NASA STI Help Desk, 301-621-0390, February 2000
- [TAGUSHI, 1985], G. TAGUSHI, Y WU, Introduction to Off line Quality Control, Central Japan Quality Association 1985.
- [TAM, 1995], Yin Jenny TAM, Datacube : Its implementation and Application in OLAP Mining, M. Sc thesis, Simon Fraser University, 1995
- [TENENHAUS, 1998], Michel TENENHAUS, La régression PLS théorie et pratique, Edition Technip, 1998
- [THEOS 2004], P.C. THEOS, Keith CASE, Failure Modes and Effects Analysis through knowledge modelling, Journal of materials processing technology, Elsevier, 2004
- [THORAVAL 1984], René THORAVAL, Un outil informatique pour l'analyse graphique de données, INRIA, Rapport Technique N°33, Avril 1984.
- [TRAHAN 1999], Robert TRAHAN, Anthony POLLOCK, Using an Inverted FMEA to Manage Change and Reduce Risk in a FAB, IEEE 1999

- [TRIENKENS 2001], TRIENKENS J.H, HVOLBY H.H., Models for supply chain reengineering, Production Planning and Control, Volume 12, N° 3, pp254-264, 2001
- [TSUNG 1995], P.W. TSUNG, The Three “F”s in Quality and Reliability : Fault Tree Analysis, FMECA, FRACAS, International Symposium on Quality in Non Ferrous Pyrometallurgy, pp115-124
- [TUFTE 1997], Edward R. TUFTE, Visual explanations, Images and quantities, evidence and narrative, Graphics Press, 1997
- [TUMER 2001] Irem Y. TUMER, Robert B. STONE, Mapping function to failure mode during component development, Research in Engineering Design, Proceedings of the 2001 DETC Conference.
- [TUMER et Al, 2002(b)] Irem Y. TUMER, Robert B. STONE, Rory A. ROBERTS, Towards failure-free design : Reducting dimensionality in function-failure similarity analysis for large database, Proceedings og the ASME International Mecahnical Engineering Congress, 17-22 Novembre 2002, New Orleans, Louisiane.
- [TUMER 2002(a)], Irem Y. TUMER, Srikesh G. ARUNAJADAL, Robert B. STONE, Failure mode identification through clustering analysis, Quality and Reliability Engineering International Journal, **in revision**
- [TUMER 2003], Irem Y. TUMER, Robert B. STONE, David G. BELL, requirements for a failure mode taxynomy for use in conceptual design, International Conference on engineering Design ICED 03, Stockholm, 19-21 Août 2003.
- [TWO CROWS 1999], TWO WROWS CORPORATION, Introduction to Datamining and Knowledge Discovery, TCC Editions, ISBN 1-802095-02-5, 1999
- [VERNADAT 1996], François .B. VERNADAT, Enterprise Modeling and Integration : Principles and Applications, Chapman & Hall, London, 1996
- [VERNADAT 1997], François B. VERNADAT, Enterprise Modelling Languages, Enterpruse Engineering and Integration Building International Consensus Proceedings of ICEIMT'97, TORINO, ITALY, 28-30 Octobre 1997
- [VERNADAT, 2002], François B. VERNADAT, UEMML : towards a unified enterprise modelling language, International Journal of Production Research, Taylor & Francis, Volume 40, Numéro 17, 20 Novembre 2002, pp4309 – 4321
- [WHITCOMB 1994], Rick WHITCOMB, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) System Deployment in a Semiconductor Manufacturing Environment, IEEE/SEMI 1994

- [WILHELMIJ 1993], Paul WILHELMIJ, Tony HOLDEN, Knowledge Management for reduced risk in petrochemical operations, Colloquium – Institution of electrical engineers, 1993
- [WIRTH et Al, 1996], R. WIRTH, B. BERTHOLD, A. KRAMER, G. PETER, knowledge-based support of system analysis for the Analysis of failure modes and effects, Engineering Application of Artificial Intelligence, 9(3), pp 219-229, 1996
- [ZELM 1997], M. ZELM, K. KOSANKE, CIMOSA an dits application in an ISO 9000 Process Model, Manufacturing Systems Proceedings Manufacturing systems modelling management and control, Vienna, Février,1997
- [ZWEGERS 1997], Arian J.R. ZWEGERS, Shu-Guei FANG, Henk-Jan PELS, Evaluation of architecture design with CIMOSA, Computers in Industry, N°34, pp187-200,1997.

DU MEME AUTEUR

- Samuel BASSETTO, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, Adadvanced Process Control Application Modelling, ICME 2002, ISCHIA, pp 151-157, ISBN 88-87030-44-8, 3-5 Juillet 2002
- Samuel BASSETTO, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, A knowledge Management Framework, applied to relevant information discovery and reuse, CIRP ICME 2004, Naples, 30 Juin -2 Juillet 2004
- Samuel BASSETTO, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, Introduction to the prototyping of a intelligent «process control» system, IFIP TC5/WG5.3 Fifth IFIP/IEEE 2002, pp427-437, ISBN- 1-4020-7211-2, Cancùn, Mexico, 25-27 Septembre 2002
- Samuel BASSETTO, Contribution au développement de la méthodologie de process control d'une unité de Recherche et Production de circuits semi-conducteurs. Application à la gestion des risques en zone de fabrication et à la maîtrise de l'environnement de fabrication, GRD MACS, Aix en Provence, journées du 21-22 Octobre 2004, Aix en Provence
- Samuel BASSETTO, Stéphane HUBAC, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, A tooled methodology to reduce operational risks, IEEE-AISTA Luxembourg, 15-18 Novembre 2004.
- Samuel BASSETTO, Stéphane HUBAC, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, Méthode outillée employant les connaissances d'experts, C2EI, Journées du 1-2 Décembre 2004.
- Samuel BASSETTO, Stéphane HUBAC, Ali SIADAT, Patrick MARTIN, Méthode outillée employant les connaissances d'experts, Revue Française de Gestion Industrielle, à paraître, 2005.

ANNEXES

ANNEXE 1. GLOSSAIRE

1 Orienté semi-conducteurs

Une **technologie de fabrication** désigne une façon de fabriquer, une **technologie de semi-conducteur** désigne un type de composant de base d'un circuit intégré.

Batch : ensemble de lots de production

Élément architectural : est une partie contribuant à l'architecture générale.

Lot : Ensemble de plaquettes de production. Un lot comporte classiquement 25 plaquettes, wafers de dimensions identiques.

Module : est un élément architectural d'une technologie. Chaque module est fabriqué par une suite ordonnée d'opérations.

Opération : est le travail d'un outil ou d'un environnement qui produit un et un seul résultat sur la pièce. Par exemple l'enlèvement d'une couche par polissage mécano chimique ou le dopage d'une plaque par insertion de Bore ou l'enlèvement d'une couche mince par une gravure plasma.

Process Flow : Appliqué à une technologie, c'est l'ensemble des opérations permettant la réalisation d'une technologie.

Process Plan : Désigne l'ensemble des opérations permettant la réalisation d'un produit

Recette : Ensemble de séquences opératoires effectuées sur une pièce. L'application d'une recette réalise une opération. Une recette peut être employées dans plusieurs opérations.

Séquence : Une séquence est une suite ininterrompible d'actions élémentaires vis-à-vis du niveau de description employé. Par exemple le polissage mécano chimique d'une plaquette sans séchage.

2 Orienté génie industriel :

Cluster de machines : Regroupement de machines permettant de faire plusieurs séquences de procédés voir plusieurs gammes opératoires.

Entité : Groupement sémantique, atome de modélisation, caractérisé par un ensemble de paramètres décrivant un objet indécomposable et utilisé dans le raisonnement relatif à une ou plusieurs activités liées à la conception ou la réalisation de pièces ou systèmes de fabrication.

Gamme : Suite ordonnée des opérations nécessaires à l'exécution d'un travail groupé en phases, sous phases, c'est une description précise de ces phases.

Opération : est le travail d'un outil ou d'un environnement qui produit une et un seul résultat sur la pièce. Par exemple l'enlèvement d'une couche par polissage mécano chimique ou le dopage d'une plaque par insertion de Bore ou l'enlèvement d'une couche mince par une gravure plasma.

Phase : Une phase est un ensemble de séquences effectuées sur une pièce, sur une entité de production (ou transfert) comportant une ou plusieurs machines-outils, sans démontage de la pièce.

Procédé : But à atteindre sans précision des techniques utilisées

Séquence de procédé : Une séquence est une suite ininterrompue d'opérations de procédé. Par exemple le polissage mécano chimique d'une plaquette sans séchage.

Sous phase : Ensemble des opérations réalisées sans démontage de la pièce, ni transfert du couple « pièce, porte-pièce » d'une zone de réalisation du procédé à une autre.

Techniques : Eléments du genre, on retrouve autant que possible les désignations usuelles de la profession.

3 Equivalence des termes

Process Flow : Gamme d'une technologie, gamme conceptuelle

Process Plan : Gamme

Module : Phase d'une technologie

Brique : Sous phase d'une technologie

Recette : une gamme opératoire

Termes employés dans cette thèse :

Classe de la salle blanche : indicateur définissant le nombre de particules d'un certain calibre par unité de volume.

Données off lines : Données issues de campagnes de mesures.

Données on lines : Données issues de capteurs provenant des machines et servant à la régulation de ces machines ou d'autres machines.

Analyses on lines : terme employé pour désigner des analyses dans un temps compatible avec celui du processus analysé

Analyses off lines : terme employé pour désigner des analyses dans un temps déconnecté de celui du processus analysé.

Artefact : production humaine, artistique ou résultante d'un travail.

Tacite : Compréhension implicite, existence sans statut. Sens étymologique : silencieux.

La connaissance : est le résultat d'une interaction entre une information et un système d'interprétation dans un domaine d'application donné.

Gérer les connaissances : c'est gérer les informations, les systèmes d'interprétation et leurs interactions dans un domaine d'application donné.

Evènement : est défini comme une donnée interprétée déclenchant une action ou une activité

Ingénierie d'entreprise : définition, structuration, conception et implémentation des opérations d'entreprises en tant que communication entre réseaux de processus métiers. Cela comprend l'organisation, les ressources, les informations, les connaissances impliquées dans ces réseaux.

L'intégration d'entreprise : fournit la bonne information à la bonne place et au bon moment. Par la communication entre les personnes, les machines, les moyens informatiques cela engendre une coopération et une coordination efficiente. (qui fonctionne).

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticité

FMEA : Terme désignant les AMDE ou les AMDEC par abus de langage.

Niveau d'indentation : Indice permettant de repérer la profondeur du découpage. Plus il est élevé, plus la description est précise.

ANNEXE 2. GRILLES DE COTATIONS DES RISQUES

1 Grilles de cotations pour les non conformités produit

Ranking	Severity	Occurrence	Detection
1	No incidence	Impossible or 1 time during equipment life	Block Hardware Automatic Detection, (Immediately, at 100%)
2	Aspect failure / cosmetic problem	1 Lot or event/year affected	Detectable after processing
3	Generate rework/recycling for 1 or 2 wafers.	1 Lot or event/quarter affected	Systematic measure after operation
4	Generate a process complement of a lot. Generate lot rework	1 Lot or event/month affected	measurement on lots by sampling or mainframe and sub unities not individually measured
5	- Generate a scrap of 1 or 2 wafers - Delivery delayed	> 1 Lot or event/month affected	Detected at daily monitoring
6	- Yield loss	1 Lot or event/week affected	- Detected some steps after - At weekly monitoring
7	- Rejected lot - Undelivered lots	> 1 lot or event/week affected	Detected at Parametric Test.
8	Product parameter out of tolerance	1 Lot or event/day	At EWS/ final test level
9	Non functionality at customer	1 Time/lot	Detected by reliability monitoring (WLRC)
10	- Affects product reliability - Affects product safety	Each wafer/run	Non detectable or to the customer
RULES: <ul style="list-style-type: none"> • Recommendations: to determine the severity, refer to the FMEA Recipe of the closest technology and see what failure effect and severity was affected to this specific failure mode at the same operation step. • For all RPN > 125, the action plan shall be filled to reduce the RPN value. It is also recommended to define an action plan for all Top Five RPN. • Critical characteristics are defined for Severity > 7, this critical aspect is declared by the "V" symbol in the column CLASS. 			

Figure 82. Exemple d'une grille d'analyse AMDEC.

Ranking	Severity	Occurrence	Detection	
			Module	Technology
1	No incidence	Impossible or one time during product life (*) (* Product = module)	Immediately detected at 100%	
2	Aspect failure	1 lot or event / year	Detected at the operation	Detected by SPC monitoring (control at step, wafer sample on lot)
3	Generate dice scrap without wafers < EWS threshold 3 'S3'	1 lot or event / quarter	Detected within the module	Detected by lot/run sample (control at step)
4	Generate a wafer scrap / recycling	1 lot or event / month	Detected at the next module	Detected some steps after (stack process)
5	Generate a scrap > 2 wafers / rework	1 lot or event / week	Detected at parametric test	
6	Low yield / Yield loss Several wafers EWS < Threshold 2/3	Several lots or event / week	Detected at E.W.S Electrical	
7	Rejected lot	1 lot or event / day	Detected at outgoing QA	
8	Product parameter out of tolerance (product randomly functional)	1 time / lot	Detected at final test	
9	Non functionality at customer	Several wafers / lot or run	See in reliability monitoring	
10	Effects products reliability / safety	Each wafer	Non detectable	

RULES:

- For all RPN > 125 the action plan shall be filled to reduce the RPN value. It is also recommended to define an action plan for all Top Five RPN.
- Critical characteristics are defined for Severity = 9 or 10 and Occurrence or Detection above 4, this critical aspect may be declared by the "V" symbol in the column CLASS for easy reading. It needs an action plan.

Grille de cotation des modules.

Ranking	Severity	Occurrence	Detection
1	No incidence	Impossible or 1 time during equipment life	Tool Automatic Detection, (Immediately, at 100%)
2	Aspect failure / cosmetic problem	1 Lot or event/year affected	Detectable after processing
3	Generate rework/recycling for 1 or 2 wafers.	1 Lot or event/quarter affected	Systematic measure after operation
4	Generate a process complement of a lot. Generate lot rework	1 Lot or event/month affected	measurement on lots by sampling or mainframe and sub unities not individually measured
5	- Generate a scrap of 1 or 2 wafers - Delivery delayed	> 1 Lot or event/month affected	Detected at daily monitoring
6	- Yield loss	1 Lot or event/week affected	- Detected some steps after - At weekly monitoring
7	- Rejected lot - Undelivered lots	> 1 lot or event/week affected	Detected at Parametric Test.
8	Product parameter out of tolerance	1 Lot or event/day	At EWS / final test level
9	Non functionality at customer	1 Time/lot	Detected by reliability monitoring (WLRC)
10	- Affects product reliability - Affects product safety	Each wafer/run	Non detectable or to the customer

RULES:

- Recommendations: To determine the initial severity, refer to the FMEA module of the closest technology and see what failure effect and severity was affected to this specific failure mode at the same operation step and see § 5 recommendations.
- For all RPN > 125, the action plan shall be filled to reduce the RPN value. It is also recommended to define an action plan for all Top Five RPN.
- Critical characteristics are defined for Severity > 7. This critical aspect may be declared by the "V" symbol in the column CLASS for easy reading. It needs an action plan.

Grille de cotation des recettes.

Ranking	Severity	Occurrence	Detection
1	No incidence	Impossible or 1 time during equipment life	Block Hardware Automatic Detection, (Immediately, at 100%)
2	Aspect failure / cosmetic problem	1 Lot or event/year affected	Detectable after processing
3	Generate rework/recycling for 1 or 2 wafers.	1 Lot or event/quarter affected	Systematic measure after operation
4	Generate a process complement of a lot. Generate lot rework	1 Lot or event/month affected	measurement on lots by sampling or mainframe and sub unities not individually measured
5	- Generate a scrap of 1 or 2 wafers - Delivery delayed	> 1 Lot or event/month affected	Detected at daily monitoring
6	- Yield loss	1 Lot or event/week affected	- Detected some steps after - At weekly monitoring
7	- Rejected lot - Undelivered lots	> 1 lot or event/week affected	Detected at Parametric Test.
8	Product parameter out of tolerance	1 Lot or event/day	At EWS / final test level
9	Non functionality at customer	1 Time/lot	Detected by reliability monitoring (WLRC)
10	- Affects product reliability - Affects product safety	Each wafer/run	Non detectable or to the customer
RULES: <ul style="list-style-type: none"> Recommendations: to determine the severity, refer to the FMEA Recipe of the closest technology and see what failure effect and severity was affected to this specific failure mode at the same operation step. For all RPN > 125, the action plan shall be filled to reduce the RPN value. It is also recommended to define an action plan for all Top Five RPN. Critical characteristics are defined for Severity > 7, this critical aspect is declared by the "V" symbol in the column CLASS. 			

Grille de cotation des machines.

2 Grilles de cotations pour le temps de cycle

RECIPE SCORE GRID			
Ranking	Objectif opérationnel - Cycle time reduction	Occurrence	Detection
1	No incident (running with expected uptime / utilisation/throughput)	Impossible or 1 time during recipe life	Tool automatic detection (Immediately at 100%)
2	Assit on equipment (equipment slowdown)	1 Lot or event / year affected	Detectable after processing
3	Hold a lot with OCAP documented (solved with TPP)	1 Lot or event / quarter affected	Systematic measure after operation
4	Hold a without without OCAP defined (escalation to support)	1 lot or event / month affected	Measurement on lots by sampling or mainframe and sub units not individually measured - Under SPC control chart - Sensor warning but not fault
5	Hold several lots	More than one Lot or even / Month, but not achieving 1 lot or even / week	Detected at daily monitoring
6	Unscheduled down & capability lost	1 Lot or even /week affected	Detected some step after Detected at weekly monitoring
7	Daily trackout of the operation reduced between 50% and 100%	More than one Lot or even / week, but not achieving 1 lot or even /day	Detected at PT
8	Zero moves for a given product at this operation for more than 2 days	1 lot or event / day	Detected at EWS / final test
9	Zero moves at this operation for more than 2 days	1 Time / lot	Detected by reliability monitoring
10	zero Moves at this operation for more than one week	Each wafer run	Non detectable or to the customer

Grille de cotation des recettes.

Cycle time reduction - SYNTHESE BH				
Ranking	Objectif opérationnel - Cycle time reduction - Uptime machine	Objectif opérationnel - Cycle time reduction - METRO DEF	Occurrence	Detection
1	No incidence	No incidence	Impossible or 1 time during equipment life	SPC on the parameter : 100 % detection of the cause
2	Minor lot delay : acquitement warning : ~10 min	retardement mineur	1 Lot or event / year affected	
3	Lot with a "long" delay : job in cl + job out cl, new job prep, automation hold only : no recipe... ~20 min	Machine Down, le lot attend => Machine avec Backup	1 Lot or event / quarter affected	Sensor Fault (stop the tool)
4	Hold + Rework ~2h lost	Machine Down, le lot attend => Machine sans Backup	1 lot or event / month affected	1 sensor Warning + Daily PM to check alarm
5	Hold + investigation with a daily monitoring check => prod investigation only ~4h	Investigations Engineering + lot hold	More than one Lot or even / Month, but not achieving 1 lot or even / week	1 sensor Warning
6	Hold + engineering investigations >4h	Eqt def down sans backup => impossibilité de qualifier les eqt => Baisse potentielle de l'activité à plusieurs endroits	1 Lot or even /week affected	Daily monitoring
7	Unschedule intervention > 1j	Scrap d'une plaque	More than one Lot or even / week, but not achieving 1 lot or even /day	Weekly PM inspection
8	Decrease of throughput but less than 50% throughput decrease,	Fausses alarmes, Eqt Drft => Baisse de l'activité en 1 points	1 lot or event / day	Monthly PM inspection
9	between 50% & 100 % of throughput decrease,	DEF : Fausses alarmes, Eqt Drft => Baisse de l'activité en +ieurs points METRO : Hold Eqt process pour 1 pb d'équipement metro	1 Time / lot	Quarterly PM inspection
10	Stop line	DEF : Fausses alarmes, sur dérive de la fab, sur un line stop (on bloque tout un atelier) METRO : Hold several eqt process pr 1 pb Eqt Metro	Each wafer run	Non Detectable

Grille de cotation des machines.

ANNEXE 3. QUELQUES OUTILS DE MODELISATION EN ENTREPRISE

Tout au long des cas d'études nous cherchons à tirer des informations pour fournir un ensemble de modèles pour servant à construire une vision de «process control». Cette démarche relève de la modélisation en entreprise. Dans cette annexe, nous présentons quelques méthodes qui vont aider à cette tâche.

1 IDEF et quelques applications

Les suites IDEF présentées et outillées par la société Knowledge Based Systems sont des langages semi formel qui permettent divers types de modélisation. IDEF0 permet la modélisation statique des activités et leurs liens. IDEF3 permet d'identifier les enchaînements dynamiques des différentes activités au sein de processus spécifiques. Un langage complémentaire, IDEF1x, permet la construction des modèles de données sur lesquels les activités et processus vont opérer et le langage IDEF 5 permet de représenter les ontologies du domaine.

La généralité des propositions des suites IDEF, en font une boîte à outils pertinente pour représenter une activité et des processus opératoires d'une machine outil tout comme des activités entières et des processus d'une entreprise.

Voyons quelques utilisations de ces outils :

Comme le souligne [MACKULAK, 1984], une des voies retenue pour réduire les coûts tout en gardant leur niveau d'excellence est d'intégrer les systèmes d'information de fabrication (projet ICAM(Integrated Computer Aided Manufacturing)). Il présente dans son article des activités génériques pouvant être appliquées à n'importe quel usine de fabrique de systèmes aériens.

[HYUNDO 1999] présentent l'utilisation de la modélisation IDEF 0, 1x et 3 pour architecturer un système de maîtrise d'un atelier de fabrication. Ils soulignent que par le passé, le contrôle d'un atelier était lié à la responsabilité de cet atelier. Cela conduit naturellement à la prolifération des solutions locales de contrôle et à des îlots d'automation. A ces solutions ils proposent une démarche d'intégration, d'unification des parties à un tout commun.

Une modélisation, par la technique ARIS (Architecture of Integrated Information System), d'une chaîne de fournisseurs d'une entreprise Chinoise est présentée dans [HAO 2000]. Une réingénierie d'une chaîne de fournisseurs est présentée dans [TRIENKENS 2001]. Ils utilisent les cinq préceptes suivant pour la réingénierie des EPC (Event Process Chain):

- 1) réduire le nombre de processus,
- 2) transformer les processus en événements,
- 3) minimiser les distances de transport,
- 4) augmenter le nombre de traitements en parallèles,
- 5) réduire les temps d'attente avant les processus et éliminer les temps d'attente avant les événements.

Ces applications se positionnent dans la supply chain et évoluent parallèlement à nos travaux.

[ANG CHENG 1999] proposent une amélioration des briques de bases d'IDEF0 afin de pouvoir représenter de manière intégrée les activités et les flux. Cette vue est intéressante, cependant, afin de pouvoir garder le pouvoir d'expression de la représentation statique puis dynamique, dans ce mémoire nous ne retiendrons pas ce choix.

Le thème central de la modélisation d'entreprise est l'intégration. [SMART 1999], posent les remarques suivantes. « Cependant, il y a peu de preuve que la littérature permet de comparer les architectures de référence vis-à-vis des exigences de la réingénierie de processus. De plus, la nature et le contenu des processus métier n'est pas examiné en détail » Par ces deux phrases ils veulent souligner la difficile continuité entre les propositions d'architectures de référence et des applications opérationnelles de réingénierie. Ils proposent alors un modèle de référence pouvant être utilisé par les praticiens de la modélisation.

2 CIMOSA et applications

Les modèles constituant CIMOSA sont exposés dans [VERNADAT 1996]. Un premier développement [KOSANKE et Al, 1999], positionne la méthode CIMOSA par rapport à la modélisation d'entreprise, ses entrées et sorties et les liens qu'elle entretient avec la référence GERAM.

Kosanke et Zelm développent [KOSANKE 1999] les deux vues portées sur le modèle d'entreprise. Le regard du modélisateur, expert, qui doit construire les briques de bases du modèle. Le regard de l'utilisateur ou responsable du processus qui va se servir de ces éléments pour construire son processus. L'amélioration résulte de l'interaction entre l'expert et l'utilisateur.

L'expert définit :

- La bibliothèque des entités d'entreprise et établit celles dans l'outil de modélisation et dans le « répertoire » d'entreprise.
- La classification des entités suivant les 4 vues proposées par CIMOSA : fonctionnelle, informationnelle, ressource, organisationnelle.
- Les attributs de ces objets.
- Les modèles et structures de référence en liant ces entités.
- Des modèles partiels comme des parties réutilisables dans le processus de modélisation.
- Des blocs de construction types pour être plus efficient dans sa modélisation.
- Le cycle de vie de la modélisation : spécification, conception, implémentation.
- La décomposition des activités en opérations fonctionnelles et assigne les ressources.
- Les recommandations d'implémentation des modèles de conception.

Il contribue à :

- L'amélioration des modèles de processus.
- La collecte des dérives par rapport au système conçu (phase d'implémentation).

L'utilisateur du processus définit :

- Défini ou adapte la structure du modèle particulier : domaine, relation, processus, activités.
- Identifie les objectifs et les contraintes, les évènements, les entrées et les sorties du processus (sélectionnées d'une liste).
- Identifie les activités en accord aux fonctionnalités (sélectionnées dans une liste).
- Spécifie la dynamique du processus (flux de contrôle entre les activités : workflow)
- Décrit les activités d'entreprise en terme de :
 - Fonction.
 - Ressource.
 - Contrôles (entrées/sorties) des vues des objets et / ou crée des nouveaux objets.
 - Identifie les évènements déclencheurs, les fins les status.
 - Utilise le modèle en tant que support de décision.

Ces deux propositions permettent de guider les structurer les développements. Elles s'intègrent par ailleurs très bien avec la modélisation IDEF.

Une application particulièrement intéressante permettant de mieux situer la méthode est faite dans [MONFARED et Al, 2002]. Ils positionnent dans leur travaux les 3 phases de l'ingénierie d'entreprise : Sur le chemin entre la description de l'existant (**AS-IS**) et le modèle ultime (**TO-BE**) se trouvent : la phase d'explicitation des connaissances, la phase de visualisation et de modélisation et la phase des analyses des scénarios (**What-IF**). Ils proposent dans leur étude une modélisation, par les briques de base CIMOSA, d'un nouveau projet automobile. Ils procèdent par une analyse descendante du domaine. Ils décomposent des processus du domaine en 2 niveaux pour arriver au niveau des « Business Process » qui sont décomposés en enchaînement d'activités. De cette modélisation AS-IS ils en tirent des micros modèles comportementaux d'un projet d'une construction d'une voiture.

Trois autres applications soulignant la diversité des ouvertures possibles par cet outil :

- Une application de CIMOSA au processus de certification ISO9000 en entreprise est proposée dans [ZELM 1997]
- Une évaluation de conception d'atelier, en utilisant la méthode CIMOSA est également proposée par [ZWEGERS 1997]
- L'article [BERIO 2001] traite de la modélisation des fonctions organisationnelles en utilisant CIMOSA.

3 GRAI et applications

DOUMEINGTS et DUCQ présentent la méthode GRAI dans [DOUMEINGTS 2001] comme un moyen d'améliorer les performances de l'entreprise. Ils proposent une modélisation en entreprise en 4 phases :

- La phase de modélisation ou élaboration de AS-IS
- La phase d'analyse du modèle
- La phase de conception et d'élaboration du modèle TO-BE
- La phase d'implémentation de ce modèle en partant du modèle AS-IS.

Comme le présente [GIRARD 2004] dans leur adaptation de GRAI aux systèmes de conception, il faut tenir compte dans la modélisation des 3 entités intervenant dans le

ystème entre les entrées et les sorties à savoir le système opérant, le centre de décision et le système d'information. Nous représentons cette modélisation Figure 83.

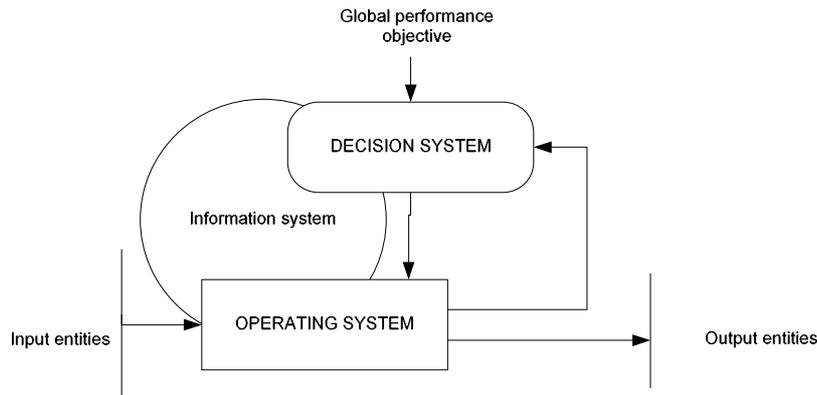


Figure 83. Modèle d'un système.

Ce modèle laisse envisager une interaction entre les activités au centre de la qualification et de l'amélioration et un centre de décision intervenant sur ces activités. C'est ce que nous avons pu confirmer lors de notre proposition.

Le modèle du système conduit à la boucle de pilotage en exploitation exprimée par Yves Ducq dans [DUCQ 1999]. Définissant les termes suivant :

- Objectifs : résultats que doit atteindre le système piloté par le décideur,
- Variable de décision : élément que l'on met en œuvre pour atteindre l'objectif,
- Contraintes : limites d'utilisation des variables de décision,
- Critères : fonctions à optimiser lors du choix des variables de décision.

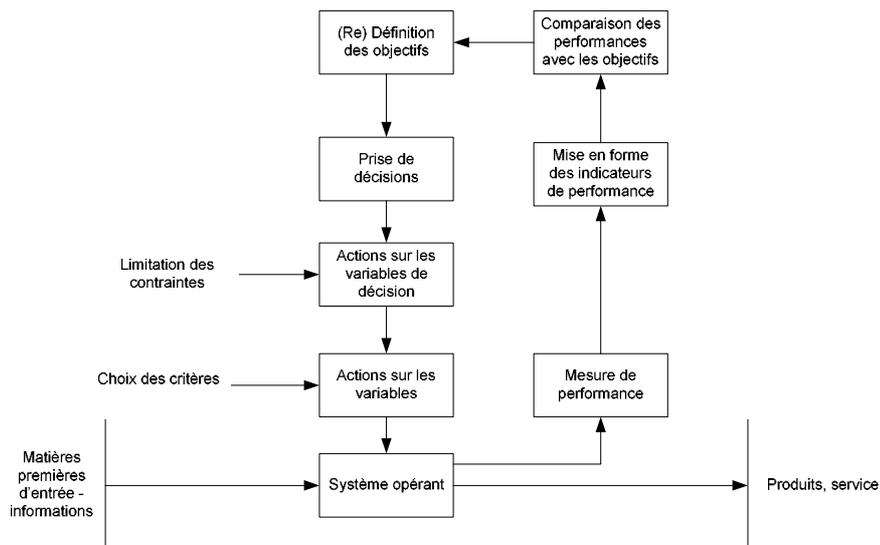


Figure 84. Modèle de contrôle des performances.

Il propose, à partir du schéma Figure 84, une modélisation des objectifs globaux du système opérant en tenant compte de leur décomposition du niveau stratégique au niveau opérationnel.

Dans [MALOUBIER, 1984], GRAI est employé pour analyser et concevoir un système de management de production.

Une application de GRAI est présentée dans [GENTIL 2002] permet de construire les indicateurs adaptés pour la construction et la conduite d'un système de management qualité. Cela permet d'assurer notamment un outil de gestion de la qualité pouvant être décliné jusqu'au niveau opérationnel. L'écueil de l'outil de gestion documentaire est alors évité.

4 Conclusion

La référence est donnée par l'IFAC/IFIP Task Force sur l'architecture des systèmes d'intégration lors de l'IFAC world congrès se tenant à Tallin d'Août 1990. La proposition faite est GERAM pour Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology.

Différentes synthèses et comparaisons existent : Grai se positionne par rapport à GERAM [CHEN 1997], VERNADAT présente dans [VERNADAT 1996] une revue de l'ensemble des langages de modélisation d'entreprise. Quelques synthèses peuvent être également trouvées dans [VERNADAT 1997]

Les entreprises disposent d'un nombre important d'architectures pour la modélisation : GERAM, PERA, CIMOSA, GRAI, IDEF...Ce sont autant de méthodes et de guides pour les aider à comprendre leurs pratiques et à les améliorer. Pour cela comme le souligne Jean François BARRE, [BARRE 2005], il est nécessaire de passer à la pratique, même si ces concepts sont étrangers à de nombreuses entreprises.

De récents travaux s'activent à construire un référentiel unifié pour la modélisation en entreprise [VERNADAT 2002].

ANNEXE 4. ANALYSE DU CONCEPT « CONNAISSANCE »

Dans cette annexe, nous présentons différentes approches du concept de connaissances. Cela nous conduit à la définition de la connaissance employée dans cette thèse.

Cette annexe présente trois approches :

- La première est centrée autour de développements issus des mathématiques appliqués.
- La seconde étant le spectre de traitement des connaissances, tout identifiant les connaissances de manière claire.
- La troisième ouvre des perspectives, en manipulant ce concept sans le définir.

1 Quelques développements relevant des mathématiques appliquées

En intelligence artificielle les connaissances sont définies comme des objets connus et conçus pour être manipulables informatiquement. Dès 1980, des systèmes dits « experts » embarquent et traitent des connaissances modélisées sous forme de règles.

Ces programmes permettent, par exemple, de faire des applications de reconnaissances de formes préétablies. [HATON 1987] expose quelques travaux sur l'intégration d'outils à base de connaissances dans une application de reconnaissance de formes. [FRIGIERE 2001] présentent une application de systèmes experts embarqués comme outils d'aide à la conduite de hauts fourneaux.

De nouveaux langages basés sur les Logiques de Description (DL) permettent de dépasser les capacités de représentation liées du formalisme des règles. Ils possèdent un pouvoir expressif plus important. Les DL sont présentés dans [NAPOLI, 1996] . Des outils LOOM, POWER LOOM, CLASSIC sont employés pour décrire les faits et réaliser les manipulations de concepts ainsi décrits. Ces outils permettent de créer des bases de cas, véritables lieux de capitalisation et de réutilisation des connaissances ainsi modélisées.

Le raisonnement à partir de cas basé sur l'emploi de bases de données classiques est présenté dans [MILLE 1999], [MILLE 2001], [DENIS 2000]. Ces méthodes utilisent des algorithmes statistiques pour reconnaître des formes des cas appris et présentés.

De manière générale, en intelligence artificielle, comme le souligne [HAYES-ROTH 1983], l'explicitation des connaissances est un facteur clef dans le succès ou l'échec d'un système les employant.

Toutes ces approches procèdent d'un courant appelé actuellement l'ingénierie de la connaissance. L'apport des travaux en gestion des connaissances par l'intelligence artificielle est traité dans [METAXIOTIS et Al., 2004]. La règle ou corrélation y trouve une place importante. Nous allons voir dans la suite du paragraphe que d'autres courants de recherches, plus centrés sur l'analyse de données, s'intéressent à la construction automatique de ces règles.

La statistique exploratoire multidimensionnelle est largement utilisée pour découvrir des règles inconnues dans les données. La combinaison des algorithmes d'analyse en

composantes principales et de classification permet d'extraire systématiquement des formes et des règles à partir de larges ensembles de données. Des exemples combinant ces deux approches sont données dans [LEBART 2000]. L'analyse factorielle multiple, basée sur l'analyse générale présentée dans [ESCOFIER 1998] permet d'extraire des corrélations entre deux espaces de dimensions n et m . Industriellement, l'algorithme dit PLS (Partial Least Squares) [TENENHAUS 1998] semble être plus utilisé et notamment dans le secteur de la chimie et des semi-conducteurs. A l'occasion d'un développement particulier faisant appel au traitement des données l'ouvrage de [SAPORTA 1990] pourra être consulté comme une référence. De très nombreuses techniques statistiques existent pour extraire des règles à partir de données : elles vont de la corrélation simple à la corrélation multiple, factorielle ou au plan d'expérience.

La fouille dans les bases de données prend également une dimension importante dans la découverte de d'informations. Ce processus est également appelé Datamining. Une introduction au Datamining peut être trouvée dans [TWO CROWS 1999]. Le volume de données manipulées est très important. Les bases relationnelles ne sont pas conçues pour de tels traitements. Des outils spécifiques sont construits afin de supporter ces fouilles, les données y sont organisées suivant des règles du métier. Elles sont « préformatées » afin de pouvoir être manipulées de manière exhaustive. Ce n'est plus l'économie qui est recherchée au travers de la normalisation des tables, mais l'exhaustivité. La table où sont stockées les données importantes est appelée « table des faits ». Un exemple d'implémentation est proposé dans la thèse de master [TAM 1995]. Le processus de découverte des règles dans une telle table est traitée dans la thèse de FU : [FU 1996]

Les travaux que nous avons précédemment évoqués sont basés sur un traitement automatique des données pour en sortir des informations plus ou moins pertinentes. D'autres courants sont centrés sur la représentation visuelle des données pour faire apparaître des corrélations aux yeux des utilisateurs.

Les analyses visuelles repose sur une interprétation de données dont il faut extraire des connaissances ou des informations pertinentes. A ce titre, TUFTE dans [TUFTE 1997] publie, dans sa troisième version, le récit de l'analyse du tragique accident de la navette challenger. Il présente notamment comment la disposition visuelle des données a favorisé l'émergence de la solution pour les analystes. De nombreux autres exemples dans son livre montrent l'intime liaison entre la découverte des connaissances et la représentation graphique des données les supportant.

Dans le même courant de pensée se situe l'ouvrage de référence de J. BERTIN [BERTIN 1977] spécialiste de la cartographie. Il traite de la manière de représenter des données afin d'en tirer un maximum d'informations pertinentes voir de connaissances. L'analyse de données par des traitements graphiques se basant sur les travaux de J. BERTIN est présentée dans [THORAVAL 1984].

Un rapprochement est fait entre l'analyse de données matricielles et les représentations visuelles dans [CARAUX 1984]. Il propose avant tout traitement statistique une représentation graphique des données afin d'en tirer visuellement des informations pertinentes. Par des traitements élémentaires de permutation un ensemble de formes simples émerge, il suffit de regarder les données pour voir les règles apparaître. Il propose « **d'inciter l'utilisateur d'outils statistiques à mieux s'imprégner de ses données et à en rechercher la cohérence par des moyens du domaine de l'intelligence et non du**

calcul. L'utilisation de modèles au pouvoir de résolution plus puissant n'en sera que plus féconde ».

Un ensemble de travaux poursuivent ces recherches en sémiologie graphique. Les travaux sont essentiellement orientés sur la visualisation de graphes complexes [ABELLO 1999] permettant de visualisation de structures de connaissances.

De récents développements ont aboutis à outiller la théorie des coordonnées parallèles [D'OCAGNE 1885], dans le logiciel XmdVTOOL.

Dans les approches présentées (I.A., Analyse de données automatique et visuelle) la connaissance est bien définie. C'est la règle ou le cas manipulé par l'outil. Nous allons voir dans la suite de cette annexe que cette notion n'est pas si tranchée que cela.

2 La connaissance, un concept bien défini

Dans les outils d'analyses visuelles de données, ce qui est recherché c'est : une règle, un cluster de données... mais l'Humain est au centre de l'interprétation de ces données. Dans les recherches suivantes, la connaissance reste toujours un concept bien identifié. Cependant ces méthodes en proposent une nouvelle définition et structurent leur emploi différemment.

1) Rose DIENG identifie dans [DIENG 1990] différents cycles de vie d'un système à base de connaissances. Elle y décrit notamment les étapes essentielles du cycle KADS, [MARTIN, 1994] qui sont basées sur le cycle de vie logiciel et l'ingénierie des exigences. On y retrouve l'abstraction passant par les 5 niveaux d'abstraction :

- Données (niveau linguistique).
- Modèle conceptuel (niveau conceptuel).
- Modèle Fonctionnel (niveau épistémologique).
- Modèle de conception détaillée (niveau logique).
- Code (Niveau d'implantation).

Des itérations, par prototypage rapide, permettent de boucler entre le niveau conceptuel et d'implémentation. Par ces 5 niveaux les connaissances d'un domaine particulier sont censées être capturées.

2) Pour le retour d'expérience la méthode MKSM, mise en place au CEA par l'équipe de Jean Louis [ER [ERMINE, 1996], est bien connue. Au cœur de leurs développements, le modèle de la connaissance comme un système de signes. A partir de cette définition un microscope est constitué par le croisement des triangles sémiotique et systémiques qui sont définis respectivement par [Syntaxe, Sémantique, Pragmatique]x[Structure, Fonction, Evolution]. La connaissance est supposée modélisable par un flux. Un système de référence des flux cognitifs est construit et présenté Figure 85. Par ce biais, une localisation des connaissances peut être fait en évitant l'aphorisme : « ...la connaissance est partout... »

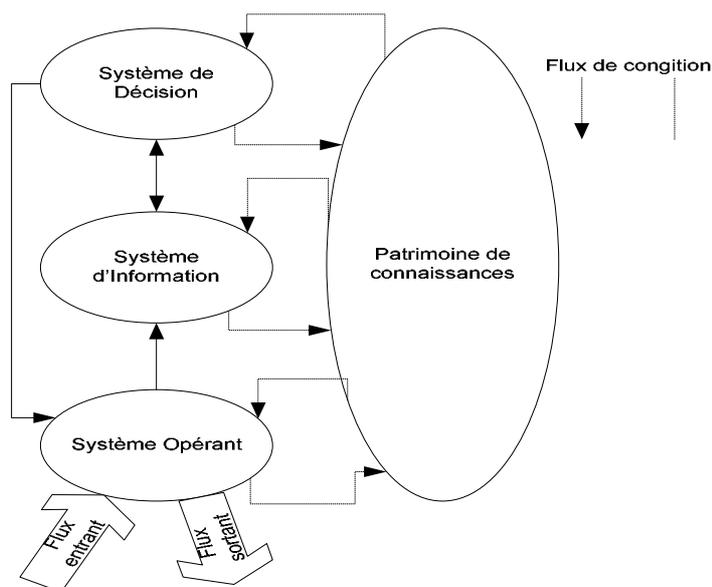


Figure 85. Le système de référence des flux cognitifs

Ce schéma posé, il est appliqué à une entreprise ou organisme particulier. Un ensemble de modèles sont censés le représenter. Ils représentent par des graphes conceptuels : le domaine d'activité, les activités mise en œuvre au sein du domaine, les tâches nécessaires à la réalisation de ces activités.

Ces modèles permettent de prendre en compte les aspects fonctionnels et structurels des connaissances. Les langages employés pour décrire ces modèles représentent les signes et donc leur triangle sémiotique associé. L'aspect évolution est pris en compte de manière succincte dans la dimension temporelle du projet de gestion des connaissances.

Le projet ACACIA, présenté dans [MATTA et Al., 1999] présente diverses méthodes pour capitaliser des connaissances mobilisées lors de projets.

3) Une autre méthode REX est basée sur la constitution d'un ensemble de fiches descriptives des cas étudiés. Les connaissances sont alors supposées être captées par le remplissage des fiches. Un outil permettant la consultation de ces fiches sert alors d'organe de partage et de diffusion de ces connaissances.

Elles sont également basées sur une collecte de fiches descriptives de faits vécus dans un contexte spécifique [PELTIER, 2001].

Ces trois vues sur la connaissance sont des évolutions des pratiques informatiques vues précédemment. Elles restent encore accrochés à un concept atteignable de la connaissance : un document, un programme, un système de signes.

3 Les cadres directeurs de gestion des connaissances

Lorsque la connaissance est définie comme un objet manipulable, des méthodes sont proposées pour savoir comment la gérer. Nous présentons trois travaux qui s'intéressent à une démarche générique pour gérer les connaissances.

[CLARK 2000] proposent une méthode sur les connaissances dans le cadre des recherches :

- Identification des tendances
- Concevoir les opportunités d'une tendance unique
- Concevoir et combiner les tendances
- Créer des scénarios
- Pour cela ils s'appuient sur une démarche structurée de recherche :
- Acquérir les données
- Créer et organiser les données
- Trouver les sources de connaissances
- Editer les connaissances
- Les partager et les travailler.

[LIEBOWITZ, 2000] présente une démarche en 9 étapes :

- Transformer les informations en connaissances
- Identifier et vérifier les connaissances
- Capturer et sécuriser les connaissances
- Organiser les connaissances
- Rapatrier et appliquer les connaissances
- Combiner les connaissances
- Créer les connaissances
- Apprendre des connaissances
- Distribuer ou vendre des connaissances

Elles sont organisées suivant le schéma Figure 86 :

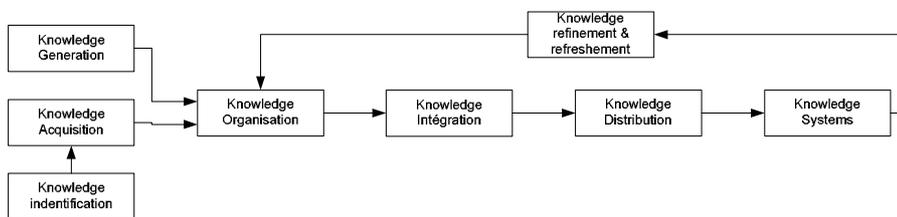


Figure 86. Boucle de la gestion des connaissances.

Michel GRÜNDTEIN propose dans [Grünstein, 2000] 5 activités de gestion des connaissances : **repérer, préserver, valoriser, mettre à jour, gérer les connaissances**. Elles sont décomposées en sous activités. Par leur syntaxe et par le sens qu'elles prennent, elles recourent un ensemble de vues proposées précédemment. Par leur caractère a posteriori elles peuvent faire office de synthèse. Ces activités sont dédiées aux connaissances dites cruciales. Ce caractère est identifié par la méthode des dysfonctionnements présentée dans la thèse [PACHULSKI, 2001].

L'intérêt que présente pour nous la vue de GRÜNDSTEIN repose dans une des sous activités de gestion. Il propose de définir une **métrique** afin de pouvoir quantifier les connaissances et ainsi mieux guider leur management. Dans sa proposition de gestion il souligne également l'importance de la création d'une **vision** et de la nécessité de **former** et d'**informer** autour de cette vision.

De telles démarches sont très génériques et l'applicabilité directe pour notre cas industriel n'est visible. Certes nous pourrions repérer, préserver, valoriser etc. mais comment faire concrètement pour repérer ou valoriser ?

4 La connaissance, un objet non identifié ?

[SNOWDEN 1999] présente une vision radicalement différente de la connaissance. Plutôt que de partir d'une définition du concept de connaissance et des outils qui manipulerait ces concepts, SNOWDEN en parle sans définir le concept. Il adopte ainsi la position de la centaine de managers interrogés dans l'étude de ALAVI et LEIDNER [ALAVI 1999] : Connaissances, informations et données sont des termes intimement liés et définis les uns par rapport aux autres suivant l'utilisation et le contexte.

A partir de ce point il propose trois recommandations :

- Tout d'abord de ne pas véhiculer l'image qui passe de la donnée à l'information, puis à la connaissance, puis à la croyance. Cela véhiculerait un amalgame entre croyance et connaissance, qui nuit, au sein des organisations, à l'image de la gestion des connaissances.
- Comme pour une démarche qualité, la gestion des connaissances ne se décrète pas (par un manager, un cabinet de conseil, l'achat d'un logiciel), mais elle se pratique.
- De ne pas cristalliser la gestion des connaissances dans une fonction de l'organisation. Il préconise la diffusion des modèles simples, cohérents, de bon sens et présents à l'esprit de tous.

WILHELMIJ et HOLDEN présentent dans [WILHELMIJ 1993] une application industrielle de gestion des connaissances. Leur position se rapproche de celle de SNOWDEN. Leur vision de la gestion des connaissances ne se résume pas à un système technologique ou à du conseil. Ils partent du constat que le facteur humain est central. Ils analysent les catastrophes pétrochimiques lors desquelles les facteurs humains étaient directement ou indirectement prépondérant. Que la défaillance ou catastrophe provienne directement d'une erreur humaine, qu'elle résulte d'une mauvaise procédure ou d'un mauvais choix, la décision humaine est au cœur de nombreux problèmes. Rendre compatibles les procédures, les faire appliquer de manière volontaire est un casse tête. Mettre en marche les connaissances des personnes est un problème majeur dans la conduite des usines. WILHELMIJ et HOLDEN positionnent la gestion des connaissances comme un moyen de tenir comptes des diverses contraintes afin d'harmoniser les pratiques, de les rendre plus viables et ainsi diminuer les risques.

Ces auteurs ne définissent pas la notion de connaissances. Mais ils supposent qu'elle peut être caractérisée.

- Parfois, une connaissance peut avoir un média qui les supporte, qui les représente. Un document, une procédure, peuvent être des exemples que nous rencontrons quotidiennement. La connaissance est dite explicite.
- Parfois elles sont intouchables, dans la tête des personnes, elles sont appelées implicites.

Ces deux caractéristiques ouvrent des perspectives de recherches importantes. Est-ce que partager des outils et des supports de connaissances va favoriser le partage de

connaissances implicite ? Par exemple est ce qu'en partageant des documents (plus ou moins structurés) on arrive à produire les mêmes effets chez les personnes les lisant ?

L'emploi raisonné des connaissances repose dans leur pratique quotidienne. Ainsi la manipulation des artefacts représentatifs [GARDONI 2004] de certaines connaissances est au second plan du management des personnes. La gestion des connaissances est avant tout une activité de management.

5 Conclusion

En présentant de manière synthétique des tendances des travaux et application de l'époque [ALAVI et LEIDNER, 1999] mettent en avant la diversité des approches et des vues sur la notion de connaissances et de leur gestion. Concernant la maturité pour le déploiement elles soutiennent l'idée que les expériences n'ont pas encore fait leurs preuves alors que les développements sont très nombreux. «Il n'est pas encore clair que les systèmes de gestion de connaissances vont connaître un large succès où s'ils sont destinés à tomber rapidement en désuétude».

Dans cette partie, nous avons pu voir la richesse des approches possible du concept de connaissance et de gestion des connaissances.

Pour cette thèse nous voulons adopter une définition de la connaissance qui tienne compte de ces approches et du fait qu'une connaissance peut être une règle, un document, mais également qu'elle puisse être tacite. Ces approches semblent hétéroclites mais dans tous ces cas, nous avons vu se dessiné trois pôles :

- Une information (supporté dans un document, une règle, une corrélation...)
- Un système d'interprétation (un système expert, un homme, un programme informatique...)
- Un domaine (contexte d'application du système expert, état dans lequel est la personne, l'entreprise...)

La définition de la connaissance adoptée dans cet ouvrage est proche de celle de [LABROUSSE, 2004].

Une connaissance est pour nous le résultat d'une interaction entre une information, un système d'interprétation et un domaine d'application donné.

Gérer les connaissances : c'est gérer les informations, les systèmes d'interprétation, les domaines d'application donnés et leurs interactions.

ANNEXE 5. LES CONCEPTS ASSOCIES AUX ACTIVITES DU «PROCESS CONTROL»

Deux modèles conceptuels sont présentés dans cette partie. Le premier est relatif aux activités : Collecter, Analyser off line, gérer les Risques, Analyser on line, Synthétiser. Le second est représentatif du domaine dans lequel s'insèrent ces activités. Nous voyons dans une troisième partie comment à partir du modèle du domaine, « alimenter » les activités.

1 Modèle des concepts relatifs aux activités de «process control»

Les activités de «process control» sont réalisées à partir des cas d'étude. Représentons Figure 87 le modèle conceptuel qui les sous-tend. Ces modèles représentent les concepts manipulés par les activités de «process control».

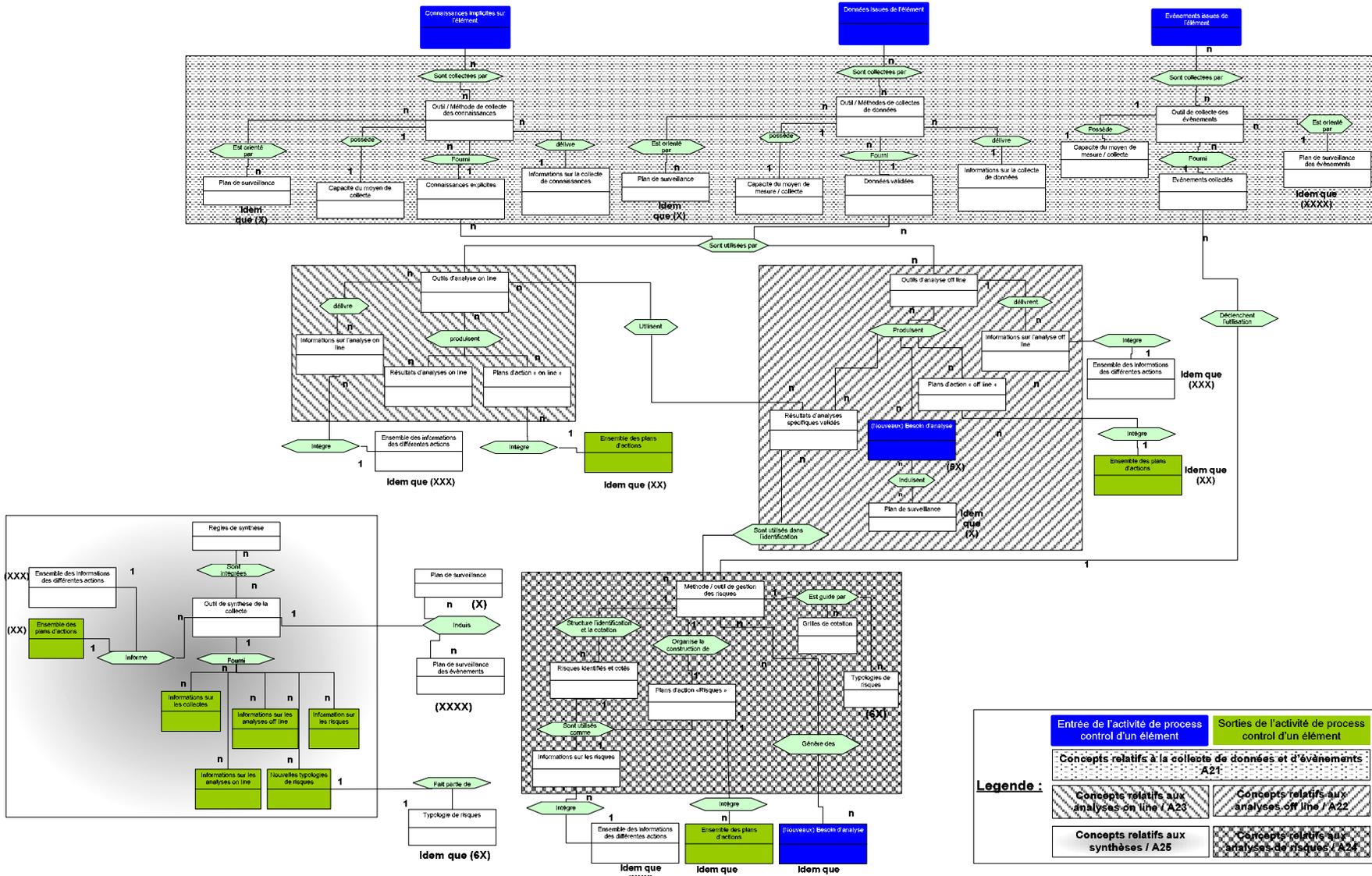


Figure 87. Modèle conceptuel des 5 activités de «process control».

2 Modèle représentatif du domaine

Le modèle réalisé précédemment ne s'applique qu'à un élément particulier des moyens de production : un module, un procédé, une famille d'équipement. Mais le «process control» s'applique à l'ensemble de l'appareil de production.

Ainsi, pour étendre ces activités, décrivons un modèle du contexte de la fabrication des semi-conducteurs.

Un objet fabriqué peut être un produit, un prototype, une technologie. Les différences essentielles lors de la fabrication sont les masques de photolithographie. La distinction est donc faite entre trois types de masques : ceux produit, ceux dédiés à des prototypes, et ceux liés à la technologie. Un objet peut être fabriqué par plusieurs gammes de fabrication. Chaque gamme de fabrication est faite par une succession d'opérations. Chaque gamme possède une certaine maturité. Cette maturité est liée au niveau de maîtrise de la physique de chacune de ses opérations. Le concept de maturité apparaît au niveau de l'opération de la gamme. A chaque opération est associée une spécification. C'est grâce à cette spécification que les indicateurs de capabilité pourront être calculés. Afin de décrire les contrôles qualité, à la notion d'opération est associée celle de mesure. Chacune de ces opérations est déterminée par des études sur les produits.

Chaque opération est réalisée par une gamme opératoire. A l'image d'une recette de cuisine, elle peut être décomposée en sous parties, possède des points de fonctionnements et un déroulement temporel. Chaque étape d'une recette peut n'être que d'un des 5 types suivant :

- Process,
- Attente,
- manipulation,
- Paramétrage,
- Entrée/Sortie.

Les recettes sont déterminées par des études dites de process

Chaque opération est réalisée sur des machines qui possèdent la capacité de la fabriquer. Une machine possède plusieurs capacités. Cette réalisation est possible par l'application d'une recette. Un équipement possède plusieurs recettes et une recette peut être possédée par plusieurs équipements. Une machine fait partie d'un atelier. Une machine est soit de métrologie soit de procédé. Chaque équipement possède des blocs machine. Chaque bloc possède des paramètres équipements. Chaque bloc possède peut être un effecteur, un capteur ou un bloc de traitement (logiciel). Chaque bloc possède des variables qui prennent différentes valeurs. Les machines sont déterminées et maintenues lors d'études équipements.

Le modèle global peut donc être représenté comme suit :

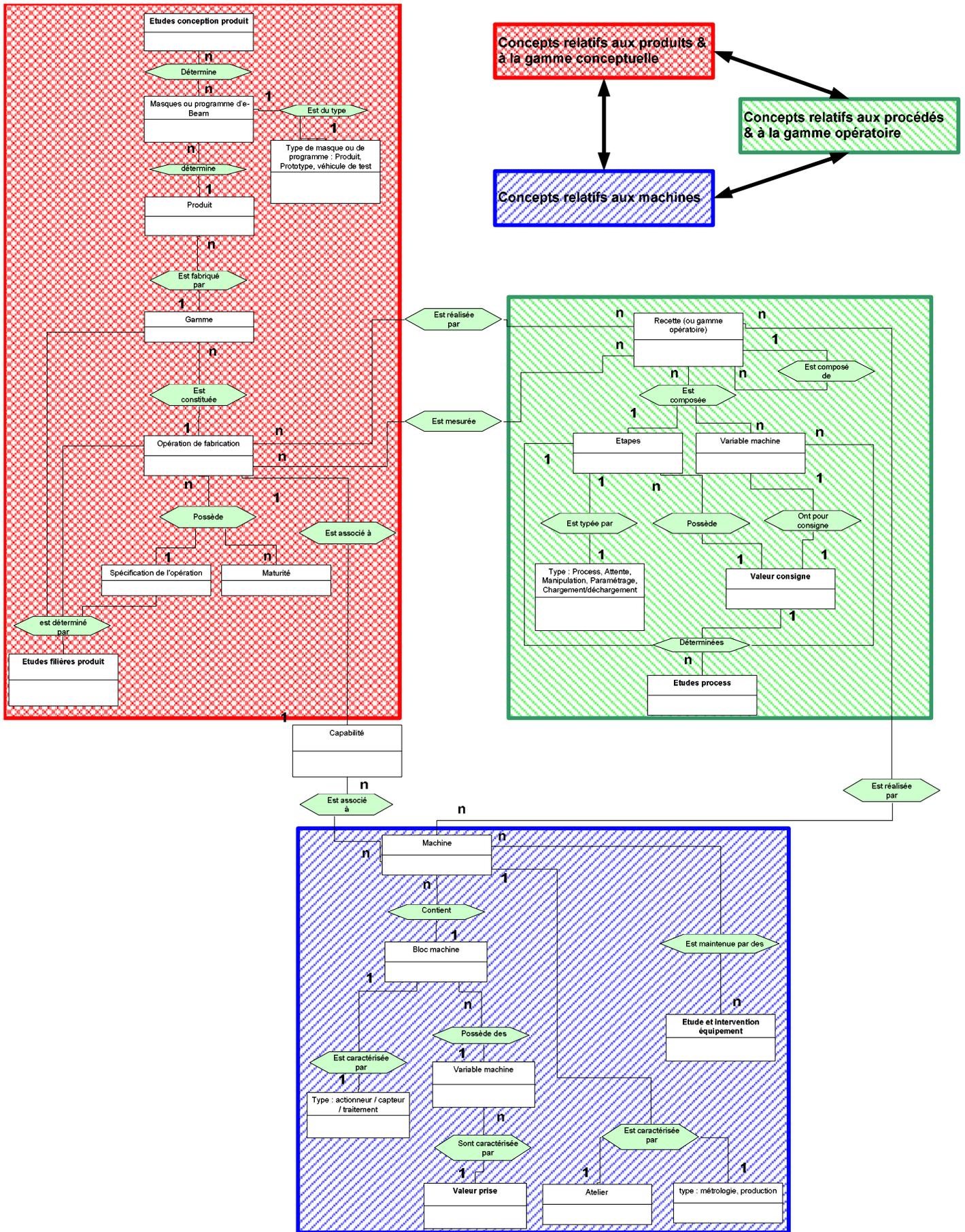


Figure 88. Modèle conceptuel du domaine des fabrications front-end semi-conducteur.

Ce modèle complète le modèle présenté dans le chapitre introductif. Il permet donc de préciser les liens :

- Produit,
- Procédé,
- Machine

Il rend compte de l'interaction entre ces différentes parties sans pour autant prétendre à l'exhaustivité des vues.

3 Interaction entre les modèles conceptuels et les activités : « Alimentation » des activités

a) Introduction :

Ces modèles représentent le « tissu » minimal de concepts devant être disponibles dans la « réalité » afin de pouvoir appliquer les activités de «process control».

La vue fabrication peut être abordé à différents niveaux :

- Au niveau produit, elle sera représentée par la gamme de fabrication et les contrôles produits associés.
- Au niveau procédé, elle sera représentée par les gammes opératoires de fabrication (recette) et leur décomposition
- Au niveau machine, elle sera représentée par les machines et leur décomposition.
- A chacun des niveaux :
- La partie conceptuelle représente la décomposition du métier ainsi que les consignes et spécifications.
- La partie réelle comportera les valeurs prises.

Ainsi lorsque les variables machines décrites dans une recette sont identiques à celles des équipements possédant cette recette alors les valeurs prises par les machines sont à comparer aux valeurs consignes des recettes.

Afin de pouvoir appliquer les modèles d'activité sur le modèle du domaine proposé, vérifions qu'il peut bien fournir l'ensemble des entrées de cette activité.

b) Fourniture des données :

Dans cette partie nous montrons comment le modèle du domaine peut fournir, pour chaque élément, les données le concernant.

Par produit, les spécifications liées à ses opérations servent de référence vis-à-vis à comparer à la valeur alors obtenue lors de la réalisation de cette opération sur une machine. Dans le modèle de donnée Figure 88, les seules valeurs ayant une réalité matérielle sont celles prises par les machines.

Seules les machines et leurs effecteurs permettent des transformations physiques et donc permettent de passer des consignes ou spécifications conceptuelles à une réalité physique.

Au niveau des machines : Les valeurs que prennent les variables des machines sont le niveau de description le plus élémentaire.

Au niveau des recettes (gamme opératoire) : Le lien entre l'instance d'une consigne et cette consigne reste simple :

la « variable consigne » au niveau de la recette doit être comparée à la « variable prise » au niveau machine.

la machine doit posséder cette recette.

Au niveau des produits : Le lien une spécification et la réalisation de cette spécification n'est pas immédiate. L'instance d'une spécification n'est pas directement une valeur d'une variable machine. En fait, ce sont des mesures réalisées sur des machines spécifiques (les machines de métrologie) qui doivent être comparées aux spécifications conceptuelles.

Cependant les valeurs prises par les capteurs de ces machines sont traitées au travers de modèles avant d'être représentatives de la réalisation de la recette complète (gamme opératoire). La valeur ainsi traité peut alors être comparée à sa référence conceptuelle : la spécification de l'opération de la gamme. Le lien entre les spécifications de l'opération et les valeurs machine est :

Si le type de la machine est « métrologie » et que le bloc machine est de type « traitement » alors les valeurs qu'il fourni au travers de ses variables peuvent être comparés aux spécifications de l'opération qui a appelé la recette de mesure, qui elle-même a appelé la machine fournissant cette valeur.

Par ces liens il est ainsi possible pour chaque élément d'avoir les données le concernant.

c) Les évènements :

Dans cette partie nous montrons comment le modèle du domaine permet de restituer la notion d'évènement et ainsi alimenter les différentes activités.

L'évènementiel est capté par une procédure pouvant être appliquée sur ce modèle conceptuel.

- Evènementiel d'une machine : Il n'est pas pris en compte en dehors des opérations de fabrication.
- Evènementiel gamme opératoire : si, malgré l'ensemble des automates de régulation, la valeur prise par la variable machine ne correspond pas à la consigne attendue dans la recette alors une action peut être déclenchée pour identifier l'apparition d'un phénomène perturbateur de la recette. Après analyse humaine, cet évènement est attribué soit à la machine, soit à la recette (gamme opératoire). Etant donné qu'elle s'est produite lors d'une opération de la gamme de fabrication cette information est également disponible.
- Evènementiel de la gamme de fabrication : Si la spécification de l'opération et la valeur qui lui est comparée ne correspondent pas, une action peut être déclenchée pour identifier l'apparition du phénomène perturbateur de la recette. Après analyse humaine, cet évènement est attribué soit à la machine, soit à la recette, soit à l'opération. Un évènement est décrit par : Sa description et son élément d'attribution.

Comme présenté en introduction de cette thèse, la différence principale entre un produit et un véhicule de test d'une technologie réside dans les masques qui le caractérisent. Une technologie sera donc maîtrisée si chacune de ces opérations est maîtrisée. Elle est dans

un niveau de maturité si chacune de ses opérations est au moins dans une de ce niveau de maturité.

Le changement de maturité d'un produit peut donc être reproduit par l'évènement suivant :

- Toutes les maturités de chaque opération du produit sont au dessus d'un certain niveau de maturité. La dernière opération qui possédait un niveau de maturité inférieur au seuil est passée au-delà.

Ainsi les évènements capables d'être tracés par ce modèle sont :

- L'apparition d'un risque opérationnel (au sens défini dans le second chapitre)
- Un changement de maturité

d) Le grain de description le plus élémentaire :

Le modèle proposé ne décrit pas toute la réalité. Il permet de décomposer l'élément jusqu'en un atome élémentaire de modélisation.

Ainsi :

- Le grain descriptif de plus fin pour un produit est l'opération de fabrication.
- Le grain de description d'une recette est la variable et sa consigne associée dans une étape donnée.
- Les données élémentaires disponibles sur une machine sont les valeurs que prennent ses variables. Ainsi le grain le plus fin de description d'une machine est ses variables.

Du point de vue évènementiel les limites existent également :

Dans le cas de la non maîtrise d'un élément, puisque les données à la création de la notion d'évènement sont les mêmes que celles pour la description des éléments, le grain de description de chaque élément d'un point de vue de l'évènementiel est identique que celui pour les données

(+) Points positifs de ce modèle :

Il permet d'appréhender le lien produit – procédé – machine par la vue de la **fabrication**

(-) Limites de ce modèle :

Les changements intervenant ainsi au niveau conception, architecture produit, procédé et machine, ne sont pas pris en compte.

Les défaillances des équipements n'apparaissent pas directement. Il faut donc envisager une autre vue sur ce modèle pour prendre en compte l'évènementiel des défaillances machines.

4 Discussion et limites de ces modèles

Avec le modèle conceptuel du domaine proposé, il est possible d'alimenter I1 et I2 de l'activité Figure 69 page 142 pour les éléments :

Machines

Recettes

Produits

De la disponibilité des experts relatifs à ces 3 éléments assurera I3.

C2 provient :

- Des décompositions du niveau A-0 jusqu'au 3^{ième} niveau
- Du modèle de données associé Figure 87

La décomposition de l'élément proposé dans Figure 88 permet de répondre au contrôle C3.

C1 est défini par les objectifs de l'entreprise. On peut imaginer qu'il soit défini au travers d'un modèle d'entreprise.

Les règles définies dans le paragraphe 3 sont à appliquer par les outils de collecte pour obtenir :

les données

les évènements

les information pertinentes

I1, I2, I3, C1, C2, C3 étant réunis, les modèles proposés permettent donc bien de lancer l'activité de qualifier et améliorer l'élément.

ANNEXE 6. DETAIL DES PARAMETRES DES ACTIVITES DE «PROCESS CONTROL»

Activité	Sous activité	Sous-SousActivité	Paramètre à définir
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des connaissances	Plan de surveillance
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des connaissances	Méthode de collecte
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des connaissances	Outils de collecte
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des données	Outils de collecte
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des données	Plan de surveillance
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecter des données	Cpm
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecte des événements	Plan de surveillance
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecte des événements	Outils de collecte
Réaliser la qualification et l'amélioration	Collecter	Collecte des événements	Cpm
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Définir les éléments à analyser	Disposer des experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Analyser les données	fichiers de paramétrage des calculs
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Analyser les données	outils de calculs
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Evaluer les résultats	Disposer d'experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Evaluer les résultats	Règles d'interprétation
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Analyser des connaissances	Règles d'analyses
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Analyser des connaissances	Méthodes d'analyses
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Evaluer les connaissances	Règles d'interprétation
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser off line	Evaluer les connaissances	Disposer d'experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Mettre en relation	Règles de mise en relation
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Mettre en relation	Outils & experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Identifier et analyser les risques	Outils
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Identifier et analyser les risques	Typologie des risques
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Identifier et analyser les risques	Règles d'analyses
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Coter	Grilles de cotation
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Coter	Disposer d'outils ou d'experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Construire les plans d'actions	Règles de construction des PA
Réaliser la qualification et l'amélioration	Gérer les risques	Construire les plans d'actions	Experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Calculer les paramètres statistiques	Outils de calculs
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Calculer les paramètres statistiques	Fichiers de spécification
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Calculer les paramètres statistiques	fichiers de paramétrage des calculs
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Calculer les paramètres statistiques	Contraintes
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Utiliser les indicateurs	Règles d'interprétation
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Utiliser les indicateurs	Experts
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Utiliser les limites	Limites
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Utiliser les limites	Outils
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Analyser avec des outils spécifiques	Fichiers de spécification
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Analyser avec des outils spécifiques	Contraintes
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Analyser avec des outils spécifiques	Fichier de paramétrage des calculs
Réaliser la qualification et l'amélioration	Analyser on line	Analyser avec des outils spécifiques	Outils non conventionnels
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser les collectes	Outils
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser les collectes	Règles
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser les analyses on line	Outils
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser les analyses on line	Règles
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser les analyses off line	Outils
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser les analyses off line	Règles
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser la gestion des risques	Outils
Réaliser la qualification et l'amélioration	Synthèse	Synthétiser la gestion des risques	Règles
gestion de la qualification et de l'amélioration			Objectif opérationnel
gestion de la qualification et de l'amélioration			Modèle de process control
gestion de la qualification et de l'amélioration			Disposer de manager

50 paramètres sont nécessaires pour pouvoir appliquer correctement l'ensemble des activités de «process control».

ANNEXE 7. REALISATIONS DE LA MISE SOUS CONTROLE DES FACILITIES.

1 Modèle des données de la base de données off line des facilities

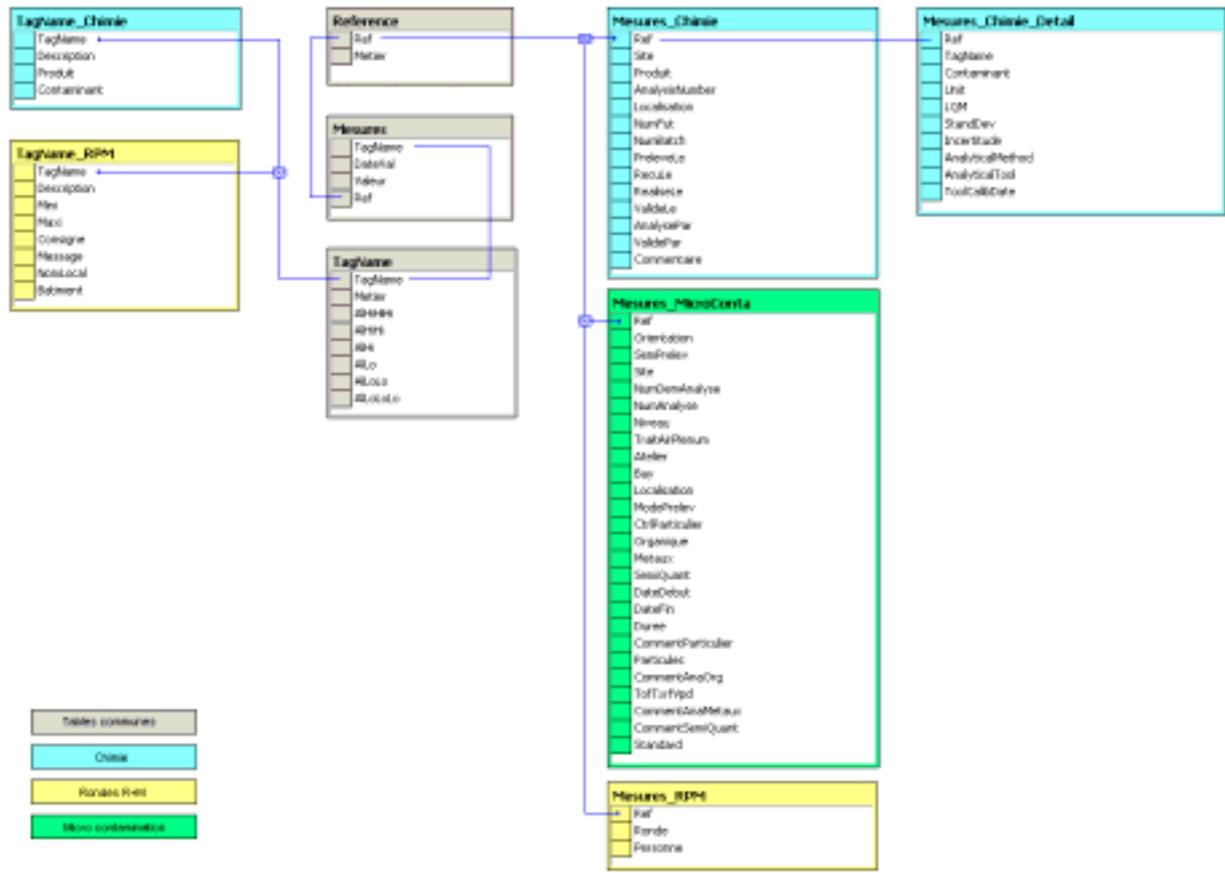


Figure 89. Modèle conceptuel de données de la base de données off line.

2 Présentation des outils SPC des facilities

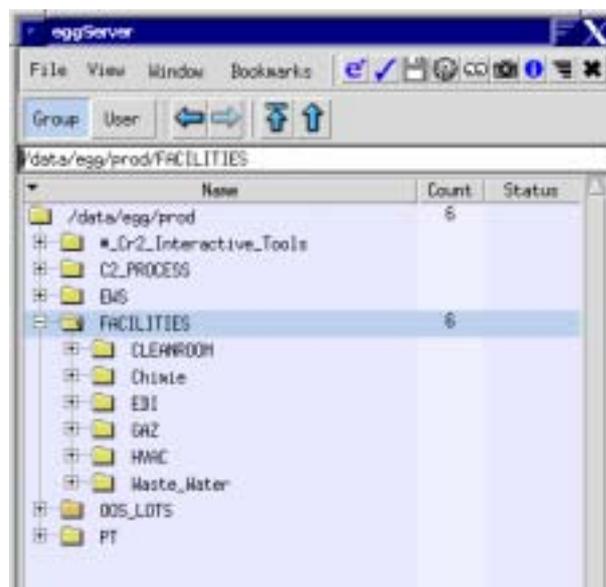


Figure 90. Photo d'écran de l'outil de visualisation des cartes de contrôles.

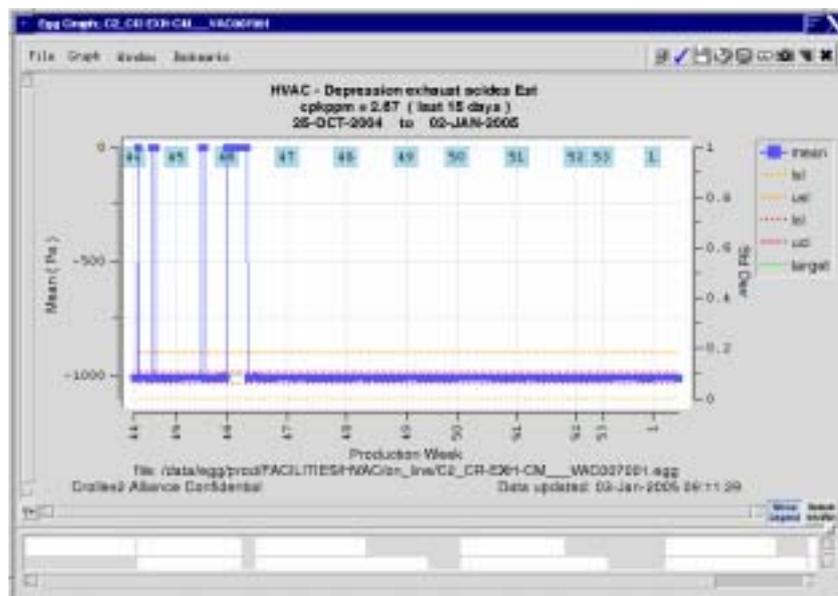


Figure 91. Photo d'écran d'une carte de contrôle.

ANNEXE 8. REALISATION DE LA GESTION DES RISQUES OPERATIONNELS

Nous avons déployé la méthode de gestion des risques, présentée Figure 92, sur l'ensemble de l'usine

Nous avons construit et utilisé l'outil de synthèse, présenté Figure 94, permettant d'identifier les zones risquées et de suivre les plans d'actions pour les réduire.

Figure 93, est présenté un extrait des analyses réalisées.

1 Méthode

TITLE: FMEA MANAGEMENT GENERAL RULES

TABLE OF CONTENT

1.	PURPOSE	2
2.	SCOPE	2
3.	REFERENCE DOCUMENTS	2
3.1	RADCS Documents	2
3.1.1	Process description – N/A.....	2
3.1.2	Other RADCS documents.....	2
3.2	Other references	2
4.	DEFINITIONS	3
5.	GENERAL	4
5.1	Specific Process description by FMEA family	4
5.1.1	Module (Technology) & Recipe (Equipment Recipe) & Block Hardware (Equipment Blocks)	4
5.1.1.1	Process Model Flow description and FMEA Link	4
5.1.1.2	How to proceed in terms of FMEA deployment and priorities	6
5.1.1.3	FMEA Updates frequency	6
5.1.2	Automation FMEA Process	6
5.1.3	Design (Library Development) FMEA Process	6
5.1.4	Water shipment FMEA Process	6
5.1.5	Incoming materials FMEA Process	6
5.2	FMEA session Generic processes	7
6.	SAFETY/SECURITY REQUIREMENTS	8
6.1	Security – Confidentiality rules	8
7.	PROCEDURE	9
7.1	FMEA Module (Technology)	9
7.1.1	FMEA Module	9
7.1.1.1	Customer	9
7.1.1.2	FMEA team	9
7.1.1.3	Evaluation criteria for module FMEA	9
7.1.1.4	Records	9
7.1.2	FMEA Technology	9
7.2	FMEA Recipe (Equipment Recipe)	10
7.2.1	Customer	10
7.2.2	FMEA team	10
7.2.3	Evaluation criteria for Recipe FMEA	11
7.2.4	Records	12
7.3	FMEA Block Hardware (Hardware Blocks)	13
7.3.1	Customer	13
7.3.2	FMEA team	13
7.3.3	Evaluation criteria for Block Hardware FMEA	13

Current Document
CTRL + click to follow link

Full Screen
Close Full Screen

Figure 92. Extrait de la méthode de gestion des risques.

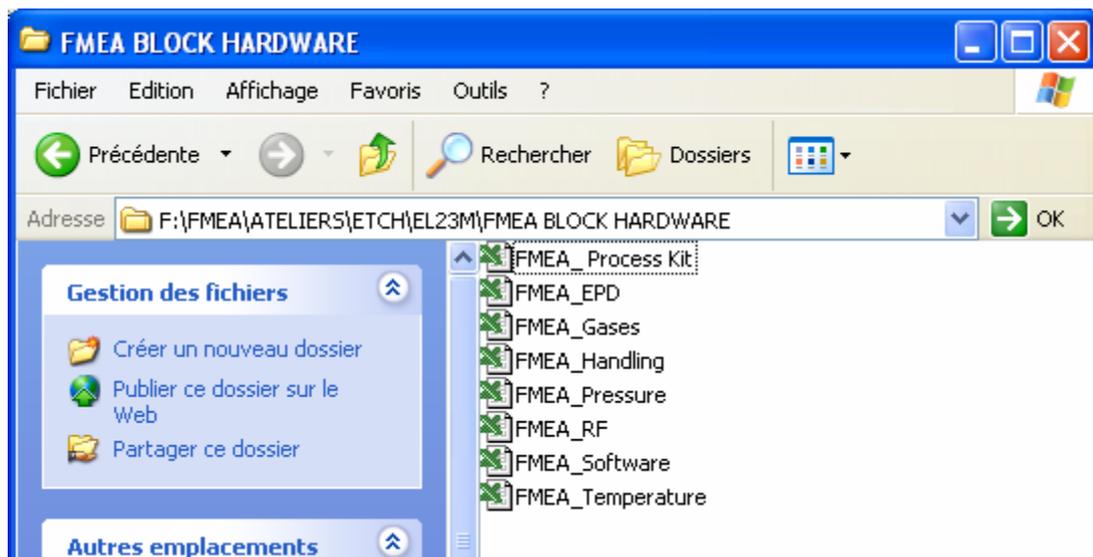


Figure 93. Extrait des analyses de risque des machines.

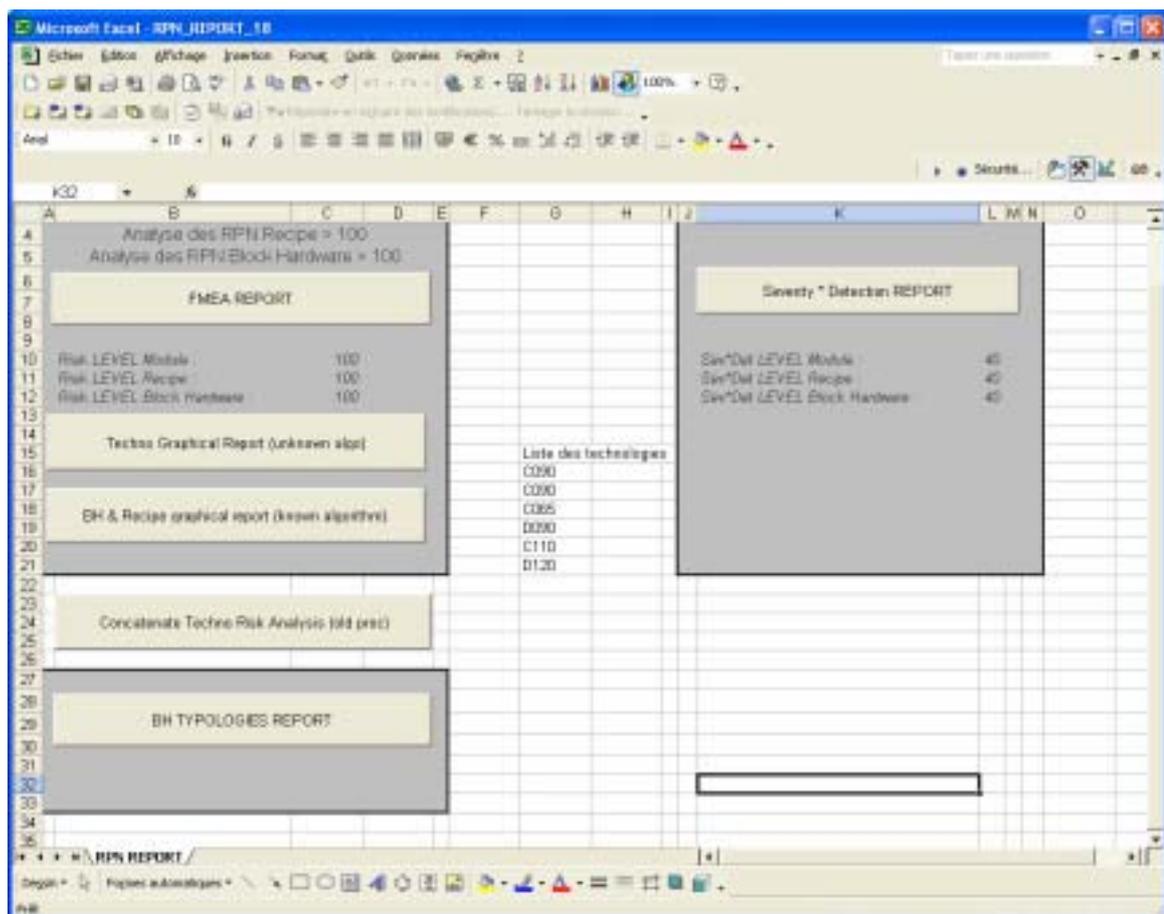


Figure 94. Prototype informatique pour la synthèse des risques.

2 L'outillage

Pour les risques majeurs, l'outil de synthèse recherche dans les fichiers d'AMDEC les risques à la gravité supérieure au seuil de déclenchement d'une action et les places dans le rapport de synthèse.

Chaque risques majeurs machines comporte les information suivantes :

- le nom du bloc machine en cause,
- le nom de la famille d'équipements concernés,
- l'atelier impacté,
- le risque identifié,
- sa cotation,
- l'action associée,
- la cotation prévisionnelle,
- l'endroit où est stocké l'analyse.

Chaque risque majeur des recettes comporte, dans la synthèse, les information suivantes :

- le nom de la recette,
- le nom de la famille d'équipements concernée,
- l'atelier impacté,
- le risque identifié,
- sa cotation,
- l'action associée,
- la cotation prévisionnelle,
- l'endroit où est stockée l'analyse.

Chaque risque majeur des modules comporte dans la synthèse:

- le nom du module,
- le risque identifié,
- sa cotation,
- son action,
- sa cotation prévisionnelle,
- l'endroit où est stockée l'analyse.

Une illustration est donnée dans la Figure 86, pour le rapport des blocs machines

Worksho	EQUIPMENT	Bloc Hardware Name	FILES LOCATION	ITEM NUMBER	FUNCTION	FAILURE MODE	FAILURE EFFECT
CMP	CMOMA	FMEA_APC.xls	C:\Documents and Settings\Bassetto\Mes documents\Thèse\Expériences\FMEA\Ateliers\CMP\CMOMA\FMEA_BLOCK HARDWARE\FMEA_APC.xls		APC	Downforce pressure drift	Underpolish/low range/NU issues RR,
CMP	CMOMA	FMEA_APC.xls	C:\Documents and Settings\Bassetto\Mes documents\Thèse\Expériences\FMEA\Ateliers\CMP\CMOMA\FMEA_BLOCK HARDWARE\FMEA_APC.xls		APC	Downforce efficiency drift	Range/NU and RR

Figure 95. Extrait des risques machines.

3 Réalisation

a) la vue synthétique sur les risques machines

L'outil de synthèse fournit des analyses complémentaires pour chaque élément. Il est mentionné :

- le nombre d'analyses réalisées (i.e. le total des fiches AMDEC),
- le nombre de risques identifiés (nombre de lignes cotées),
- le nombre de risques dont la gravité (RPN) est supérieure au seuil (125) de déclenchement d'une action, le nombre de risques dont le RPN est supérieur à 125 et sans action,
- le nombre de risques dont le RPN est supérieur à 125 et sans gravité prévisionnelle.

Des informations contextuelles sont données au niveau des machines, recettes et modules. Nous présentons l'extrait de ce rapport dans la Figure 96.

Workshop	EQUIPMENT F	nb de BH fait	nb de risques BH évalués	RPN > 125	RPN > 125 ss action	RPN > 125 ss Forecast
CMP	CMOMA	13	51	3	0	3
CMP	CREFA	19	222	13	0	0
CMP	CREFB	20	241	13	0	0
DEF	F2351	0				
DEF	F2360	0				

Figure 96. Extrait de la synthèse des risques des machines.

b) la vue synthétique sur l'usine

La vue synthétique sur l'usine est composée d'une récapitulation par atelier des informations relatives aux blocs machines et aux recettes. Les recettes étant dépendantes des technologies cette information est également disponible. Ainsi chaque atelier dispose des mêmes informations sur ses risques :

- le nombre d'analyses faites (nombre de fichiers Excel),
- le nombre de risques identifiés (nombre de lignes cotées),
- le nombre de risques dont la gravité (RPN) est supérieure au seuil de déclenchement (125) d'une action,
- le nombre de risques dont le RPN est supérieur à 125 et sans action,
- le nombre de risques dont le RPN est supérieur à 125 et sans gravité prévisionnelle.

L'agrégation est réalisée autour du pivot : « familles d'équipements ». Un extrait est présenté dans la Figure 97.

Nom workshop	Nb de scrap	BH		BH		C090		C090		C090		C090	
		nb de analyses	nb de risques BH évalués	RPN > 125	RPN > 125 ss action	RPN > 125 ss Forecast	Nb de recettes analysées	nb de risques évalués	RPN > 125	RPN > 125 ss action	RPN > 125 ss Forecast		
CMP	8	52	514	29	0	3	1	18	0	0	0	0	0
DEF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIEL	7	20	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETCH	9	58	1294	6	6	0	5	201	6	2	0	0	0

Figure 97. Synthèse des risques des ateliers.

Afin de valider la pertinence des analyses, un indicateur est introduit dans ce rapport. Placé en colonne 2, il montre le nombre d'évènements opérationnels survenu dans l'atelier dans un temps donné.

Cette démarche de mise en correspondance du nombre d'évènements opérationnels et du nombre d'analyses a pour but voir si les analyses de fiabilisation de l'atelier ont été bien menées ou si les connaissances mises dans les documents ne sont pas bonnes.

Le choix fait dans cette proposition est d'inclure l'information disponible à partir de la base générale de rapports à savoir : le nombre d'évènements scraps depuis le début du mois en cours. Cette proposition est en cours d'évolution afin de tenir compte des réaffectations des non conformités.

Les vues sur les modules sont regroupées pour fournir une supervision des technologies – voir, nous la présentons dans la Figure 98.

Techno	Nb de modules analysés	nb de risques évalués	RPN > 125	RPN > 125 ss action	RPN > 125 ss Forecast
C090	14	484	6	0	0
C120	13	797	11	0	0

Figure 98. Synthèse des risques des technologies.

CONTRIBUTION A LA QUALIFICATION ET AMELIORATION DES MOYENS DE PRODUCTION

~

Application à une usine de recherche et production de semiconducteurs

RESUME: *La production industrielle de bien manufacturés permet, par une organisation et des actions adaptées, de toucher directement la qualité de milliers de produits. Cette thèse s'inscrit dans la logique d'amélioration de la qualité, par des actions sur les moyens de production. Elle est appliquée aux fabrications de circuits intégrés. Ces industries sont contraintes par un constant renouvellement des produits, des fortes rentabilités sur de très courtes périodes, une nécessité de produire en qualité et une exigence de rentabilité des moyens de recherche et production. Elles sont donc confrontées à des cycles d'apprentissage et de maîtrise de leurs moyens de production très courts, tout en maximisant la rentabilité. La recherche de la qualité est une priorité stratégique de ce secteur. Elle ne peut donc pas être uniquement décrétée, mais doit être opérationnelle et doit tenir compte des contraintes du domaine. Nous proposons pour cela un modèle en entreprise permettant de qualifier et d'améliorer les moyens de production de manière opérationnelle, dynamique tout en supportant les connaissances métier. Ce modèle est construit en intégrant les résultats de nos deux cas d'étude industriels. Cette thèse débute par une présentation du process control et de la problématique qui lui est associée. Le deuxième chapitre traite de la gestion des risques opérationnels. Le troisième traite de la mise sous contrôle des moyens généraux. Le modèle en entreprise est alors construit, au quatrième chapitre, en consolidant les résultats obtenus. L'application à d'autres horizons industriels clôture notre proposition.*

Mots-clés: *Modélisation en entreprise, maîtrise des procédés, amélioration continue, ingénierie qualité, fabrications industrielles, liens produits – processus de fabrication - ressources*

TOWARD A DYNAMIC, OPERATIONAL AND "EMBEDED KNOWLDEGE" MANUFACUTING IMPROVEMENT

ABSTRACT: *Industrial production of manufactured goods enables, through a well designed organization and adapted actions, to raise quality of thousand products at the highest level. This thesis is involved in quality continuous improvement by actions on manufacturing systems. It is applied to integrated circuit manufactures. These industries are constrained by a high product turn rate, a short period of time of high leveled return on investments, a customer requirement of high level of quality, a requirement of profitability for research and production facilities. These industries are facing short cycle time for learning and mastering their technologies while maximizing their benefits. That is why constant quality improvement is a strategic goal for theses industries. Quality cannot be only announced but have also to be operationally applied and to go over domain constraints. For that, we propose an enterprise model to qualify and improve manufacturing system in a dynamic and operational manner so as sustaining business knowledge and improving business excellence. The model is built from results of our two industrial study cases. The dissertation starts with a presentation of process control and its main objective. The second chapter deals with operational risks management. The third chapter deals with statistical process control of plant's facilities. The enterprise model is then built in the fourth chapter by aggregating results from the two previous analyses. Recommendation for the model implementation to other industries concludes the dissertation.*