

Prise en charge des risques des projets de développement à caractère innovant : proposition d'un outil de mise en oeuvre dans l'industrie mécanique

Sébastien Picand

▶ **To cite this version:**

Sébastien Picand. Prise en charge des risques des projets de développement à caractère innovant : proposition d'un outil de mise en oeuvre dans l'industrie mécanique. Sciences de l'Homme et Société. Arts et Métiers ParisTech, 2010. Français. NNT : 2010ENAM0023 . pastel-00006221

HAL Id: pastel-00006221
https://pastel.hal.science/pastel-00006221

Submitted on 17 Feb 2011

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

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

N°: 2010 ENAM 0023

ECOLE DOCTORALE N°471 : SCIENCE DE LA DECISION ET DE L'ORGANISATION
EQUIPE DE RECHERCHE GRID - GREGOR EA 2474

THESE

Pour l'obtention du grade de

Docteur

de

L'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité : Sciences de Gestion

PRISE EN CHARGE DES RISQUES DES PROJETS DE DEVELOPPEMENT A CARACTERE INNOVANT

PROPOSITION D'UN OUTIL DE MISE EN ŒUVRE DANS L'INDUSTRIE MECANIQUE

Présentée et soutenue publiquement par

Sébastien PICAND

le 16 Juin 2010

JURY

Président :	Pr. Alain Bensoussan	University of Texas, Dallas Membre de l'Académie des Sciences
Rapporteurs :	Pr. Dr. Claudia Keser	Georg-August-Universität, Göttingen
	Pr. Jacques Thépot	Université de Strasbourg
Examinateur :	Pr. Olivier Brandouy	IAE de Paris, Université Paris 1
Directeur de thèse :	Pr. Bertrand Munier	IAE de Paris, Arts&Métiers ParisTech
Co-directeur de thèse :	Dr. Marc Lassagne	Arts&Métiers ParisTech
Tuteur en entreprise :	Dr. Ingr. Ralf Späth	LIEBHERR-France, Colmar

Arts et Métiers ParisTech (Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers) est un Grand Etablissement dépendant du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, composé de huit centres :
AIX-EN-PROVENCE ANGERS BORDEAUX CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE CLUNY LILLE METZ PARIS

A ma famille,

à mes amis,

à Katia

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement:

Le Pr. Bertrand Munier, directeur du GRID, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de diriger cette thèse, pour sa disponibilité et pour toutes les discussions stimulantes et inspirantes que nous avons pu avoir ; elles ont guidé mon travail tout en me laissant une entière liberté quant à sa réalisation.

Le Dr. Marc Lassagne, pour son aide régulière et ses précieux conseils, distillés aux moments où j'en avais le plus besoin.

Les autres doctorants et élèves du GRID et de l'ENSAM qui m'ont aidé dans ce travail de thèse. Je pense notamment à Céline Tea, Roxanne Duret, Aurélien Baillon, Matthieu Collardeau, Fernand Goncalves, Elizabeth, ainsi que toutes les personnes ayant donné de leur temps pour les expérimentations.

Le Pr. Claudia Keser, de l'université de Göttingen, pour avoir accepté d'être pré-rapportrice, pour sa relecture attentive et ses remarques encourageantes.

Le Pr. Alain Bensoussan, pour nous avoir fait l'honneur de participer au jury de cette thèse et pour avoir accepté d'en être le président.

Le Pr. Edi Karni, pour ses explications passionnantes et le temps qu'il a accepté de prendre pour la vérification d'une partie de notre développement théorique.

Le Dr. Ralf Späth, directeur du Bureau d'Etudes de LIEBHERR-France, pour m'avoir aidé et soutenu au sein de l'entreprise durant toute la durée de cette thèse, pour m'avoir accordé des entretiens réguliers malgré des obligations très contraignantes, et pour ses conseils avisés qui ont contribué à faire le lien entre la théorie des concepts et la réalité de l'entreprise.

Le Dr. Wolfgang Burget, président de l'entreprise, pour avoir permis que cette thèse se déroule au sein de LIEBHERR-France et pour sa contribution aux expérimentations.

Maurice Andret, responsable du service EPM en 2007 à LIEBHERR-France, pour avoir initié, à travers ses réflexions, le sujet de cette thèse.

Dominique Schmitt et Florent Ariaux, responsables de la gestion de projet à LIEBHERR-France, pour leurs remarques constructives et leur participation aux expérimentations.

L'ensemble des vendeurs, des démonstrateurs et des membres du service contrôle de gestion de LIEBHERR-France, qui ont participé aux expérimentations. Sans leur expérience, qu'ils ont accepté de transmettre lors des interviews, aucun résultat n'aurait pu être trouvé.

Sonia Wendling, Gil Walter, Moritz Kümmerling, Petra Ross-Kluess ainsi que tous les membres de la DFZ, pour la bonne ambiance dans laquelle s'est déroulée cette thèse.

Je tiens enfin à remercier ma famille et mes amis pour m'avoir largement soutenu et encouragé tout au long de cette thèse.

L'emploi de la première personne du pluriel, dans la suite de ce mémoire, permet de m'associer à toutes ces personnes qui ont contribué aux résultats durant ces 3 années de thèse.

RESUME/ABSTRACT

PRISE EN CHARGE DES RISQUES DES PROJETS DE DEVELOPPEMENT A CARACTERE INNOVANT

PROPOSITION D'UN OUTIL DE MISE EN ŒUVRE DANS L'INDUSTRIE MECANIQUE

Résumé : Les méthodologies existantes de gestion des risques et des opportunités des projets de développement présentent des faiblesses. Celles-ci trouvent principalement leur source dans la phase dite d'évaluation. En effet, les aspects de globalité, de rationalité et d'anticipation n'y sont, à l'heure actuelle, pas assez présents. Nous proposons donc, dans le cadre de cette thèse-action en entreprise, un outil fondé sur la théorie de l'utilité espérée, permettant de rendre plus pertinente et plus lisible, l'aide à la décision réalisée lors des projets de développement à caractère innovant. Nous avons ainsi appliqué cet outil à 2 projets de développement dans une entreprise concevant et produisant des pelles hydrauliques sur chenilles. Les résultats de cette mise en œuvre tendent à valider l'opérationalité d'un tel outil en entreprise. Ils ouvrent par ailleurs de nombreuses discussions et perspectives, notamment l'application de ce genre d'outil dans le domaine du marketing industriel.

INNOVATIVE PROJECT RISKS MANAGEMENT

TOOL PROPOSAL FOR IMPLEMENTATION IN THE ENGINEERING INDUSTRY

Abstract: Existing methodologies for project risks management show weaknesses, which are mainly rooted in the assessment phase. Indeed, we have highlighted a lack of globality, rationality and anticipation in the current state of the Art in this field. We thus propose, through this applied thesis, a tool based on the expected utility theory, which allows a better and more understandable help for the decision makers during the different phases of an innovative project. We then applied this tool to 2 development projects, in a firm that designs and produces crawler excavators. The results of this application tend to confirm the feasibility of using such a tool in the engineering industry. They also open many discussions and perspectives, including the possibility of using this tool in a B to B marketing context.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS ..... **I**

RESUME/ABSTRACT ..... **III**

SOMMAIRE ..... **V**

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS ..... **VII**
I Sur les références bibliographiques VII
II Liste des abréviations VII
III Propositions de définitions VIII
IV Liste des Notations X

INTRODUCTION **1**

PARTIE 1 : LA GESTION DES PROJETS RISQUES DANS L'INDUSTRIE MECANIQUE **3**

CHAPITRE 1.1 : Projets de développement de produits innovants et objectifs de la thèse **5**
1.1.1 Délimitation du domaine de recherche et objectifs 5
1.1.2 Gestion de projet et innovation 17
1.1.3 L'avant projet : interface entre projet de développement et innovation 22
1.1.4 Caractérisation de l'industrie mécanique 28
1.1.5 Synthèse du chapitre : récapitulatif des besoins pour l'outil de gestion des risques à développer 30

CHAPITRE 1.2 : Méthodes existantes de gestion des risques dans le domaine : apports, manques et limites **33**
1.2.1 La gestion des risques de projets appliquée en entreprise 33
1.2.2 Caractérisation et attentes pour l'évaluation des risques de projet 44
1.2.3 Les méthodes actuelles pour l'évaluation des risques 56
1.2.4 Synthèse de la revue de littérature 65

CHAPITRE 1.3 : Question et méthodologie de la recherche **67**
1.3.1 Question de recherche 67
1.3.2 Apports de la thèse et positionnement 69
1.3.3 Encadrement et contexte de la recherche 76

Conclusion de la première partie **78**

PARTIE 2 : LE RECOURS A L'ANALYSE DE LA DECISION : FONDEMENT ET ADAPTATION AU PROBLEME **81**

CHAPITRE 2.1 : La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) : origines et applications **83**
2.1.1 Les origines de la théorie de l'utilité espérée (EU) 83
2.1.2 La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) 97
2.1.3 Mise en œuvre de la MAUT et méthodologies d'encodage 101
2.1.4 Etat des lieux concernant l'utilisation de la MAUT en entreprise. 113

CHAPITRE 2.2 : Construction d'un outil basé sur la MAUT pour répondre au problème posé **117**
2.2.1 La fonction d'utilité du projet : structure et justifications 117

2.2.2 Méthodologies d'encodage des fonctions d'utilité 137
2.2.3 Probabilités : cibler et encoder 155
2.2.4 Calcul de l'utilité globale d'une option dans un scénario risqué 157

CHAPITRE 2.3 : Méthode expérimentale : mise en œuvre d'un logiciel 159
2.3.1 Logiciels d'élicitation de fonctions d'utilité multi-attributs existants 159
2.3.2 Description du logiciel développé : E.U.R.O.P.I. 170
2.3.3 DPL pour la modélisation de la situation de choix 188

Conclusion de la seconde partie 192

PARTIE 3 : MISE EN ŒUVRE DANS LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE 193

CHAPITRE 3.1 : Description de l'entreprise et protocole expérimental 195
3.1.1 Description de l'entreprise d'accueil 195
3.1.2 Supports organisationnels pour le processus de gestion des risques 197
3.1.3 Sujets d'étude 201
3.1.4 Définition des attributs 204

CHAPITRE 3.2 : Résultats 213
3.2.1 Validation expérimentale de la méthodologie. 213
3.2.2 Analyse et interprétation des résultats obtenus sur le terrain 225
3.2.3 Aides à la décision possibles 237

CHAPITRE 3.3 : Discussions 243
3.3.1 Sur les bases théoriques de la méthode 243
3.3.2 Sur l'aspect « opérationnel » de l'outil en entreprise 252
3.3.3 Vers des domaines d'application plus larges 257

Conclusion de la troisième partie 261

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 263

BIBLIOGRAPHIE 265

TABLE DES MATIERES 275

TABLE DES ILLUSTRATIONS 283

ANNEXES 287
Annexe A : Démonstration mathématique de l'existence d'une solution unique dans le cadre de l'amélioration de la méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle d'une fonction d'utilité multi-attributs multiplicative 289
Annexe B : méthodologie d'évaluation de la sécurité des projets de développement, extraits de la procédure établie 297
Annexe C : Liste des critères d'évaluation de la performance d'une pelle hydraulique sur chenille. 307
Annexe D : Liste détaillée des élicitations réalisées 309
Annexe E : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : MM. A. et S. 310
Annexe F : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : M. B. 311
Annexe G : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : Dr. B. 312
Annexe H : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : MM. A. et S. 313
Annexe I : Algorithme pour l'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires dans le cas n=3 314

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS

I SUR LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les références bibliographiques sont représentées sous la forme suivante : [Auteur (s), Année, A/B/C] et correspondent à un papier ou un ouvrage situé dans la liste des références bibliographiques à la fin du mémoire.

Les notations entre parenthèses : (Auteur, Année) servent quant à elles uniquement à citer un auteur, sans faire référence à son œuvre.

II LISTE DES ABREVIATIONS

ADD : Arbre de Défauts et de Défaillance
ADIP : Analyse des Dysfonctionnements de l'Information dans les Projets
AHP : Analytic Hierarchy Process
AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités
ANRT : Association Nationale de Recherche en Technologie
ANVAR : Agence Nationale de VAlorisation de la Recherche
APR : Analyse Préliminaire des Risques
CIFRE : Convention Industrielle pour la Formation par la REcherche
CBS : Matrice de fractionnement des coûts
CEU : Choquet Expected Utility
CPI : laboratoire Conception de Produits Innovants
CPM : Critical Path Method
CPT : Cumulative Prospect Theory
CQD : Coût, Qualité, Délais
DS1 : Dominance Stochastique du 1er ordre
ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REalité
ENSAM : Ecole Nationale Supérieur des Arts et Métiers
EPM : Engineering Process Management
ETA : Event Tree Analysis
EU : Expected Utility

EUROPI : Evaluation par l'Utilité des Risques et Opportunités des Projets Innovants

FMEA : Failure Mode and Effects Analysis/ Fehler Möglichkeit und Einfluss Analyse

FTA : Fault Tree Analysis

GRID : Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision

IEC : International Electrotechnical Commission

LFR : LIEBHERR-France SAS

MAREP : Méthode d'Analyse de Risques et de leurs Effets dans les Projets

MAUT : MultiAttribute Utility Theory

MCDM : Multiple Criteria Decision Making

OBS : Matrice de fractionnement des responsabilités

PERT : Program Evaluation and Review Technique

PL : Performance Level

PROMETHEE : Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluation

RDU : Rank Dependent Utility

REX : Retour d'EXpérience

SAV : Service Après-Vente

SEU : Subjective Expected Utility

SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique

SIL : Safety Integrity Level

TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution

UE : Utilité espérée

Up : Utilité partielle

Upp : Utilité partielle à un second niveau d'agrégation

Uppp : Utilité partielle à un troisième niveau d'agrégation

UTA : Utility Theory Additive

VNM : Von Neumann et Morgenstern

III PROPOSITIONS DE DEFINITIONS

B to B : Business to Business, désigne les interactions entre professionnels.

B to C : Business to Customer, désigne les interactions entre un professionnel et son client.

Input : Données d'entrée d'un système

Output : Données de sortie d'un système

Démarche :

Inductive : On part des cas et des résultats pour en déduire une règle.*
Déductive : On part du cas et de la règle pour en déduire le résultat.*
Abductive : On part de la règle et des résultats pour en déduire les cas.*
*Sachant que le résultat est l'application de la règle au cas.

Aspects de l'aide à la décision :

Normatif : Comment prendre la meilleur décision (définition des axiomes de rationalités).
Descriptif : Les choix suggérés par le modèle correspondent à ceux effectués en réalité par les décideurs.
Prescriptif : Indiquer au décideur les choix rationnels et optimaux par rapport à ses intérêts.

Vocabulaire de l'aide à la décision :

Aversion forte au risque : préférer moins de risques que plus de risques pour la même utilité espérée.
Aversion faible au risque : préférer la certitude au risque pour la même utilité espérée.
Constante d'échelle : Constantes permettant de relier entre elles les différentes utilités partielles pour obtenir un score d'utilité global dans le cadre de la MAUT.
Convergence par dichotomie : Principe consistant à réduire l'intervalle des possibles pour la valeur cherchée en fonction des réponses de l'expert.
Eliciter : terme utilisé pour désigner la construction d'une fonction d'utilité ou d'une constante d'échelle à partie de choix effectués par un expert.
Encoder : terme équivalent à « éliciter », s'applique cependant plus aux probabilités ou aux distributions de probabilités.
Seuil de résolution : largeur de l'intervalle des possibles à partir de laquelle on considère que l'on se situe à l'équivalence.

IV LISTE DES NOTATIONS

$\Re$ est l'ensemble des réels.

Axiomatisation de la rationalité (chapitre 1.2.2.4):

X est un ensemble d'objets.
P(X) est l'ensemble des parties non-vides de X.
F est un ensemble de parties non vides de X, appelé domaine de choix. Il est dit sélectif s'il ne coïncide pas avec P(X).
S Є F, c'est l'ensemble des options qui s'offrent au décideur.
C est la fonction de choix définie de F dans P(X) avec la condition $C(S) \subseteq S$ (l'ensemble des éléments de S choisis par le décideur se trouvaient dans l'ensemble des options proposées).
Q est une relation binaire sur X.

Q est :
- Réflexive si $\forall x \in X, xQx$.
- Total si $\forall x, y \in X, xQy \; ou \; yQx$.
- Antisymétrique si $\forall x, y \in X, xQy \; et \; yQx \Rightarrow x = y$.
- Asymétrique si $\forall x, y \in X, xQy \Rightarrow non(yQx)$.
- Transitive si $\forall x, y, z \in X, xQy \; et \; yQz \Rightarrow xQz$.

Un **préordre total** est une relation totale et transitive.
Un **ordre** est une relation transitive et antisymétrique.

Théorie de l'utilité espérée (chapitre 2.1.1):

n : nombre de conséquences possibles dans la loterie
$x_1 \ldots x_n$: différentes valeurs potentiels pour le paramètre x dans une loterie
p : probabilité
u() : fonction d'utilité
x* : Valeur préférée du décideur parmi les x_i tel que $u(x^*) = \text{Max } u(x_i)$ pour i = 1..n
x° : Valeur la moins préférée du décideur parmi les x_i tel que $u(x^\circ) = \text{Min } u(x_i)$ pour i = 1..n
$L = (x_1, p_1 ; x_2, p_2 ; \ldots ; x_i, p_i ; \ldots ; x_n, p_n)$: loterie dont les conséquences vont de x_1 à x_n, auxquelles sont associées les probabilités d'occurrence de p_1 à p_n.

r : point d'ancrage

Loterie binaire : Loterie à 2 issues probabilisées. Leurs notation est la suivante : (x_1, p_1 ; x_2)

Loterie mixte : Loterie binaire dont une issue appartient au domaine des gains et l'autre au domaine des pertes, au regard du point d'ancrage.

Loterie dégénérée : loterie binaire dont les deux issues sont identiques, équivalente à une issue certaine.

F : Issue favorable d'une loterie binaire

D : Issue défavorable d'une loterie binaire

C : Equivalent certain

CE : Méthode « Certainty Equivalent » ; F, D et p sont fixés

PE : Méthode « Probability Equivalent » ; C, F et D sont fixés

GE : Méthode « Gain Equivalent » ; C, D et p sont fixés

LE : Méthode « Loss Equivalent » ; C, F et p sont fixés

Théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) (chapitre 2.1.2)

n : nombre d'attributs inclus dans la fonction d'utilité

x_i : valeur de l'i^{éme} attribut

$x = (x_1 \dots x_n)$: valeurs des différents attributs dans la fonction d'utilité

k_i : constante d'échelle associée à l'attribut i

k : constante d'échelle globale

$u_i()$: fonction d'utilité partielle relative à l'attribut i

x_i^* = Valeur préférée du décideur parmi celles que peut prendre l'attribut x_i :

$u_i(x_i^*) = \text{Max } u_i(x_i) = 1$ (normalisé ainsi)

x_i^0 = Valeur la moins préférée du décideur parmi celles que peut prendre l'attribut x_i :

$u_i(x_i^0) = \text{Min } u_i(x_i) = 0$ (normalisé ainsi)

u() : fonction d'utilité multi-attributs

$u(x_1^* \cdots x_i^* \cdots x_n^*) = 1$ (normalisé ainsi)

$u(x_1^0 \cdots x_i^0 \cdots x_n^0) = 0$ (normalisé ainsi)

Courbe d'indifférence : Ensemble des valeurs des attributs pour lesquels l'utilité globale est constante.

Théorie de la désutilité multi-attributs

c_i : constante d'échelle associée à l'attribut i

c : constante d'échelle globale

$\hat{u}_i$ () : fonction de désutilité partielle relative à l'attribut i

$\hat{u}$() : fonction de désutilité multi-attributs

$\hat{u}(x_1^* \cdots x_i^* \cdots x_n^*) = 0$ (normalisé ainsi)

$\hat{u}(x_1^0 \cdots x_i^0 \cdots x_n^0) = 1$ (normalisé ainsi)

INTRODUCTION

La situation de crise que traverse actuellement l'industrie mécanique témoigne d'un contexte économique dégradé, complexe et incertain, dans lequel la gestion des risques apparaît comme une nécessité avant d'entreprendre. Dans leur course perpétuelle à l'innovation, les entreprises sont ainsi amenées à envisager, lors du lancement d'un projet, toutes les éventualités qui pourraient survenir lors de son déroulement, et à en évaluer les impacts potentiels. L'augmentation de l'agressivité de la concurrence internationale ne laisse en effet que peu de place à l'improvisation organisationnelle, et un projet mal ciblé, non-rentable ou en retard, peut engendrer des conséquences catastrophiques pour l'entreprise. A l'inverse, l'ouverture des marchés et le développement des flux logistiques créent de nouvelles opportunités comprenant, elles aussi, de nombreuses incertitudes.

Les risques auxquels sont confrontées les entreprises peuvent donc déboucher sur des conséquences positives et/ou négatives : il s'agit respectivement des opportunités et des menaces. La gestion des risques implique alors de se doter d'outils opérationnels d'évaluation, afin de pouvoir prioriser les options de choix s'offrant à l'entreprise face à ces risques. Or depuis les années 1940, les sciences de gestion ont fait des progrès considérables dans ce domaine, développant notamment l' « ingénierie du subjectif ». Basée sur des axiomes de rationalité, cette science permet d'extraire les préférences et les croyances d'individus en fonction des choix qu'ils effectuent dans le risque.

Si les domaines militaire, nucléaire, aérospatial ou encore ferroviaire ont rapidement pu bénéficier de ces avancées, rares sont les autres secteurs pour lesquels une adaptation de la théorie a été réalisée. Parmi ces secteurs, on compte celui de l'industrie mécanique, où la gestion des risques se limite souvent aux préconisations des normes et directives sur le sujet. Cette thèse s'étant déroulée dans le cadre d'un contrat CIFRE, l'opportunité m'a été donnée de travailler, en parallèle, dans une entreprise de ce secteur. Nous avons ainsi pu confronter directement nos résultats de recherche à la réalité du milieu industriel, mettant en application la gestion des risques sur des projets de développement à caractère innovants. L'adjectif « à caractère innovant », repris dans le titre de ce mémoire, caractérise un produit dont certains éléments sont des innovations.

Comme le souligne Bertrand Munier dans [Munier, 2002], « *le management des risques est à la croisée de plusieurs disciplines : économie, ingénierie, finance, théorie des organisations*

et des institutions, sciences cognitives. ». Ce mémoire aborde donc des thèmes très différents, proposant pour chacun une revue de littérature. Ainsi, la première partie contient les revues de littérature sur la gestion de projet puis la gestion des risques, alors que la seconde partie présente celles sur la théorie de l'utilité espérée et les logiciels d'évaluation des risques selon cette théorie.

Outre les revues de littérature, la première partie expose les objectifs de la thèse, explique que nous allons proposer et mettre en application un nouvel outil de gestion des risques de projet, puis positionne la thèse par rapport aux courants de recherche dans un dernier chapitre.

Le développement théorique de notre outil est abordé dans la seconde partie : après avoir présenté en détail la théorie de l'utilité espérée, nous expliquons dans le second chapitre comment nous l'avons adaptée à notre problématique, avant de décrire en détail le fonctionnement de notre outil dans le dernier chapitre.

Le déploiement expérimental est l'objet de notre troisième partie, où nous commençons par présenter l'entreprise d'accueil de cette thèse. Nous exposons ensuite, dans un second chapitre, les résultats obtenus et les interprétations que nous en avons faites. Le dernier chapitre est quant à lui consacré aux discussions qu'ont soulevées les résultats, à la fois sur l'utilisation de l'outil en entreprise, et sur les fondements de la théorie de l'utilité espérée.

PARTIE 1 : LA GESTION DES PROJETS RISQUES DANS L'INDUSTRIE MECANIQUE

Comme en témoigne le titre de cette première partie, nous préférons parler de projets risqués plutôt que de risques de projets. La première dénomination renvoie en effet à la gestion du projet en fonction de ses risques et opportunités alors que la seconde sous-entend que le projet est géré, puis optimisé en fonction de ses risques. Cette deuxième approche présente deux défauts majeurs, car en plus de conduire à des situations sous-optimales, elle consiste à voir le risque uniquement comme une source de menace. Cependant, par abus de langage, nous parlerons de risques de projet dans la suite de ce mémoire.

CHAPITRE 1.1 : PROJETS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUITS INNOVANTS ET OBJECTIFS DE LA THESE

Ce premier chapitre définit tout d'abord les objectifs de cette thèse, en distinguant notamment les risques que nous traiterons de ceux que nous ne traiterons pas. Nous abordons ensuite les interactions liant la gestion de projet et l'innovation, puis nous nous concentrons sur la phase d'avant-projet, avant de caractériser l'industrie mécanique.

1.1.1 Délimitation du domaine de recherche et objectifs

1.1.1.1 Statistiques et constats sur les projets de développement innovants

D'après l'ANVAR (Agence Nationale de VAlorisation de la Recherche), 50% des projets de conception de produits nouveaux, gérés avec des outils de gestion de projet, n'arrivent pas à terme. Parmi les 50% restants, un tiers arrivent à un résultat jugé positif, un tiers à un résultat moyen, et un tiers à un résultat négatif. Autrement dit, environ 17% de ces projets fournissent des résultats positifs. Cette statistique, communiquée en 2002, met en évidence les difficultés auxquelles sont confrontées les entreprises pour maintenir, à l'intérieur des objectifs cibles, un projet de conception innovant. En effet, dans un contexte économique imprévisible et un milieu concurrentiel de plus en plus agressif, il devient peu probable qu'un tel projet ne connaisse des perturbations suite à des évènements, internes ou externes à l'entreprise, non-prévus en début de projet.

Par ailleurs, les projets d'innovation sont la clef pour la survie des entreprises dans ce contexte, et il est donc indispensable de trouver des solutions aux barrières qu'ils peuvent rencontrer.

Paru en 2002 dans une note d'information du ministère français de la jeunesse, de l'éducation et de la recherche, le tableau ci-dessous expose le résultat d'une enquête menée au sein des entreprises innovantes françaises. Cette enquête avait pour but de déterminer les principaux obstacles aux activités innovantes pour ces entreprises.

	R&D	Ingénierie	Ensemble
Risque économique trop élevé	17	26	24
Coûts d'innovation trop élevés	34	43	41
Manque de source de financement	38	41	40
Rigidités organisationnelles	4	4	4
Manque de personnel qualifié	4	8	8
Manque d'information sur les technologies	2	1	1
Manque d'information sur les marchés	4	12	11
Rigidités des normes	12	10	10
Clients peu réceptifs	7	15	13

Tableau 1- Les principaux obstacles aux activités innovantes
Source : MEN (En % des firmes innovantes) Plusieurs réponses possibles

On constate que juste derrière les coûts d'innovation trop importants et le manque de source de financement, les risques économiques liés aux projets apparaissent comme étant un des principaux obstacles aux activités innovantes de l'entreprise.

Une enquête similaire, réalisée en 2008 par OSEO (ex. ANVAR), détermine les principales raisons pour lesquelles les projets d'innovation des entreprises restent inexploités. Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Réponses fournies par les entreprises	Pourcentage des entreprises ayant donné cette réponse
Manque de temps personnel du dirigeant	59%
Manque de ressources financières de l'entreprise et difficultés d'accès au crédit pour l'innovation	39%
Risque de fragilisation en cas d'échec	26%
Manque de personnel qualifié	25%

Tableau 2 - Pourquoi les projets innovant restent-ils inexploités?
(En % des firmes innovantes) Plusieurs réponses possibles

Concernant les blocages liés aux coûts de l'innovation trop élevés et le manque de sources de financement, l'Etat met en place depuis plusieurs années de nombreuses aides à l'innovation pour les entreprises. On peut citer par exemple le Prêt Participatif d'Amorçage, le Contrat de Développement Innovation, les Fonds de Garantie Innovation, le Crédit Impôt Recherche, etc.

En ce qui concerne les risques économiques, appelés risques de fragilisation dans la seconde enquête, l'entreprise ne peut ici compter que sur elle-même pour assurer leur gestion. C'est à partir de ce constat que se dégage l'objectif de cette thèse, à savoir : développer une méthodologie associée à un outil, qui permette à une entreprise de gérer de manière globale et rationnelle les risques et opportunités liés à un projet de développement de produit innovant.

La notion de risque de projet étant très vaste, nous allons commencer par définir les sujets que nous traiterons dans le cadre de cette thèse, et ce dont nous ne parlerons pas ou peu. Nous reviendrons ensuite en détail sur le contexte et les objectifs de cette thèse pour conclure ce premier sous-chapitre.

1.1.1.2 De quels risques parle-t-on ?

Les risques projet ciblés dans cette thèse

Menaces et opportunités

Le terme « risque » est communément employé pour désigner une menace pesant sur une situation, menace à laquelle on associe une probabilité d'apparition. Par conséquent, la notion de risque contient une connotation péjorative à laquelle est souvent également associée la méfiance. Cependant, nous préférons définir le risque comme étant une incertitude sur l'état d'une situation à venir, incertitude dont les probabilités sont connues (Knight, 1921). Si l'on définie alors un niveau « neutre » de la situation, un risque peut correspondre à une menace et/ou à une opportunité, suivant que la conséquence potentielle se situe respectivement en-dessous ou au-dessus de cette situation neutre.

Par exemple, si l'on effectue un placement risqué de 500€ à la banque, on peut être amené, dans quelques années, à retrouver une somme de 400€ (pire des cas) à 700€ (meilleur des cas) sur le compte. Le risque ainsi pris lors de ce placement inclue à la fois une menace et une opportunité, la somme espérée se situant dans une fourchette dont les limites sont de part et d'autres de la valeur neutre, 500€ (inflation mis à part).

Ecarts par rapport aux objectifs initiaux

L'AFNOR, dans la norme FD X50-117 sur la gestion des risques de projet, définie le risque comme un « *événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet* ». Dans la même idée, pour Giard (1991) le risque projet est « *la possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coûts et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables voir inacceptables.* »

Les risques projets analysés devront potentiellement impacter la situation du projet en l'écartant des objectifs initialement prévus. Ces objectifs pourront être un coût de fabrication, une rentabilité, un délai intermédiaire ou encore la valeur d'un paramètre de performance. Nous verrons dans le chapitre 2.2 comment nous avons défini, listé et regroupé ces objectifs.

Par exemple, choisir un fournisseur offrant un délai de livraison plus court, mais dont la fiabilité n'a pas encore été éprouvée, constitue un véritable risque sur le délai de fin du projet qu'il est nécessaire d'analyser avant de prendre une décision.

Ne pas rechercher le risque zéro

Contrairement à une démarche qualité ou sécurité, l'objectif de la prise en charge des risques de projet n'est pas de les réduire pour atteindre un niveau minimal, mais d'optimiser la prise de risques en fonction de la priorisation des objectifs, ceci afin de rendre l'entreprise la plus compétitive possible. En effet, la gestion des risques revient à optimiser une répartition des ressources en vue d'en tirer un maximum d'efficacité lors de leur utilisation.

Pour illustrer ce principe, imaginons qu'il faille dépenser 3 Millions d'Euros pour sécuriser une installation et passer d'un risque estimé à 1 mort tous les 10 ans à 1 tous les 30 ans. Si la majorité des gens réagiraient à cette situation en disant que : « la vie humaine n'ayant pas de prix, il serait impensable de ne pas effectuer cet investissement », d'autres comprendraient qu'avec les 3 Millions non dépensés, l'Etat pourrait contribuer à construire des hôpitaux, des écoles, etc. La gestion du risque se ramène à répartir les ressources de manière à satisfaire au plus juste les attentes et les valeurs partagées par l'ensemble des individus concernés par ce risque.

Risques auxquels des indicateurs peuvent être associés

Les risques de projet que nous prendrons en charge dans le cadre de cette thèse devront porter sur une situation qui peut être décrite, de manière périodique, par un ou plusieurs indicateurs. Autrement dit, il doit être possible, à tout moment du projet de développement, de décrire la situation sur laquelle porte le risque analysé.

Par exemple, si un des risque du projet est l'évolution du taux de change d'une devise étrangère qui peut directement impacter la rentabilité du projet, ce taux doit régulièrement pouvoir être consulté et suivi dans le temps. A contrario, si le risque analysé impact la fiabilité au bout de 500h de fonctionnement du produit conçu, le suivi de l'évolution de la situation, au cours du projet de développement, sera extrêmement difficile à réaliser. Par conséquent, le risque ne sera pas géré de manière efficace puisque le retour de la situation ne pourra pas être fiable.

Les risques non pris en compte dans cette thèse

Afin de délimiter clairement le domaine de recherche, nous listons dans ce point les thèmes qui, bien que fréquemment associés à la notion de risque de manière cognitive, ne feront pas parti des risques de projet évalués dans le cadre de cette thèse. Nous récapitulons brièvement, pour chacun d'entre eux, les méthodologies existantes, généralement employées par les entreprises, pour les gérer.

Les risques liés à la sécurité des opérateurs à l'intérieur de l'usine

Lors d'un projet de développement, de nouveaux dangers peuvent apparaître pour le personnel travaillant dans l'entreprise.

On peut citer, par exemple, l'emploi de produits chimiques explosifs, l'usage de produits considérés comme toxiques, la mise en service de nouvelles machines-outils dont l'utilisation sans formation peut être dangereuse, la définition de nouveaux procédés de fabrication,… On peut également évoquer des dangers indirects comme l'utilisation de matériaux composés de nanoparticules. Si ces matériaux, aux performances décuplées, n'induisent pas de dangers supplémentaires lors des phases de montage, ils peuvent s'avérer toxiques pour les personnes qui ont à les usiner à l'extérieur de l'usine. En effet, les copeaux dégagés lors d'une opération de perçage, par exemple, sont tellement fins qu'ils traversent les masques de protection des

opérateurs et vont directement se fixer dans leurs poumons. Cet exemple met en évidence que l'anticipation des scénarios de risque pour les opérateurs doit faire l'objet d'une analyse rigoureuse et formalisée pour être efficace.

Ce travail d'analyse est à la responsabilité des services CHSCT (Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail) ou équivalent, qui ont à leur disposition de nombreuses méthodologies existantes pour gérer ces risques, et appliquer les règlementations qui leur sont associées. On peut citer par exemple la réglementation européenne REACH (enRegistrement, Evaluation et Autorisation des substances Chimiques), entrée en vigueur le 1er Juin 2007, dont le but est de changer en profondeur la manière dont les substances chimiques sont gérées.

Si plusieurs méthodologies sont déjà à disposition des entreprises dans ce domaine (document unique, base de données Everest,…), la recherche continue de proposer de nouvelles méthodologies. En France, comme l'explique [Verdel, 2000], 2 courants de recherche coexistent. L'un se focalise sur la méthode MADS, l'autre étant les cindyniques[1].

Les cindyniques ont apporté, ces dernières années, de nouvelles réponses à la question de l'analyse et l'évaluation de ces risques. Nous en présentons brièvement quelques concepts :

Le Nœud Papillon

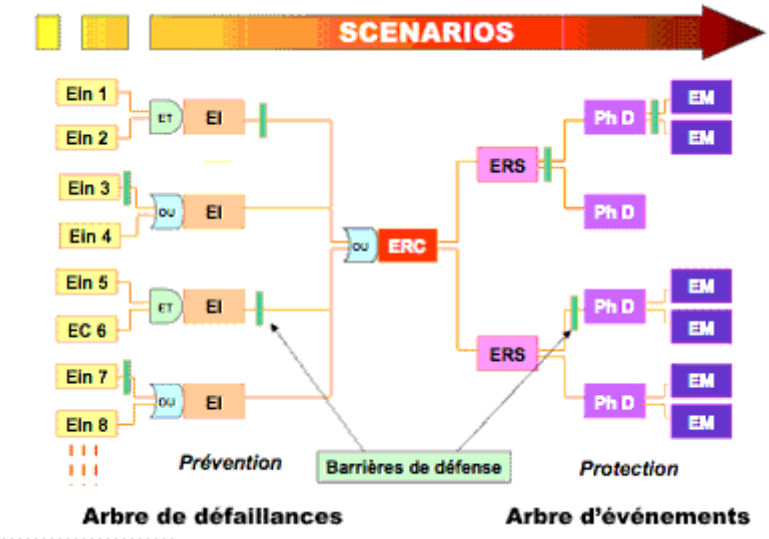


Figure 1 - Diagramme en "nœud papillon"
Auteur : G. Comte, 1998

Une des méthodologies les plus connues des cindyniques, le Nœud Papillon est un diagramme offrant une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir. Partant de

[1] Sciences du danger, terme apparu en 1987.

l'évènement redouté central (ERC), il remonte aux évènements indésirables (Ein) par des connexions logiques du type ET/OU et des événements initiateurs (EI). De même, du côté des conséquences, les évènements redoutés secondaires (ERS) conduisent aux phénomènes dangereux (PhD) puis aux évènements majeurs (EM). Cet outil offre également la possibilité de mettre en place des « barrières de défense » s'opposant à ces scénarios d'accidents, et permet une communication et une diffusion claire de la stratégie de maîtrise des risques mise en place pour ce danger. En revanche, il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail dans l'analyse. Pour déterminer ces cas, une cartographie des risques de l'entreprise peut être établie en amont.

Cartographie des risques en entreprise

La cartographie du risque ([Liedtke, 2003] ; [Valancogne, Wybo, Nicolet, 2003] ; [Van Santen, 2003]; [Bapst, 2003]), consiste en un travail de dégrossissage qui permet ensuite d'enclencher avec une méthode d'analyse plus fine sur les risques les plus critiques. Analysant l'usine dans sa globalité, la cartographie des risques se base essentiellement sur 3 modes de détection des risques : l'expérience, l'analyse et le brainstorming.

Les risques liés à la sécurité de l'utilisation du produit par le client.

Toujours dans le domaine de la sécurité de l'utilisateur et du respect de l'environnement, il s'agit ici des analyses de risque que la réglementation en vigueur impose aux constructeurs.

Ce qu'impose la réglementation pour l'analyse de la sécurité de l'utilisation de la machine.

Prenons, à titre d'illustration, le cas de la directive machine européenne. Elle impose à tous les constructeurs de machine, d'analyser et de traiter les risques liés aux dangers, pour l'utilisateur et l'environnement, lors de toutes les phases d'utilisation de la machine. Tous les risques raisonnablement envisageables[2], lors des phases de transport, de montage, d'installation, d'utilisation, de démontage et de recyclage, doivent être traités de la manière suivante :

- Eliminer le risque si cela est possible.

- Dans le cas contraire, protéger l'utilisateur ou l'environnement.

[2] Inclue les comportements liés au stress, à la fatigue ou à la gêne de l'utilisateur.

- En cas d'impossibilité d'effectuer les deux premiers points, informer l'utilisateur des dangers encourus via le manuel d'utilisation ou tout autre pictogramme sur la machine.

Si la qualification de « possible » ou « impossible » dans les points ci-dessus doit être argumenté et prouvé par le constructeur en cas de procès, il est tout de même d'usage d'arrêter la recherche de solution de réduction des risques à l'Etat de l'Art. L'exemple d'une tondeuse à gazon illustre bien ce principe. En effet, aucun des constructeurs sur le marché des tondeuses à gazon n'a mis en place un système pour empêcher l'utilisateur de se blesser en mettant son pied sous la tondeuse. Une solution technique serait cependant réalisable mais coûterait excessivement chère et rendrait le produit invendable. Cependant, si un constructeur était amené à proposer un tel système sur ses tondeuses, il serait possible d'attaquer en justice les autres constructeurs dans le cas d'une blessure engendrée de cette manière avec la tondeuse. L'Etat de l'Art, dans ce domaine, est donc de ne pas mettre de protection.

L'analyse de la sécurité des produits selon les exigences de la directive machine ayant été une de mes tâches en dehors du travail de thèse, le support méthodologique que nous avons développé se trouve en annexe B. Cette méthodologie vise à rationaliser les critères d'évaluation des différents risques en termes de fréquence, de gravité et comporte un cheminement décisionnel pour l'acceptabilité du risque.

Analyse de la sûreté de fonctionnement

Pour les fonctions de commande électroniques ou hydrauliques (une pédale de frein par exemple), les normes vont plus loin et imposent un niveau de sûreté de fonctionnement aux fonctions qui peuvent, en cas de défaillance, impacter directement la sécurité de l'utilisateur ou des personnes environnantes. Ces fonctions sont dites « de sécurité ».

La sûreté de fonctionnement englobe la sécurité dans le sens où elle prend également en compte la disponibilité du système conçu (Cf. Figure 2). En effet, il ne sert à rien d'avoir un système ABS dans sa voiture s'il ne se déclenche pas au moment opportun.

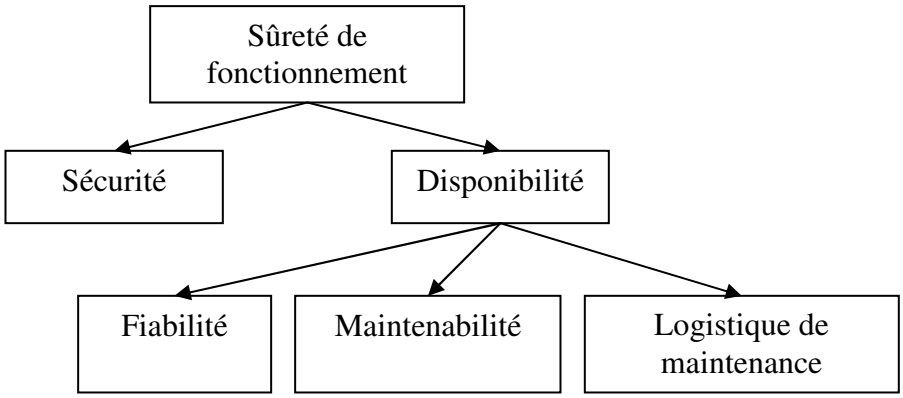
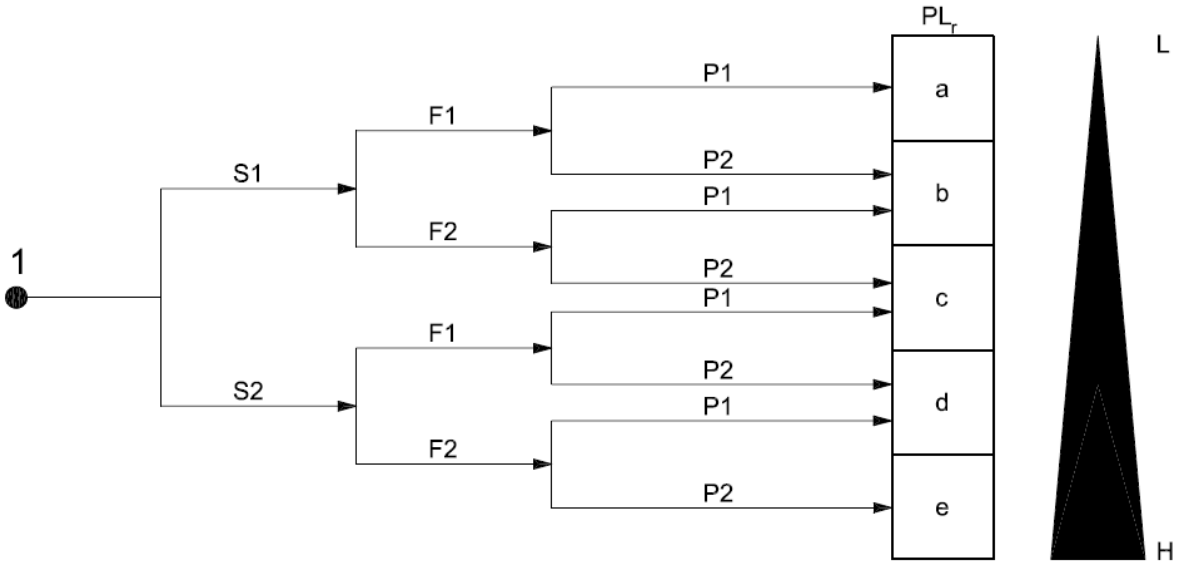


Figure 2 - Définition de la sûreté de fonctionnement
Source : APAVE

L'analyse des risques liés à la sûreté de fonctionnement doit se faire de manière systématique lorsqu'une nouvelle fonction de sécurité est conçue. Elle détermine un niveau SIL (Safety Integrity Level) ou PL (Performance Level) qui doit être atteint par la conception électronique/hydraulique de la fonction. Concrètement, une fiabilité minimale et une architecture de conception (redondances, par exemple) sont imposées par ce niveau SIL/PL.

On peut citer pour illustration la norme NF EN ISO 13849, pour la sûreté de fonctionnement des machines, qui propose la méthodologie suivante pour d'analyse du PL requis:



Légende

1	point de départ de l'estimation de la contribution à la réduction du risque
L	contribution à la réduction du risque faible
H	contribution à la réduction du risque élevée
PL_r	niveau de performance requis

Paramètres de risque:

S	gravité de la blessure
S1	blessure légère (normalement réversible)
S2	blessure grave (normalement irréversible, y compris le décès)
F	fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux
F1	rare à assez fréquente et/ou courte durée d'exposition
F2	fréquente à continue et/ou longue durée d'exposition
P	possibilité d'éviter le phénomène dangereux ou de limiter le dommage
P1	possible sous certaines conditions
P2	rarement possible

Figure 3 - Détermination du PL requis dans le cadre de la sûreté de fonctionnement.
Source: AFNOR, NF EN ISO 13849:2008 P.47

Conclusion sur les risques liés à la sécurité du produit

L'analyse des risques liés à la sécurité du produit développé doit être déclenchée de manière systématique lors du processus de développement de nouveaux produits. Si ces risques ne rentrent pas, de manière individuelle, dans la gestion des risques de projet que nous développons dans le cadre de cette thèse, certains scénarios, comme la modification de l'Etat de l'Art durant la durée du projet, pourront être pris en compte. En effet, l'évolution de l'Etat de l'Art, sur un point précis, est un phénomène envisageable et incertain qui peut entraîner une modification nécessaire de la conception du produit. Par conséquent, cela peut directement impacter les délais, mais aussi la rentabilité et les performances du projet de développement.

Les risques techniques liés à la qualité du produit développé

Il peut être intéressant, sur certaines parties de la conception du produit (cela concerne autant la conception du produit que les Process de fabrication), de mener des analyses de risque « qualité » lorsqu'il s'agit d'un :

- Sujet innovant sur lequel l'entreprise n'a pas ou peu d'expérience chez le client.

- Sujet à l'origine d'un retour d'expérience défavorable pour les projets précédents.

- Sujet critique au niveau duquel une défaillance aurait des conséquences non-négligeables pour le client (y compris des conséquences qui ne mettent pas en cause la sécurité de l'utilisateur.)

Comme le fait Frank Eugen Wissler dans sa thèse [Wissler, 2006, P.38-52], on peut dresser brièvement, à titre d'exemple, une liste non-exhaustive des méthodologies d'analyse de risque « qualité » les plus utilisées dans les entreprises :

- FMEA (Fehler Möglichkeit une Einfluss Analyse) ou AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités)

- Quality Gates

- FTA (Fault Tree Analysis)

- ETA (Event Tree Analysis)

Le principe commun de ces méthodes est l'analyse ciblée, le plus en amont possible, des sujets sensibles (cf. ci-dessus), de manière à anticiper les problèmes de qualité dans la réalisation du projet, afin que le coût de résolution de ces problèmes soit le plus faible possible.

Les risques financiers

Les risques financiers font référence à quatre types de risque sur les actifs financiers d'une entreprise :

- *Le risque de contrepartie ou d'actions* : risque que la partie avec laquelle un contrat a été conclu ne tienne pas ses engagements (livraison, paiement, remboursement, etc.).

- *Le risque de taux* : risque lié à l'évolution défavorable des taux de crédit. Ainsi, si l'on est emprunteur à taux variable, on est en risque de taux lorsque les taux augmentent car on paiera plus cher. À l'inverse, si l'on est prêteur, on est en risque de taux lorsque les taux baissent car on perd des revenus.

- *Le risque de change* : risque sur les variations des cours des monnaies entres elles. Risque sensiblement lié au facteur temps.

- *Le risque de liquidité* : risque sur la facilité à acheter ou à revendre un actif. Si un marché n'est pas liquide, vous risquez de ne pas trouver d'acheteur quand vous le voulez ou de ne pas trouver de vendeur quand vous en avez absolument besoin.

Les risques financiers ne seront pas non plus concernés par ce travail de thèse, car leur gestion s'opère à un niveau plus global que celui du projet de développement. Cependant, les actions de traitement des risques financiers pourront avoir un impact direct sur les objectifs du projet (rentabilité et délais).

1.1.1.3 But de la thèse

Le but de la thèse est donc de développer et de mettre en application, en entreprise, un outil de prise en charge des risques associés à un projet de développement à caractère innovant. Ces risques, tels que nous les avons définis en 1.1.1.2, sont les menaces et opportunités potentiels sur les objectifs donnés au projet lors de son lancement.

La thèse ayant lieu dans le cadre d'un CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la REcherche), l'application sera faite au sein de l'entreprise d'accueil et les résultats seront généralisés à l'industrie mécanique. Nous reviendrons sur le contexte expérimental dans la troisième partie.

Dans la suite de ce chapitre, une revue de littérature sur la gestion de projet, ses phases clefs et l'innovation dans l'industrie vont nous permettre de situer l'emploi de notre outil par rapport à l'organisation des projets de développement en entreprise, dans l'industrie mécanique en particulier. Cela permettra également de dresser un premier cahier des charges de l'outil, avant de le confronter aux méthodes existantes de gestion des risques de projet que nous détaillerons dans le chapitre 2.

1.1.2 Gestion de projet et innovation

La revue de littérature qui suit s'appuie notamment sur l'œuvre collective « Faire de la recherche en management de projet » [Garel, Giard, Midler, 2006]. Toute citation dont l'origine n'est pas précisée provient de cet ouvrage.

1.1.2.1 La gestion de projet dans l'industrie : origines, apports et dérives

Origines et définitions

Les premiers pas vers la gestion de projet instrumentée ont été réalisés aux Etats-Unis. La recherche européenne a ensuite enclenché le pas pour y apporter sa contribution. En France, l'ouvrage collectif « Pilotage de projets et entreprise » [ECOSIP, 1993], réalisé sous l'égide du ministère de la Recherche et de la Technologie, constitue une étape importante pour la structuration académique du management de projet. Cet ouvrage [ECOSIP, 1993, P.18] défini notamment un projet comme « *une création collective, organisée dans le temps et l'espace, en vue d'une demande* ».

Midler (1996) explicite les principales caractéristiques d'un projet et présente la suivante comme la plus importante: « *Une démarche finalisée par un but et fortement contrainte. Un projet se définit d'abord par l'objectif à atteindre, décliné en termes de performance, de délai et de coût, et disparaît avec sa réalisation.* ». Dans le même ordre d'idée, Gauthier & Lenfle (2006) caractérisent le management du projet de développement par l'organisation de la focalisation des énergies sur le respect d'un objectif clairement défini en termes de coût, qualité, délais.

Apports de la gestion par projets

L'organisation par projet a indéniablement permis aux entreprises de structurer et systématiser leur Process de développement, au profit des délais, de la qualité et de la rentabilité des projets. L'ECOSIP [ECOSIP, 1993, P.76] nous montre d'ailleurs, à partir de plusieurs exemples, comment on est passé de l'artisanat projet à une conception intégrée.

Moidson & Weil (1998) et Ciavaldini (1996) ont également mené des études sur l'impact du management de projet dans l'industrie mécanique. Leurs travaux ont respectivement porté sur Renault et PSA. Les auteurs constatent « *l'incontestable apport des structures projet lourdes, [qui] ont permis d'améliorer considérablement la qualité du produit final et de tenir les objectifs de coûts et de délais, sans toutefois les réduire de manière significative.* »

Un apport incontestable des structures de gestion de projet dans l'industrie est donc l'amélioration de la qualité du projet final ainsi que le respect des objectifs fixés par la direction. Cependant, la pression qui pèse sur les équipes projet peut entraîner certains effets pervers. En effet, on a pu observer que l'innovation pouvait avoir tendance à être chassée des objectifs des projets.

Dérives de la gestion par projets

Comme de constatent Moidson & Weil (1998), « *Les objectifs CQD extrêmement serrés et la hantise des dérives conduisent les équipes projet à une attitude prudente qui cherche à limiter les risques* ». En effet, pour mettre toutes les chances de succès de leur côté, les équipes projets vont avoir tendance à négliger l'organisation globale de l'entreprise pour pouvoir se focaliser au maximum sur le bon avancement du projet. De fait, on observe au sein des entreprises qui ne raisonnent plus que par projet, un recul du développement et de la capitalisation des connaissances, les projets ne laissant que rarement des traces autres que celles des bénéfices réalisés. La culture de la gestion par projet, poussée à l'extrême, conduit donc à raisonner sur le court terme en « *vendant continuellement les bijoux de famille* » (Gautier, Lenfle, 2006). Ciavaldini (1996) exprime également cette idée de la façon suivante : « *Les projets meurent sans laisser de traces, si ce n'est dans la mémoire aléatoire de leurs acteurs. De même, ils ne sont pas moteurs dans le processus d'innovation de l'entreprise : ils ne prennent pas part à l'émergence de concepts nouveaux, qui permettent le progrès. Ceci constitue un risque majeur, car ils s'asphyxieraient à terme, si aucune innovation complémentaire ne leur était apportée de l'extérieur.* »

Pour éviter cet écueil des projets égoïstes, il est donc nécessaire d'inscrire la gestion de projet des nouveaux développements dans une organisation plus vaste, qui tienne compte des besoins d'innovation nécessaires à la survie de l'entreprise.

1.1.2.2 L'innovation dans l'industrie

Définition et enjeux

L'innovation est le processus phare de toute entreprise voulant rester compétitive sur un marché dont la concurrence se fait de plus en plus agressive. L'innovation est couramment définie comme une invention pour laquelle il existe un marché. On en trouve une définition plus précise sur le site du ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi : « *Une innovation est la mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures.* ».

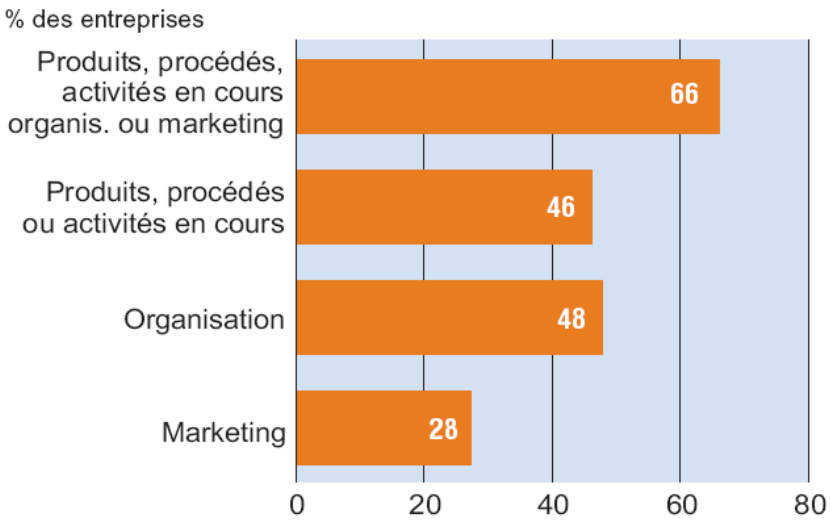


Figure 4 - L'innovation technologique, d'organisation ou de marketing pour les entreprises industrielles de 20 salariés ou plus dans l'ensemble des pays européens.
Source : SESSI – enquête innovation (CIS 2006)

Si toute entreprise innove car toute entreprise est singulière, toutes les innovations ne sont pas forcément technologiques. Ainsi, le graphique ci-dessus, tiré du tableau de bord de l'innovation publié en 2008 par le ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, montre que fin 2006, près de deux tiers des entreprises industrielles, dans l'Union Européenne, innovent dans le domaine de la technologie.

Pour ce faire, ces entreprises ont du réorganiser, ces dernières années, les phases amonts de leur processus de développement de nouveaux produits. La gestion de projet s'est alors étendue à l'exploration de nouveaux concepts produit. En effet, si cela consistait, au départ, à mettre en relation et en tension les concepteurs, la gestion de projet s'est étendue à des

domaines comme la capitalisation des connaissances, les dispositifs de production, les choix stratégiques des entreprises, mais aussi à l'innovation.

Définie par [Hatchel, Le Masson, Weil, 2001] comme « *un processus structuré, avec des principes de gestion spécifiques, distincts des activités de recherche et développement* », l'innovation nécessite une organisation particulière.

Organiser l'innovation

Les approches et les enjeux des projets de développement sont très différents selon qu'ils impliquent des innovations ou non. En effet, l'innovation augmente très fortement l'incertitude portant sur la réalisation des objectifs du projet. Les sciences de gestion ont donc travaillé, ces dernières années, à proposer de nouveaux modèles organisationnels permettant d'intégrer le processus d'innovation à ceux des développements de nouveaux produits.

Ainsi, en 1992, Wheelwright et Clark distinguent :

- les projets de développement, classés par degré d'innovation,

- les projets amont dont l'objectif n'est pas commercial.

Les projets amont peuvent être des projets de recherche ou de développement avancés. Les projets de développement avancé « *cherchent à pousser une idée technique ou un concept jusqu'au point où ils sont prêts à être intégrés dans un produit commercial ou un projet de développement. [Ils] aboutissent à une preuve de faisabilité technique qui devient le noyau de connaissance essentiel ou un concept clé pour un produit ou projet de développement spécifique.* » On comprend dans cette définition que les « projets amont » dont parlent Wheelwright et Clark, sont la première formulation de ce que l'on connaît aujourd'hui sous le nom de « projet d'innovation ».

En 1996 apparaissent dans l'industrie automobile les premières réformes des phases amont des projets de développement. Ciavaldini (1996), observe notamment la création d'une direction de l'innovation, chargée de piloter les travaux antérieurs au développement et d'y intégrer les compétences nécessaires.

Vers la fin des années 90, les travaux de Chapel (1997), Le Masson, Hatchuel et Weil (2001), membres du centre de gestion scientifique, permettent de clarifier les rôles et les interactions

des 3 activités suivantes : l'innovation, la recherche et le développement. L'article de [Le Masson, Hatchuel et Weil, 2001] décrit notamment le passage des organisations actuelles de la R&D (Recherche et Développement) vers la RID (Recherche Innovation Développement). La figure ci-dessous, illustre les interactions entre ces 3 entités :

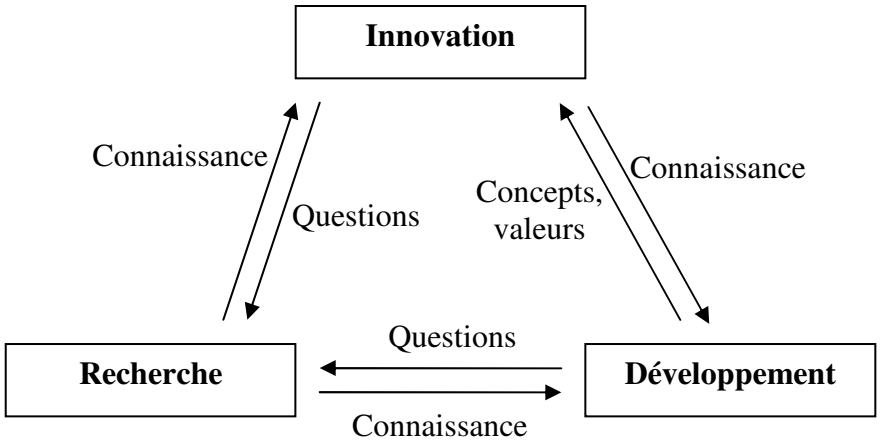


Figure 5 - Les relations R/I/D
Source : Le Masson et al.

Les auteurs définissent comme suit le développement, la recherche et l'innovation :

Le développement a pour but de coordonner les interventions des différents services de l'entreprise pour concevoir, produire et commercialiser un produit dont les caractéristiques sont clairement établies, en respectant les contraintes de coût, de qualité et de délai.

La recherche a pour but de produire des connaissances à partir de problèmes définis en interne ou en externe.

L'innovation a pour but, à la fois de définir la valeur et d'identifier les nouvelles compétences nécessaires. C'est une activité d'exploration de nouveaux concepts et/ou de nouvelles connaissances, adaptés à un marché, qui viennent alimenter les processus de recherche et de développement comme illustré par la Figure 5. Par conséquent, l'innovation est un processus situé hors du cycle de conception classique « avant-projet/projet », dans la mesure où elle le nourrit et s'en inspire.

Du fait que l'innovation doive être gérée en dehors des projets de développement, est né le concept de projet d'innovation, dont les spécificités de gestion ne concernent pas le sujet de cette thèse. En revanche, nous nous intéresserons aux relations entre les projets d'innovation et les projets de développement. Plus précisément, nous allons voir dans le paragraphe suivant

comment la phase amont des processus de développement, l'avant-projet, permet l'intégration des résultats des projets d'innovation.

1.1.3 L'avant projet : interface entre projet de développement et innovation

Le travail de la présente thèse se situe dans le cadre d'un projet de développement à caractère innovant, c.à.d. reprenant les résultats de projets d'exploration comme données d'entrée. Les scénarios de risques et d'opportunités pour ces projets devront donc être évalués en tenant compte des objectifs stratégiques que le pôle innovation a suivis dans ses projets. La priorisation des objectifs du projet de développement et leurs alignements sur la stratégie de l'entreprise sont donc des problématiques centrales de cette thèse. Leur résolution prend place dans la phase amont du projet de développement.

1.1.3.1 L'importance grandissante des phases amont du projet

La généralisation du concept de projet dans les entreprises et la réintégration de l'importance de l'innovation a conduit les entreprises à s'intéresser davantage aux phases amonts des projets. Dans cette phase, les méthodologies sont encore floues et la définition des tâches à réaliser peu évidente. L'enjeu de l'avant projet est d'éprouver la pertinence des idées et concepts qui sont dans le « tunnel du développement » en s'appuyant sur les connaissances (techniques, marketings,…) détenues par l'entreprise.

En effet, dans un contexte concurrentiel où s'adapter aux nouvelles techniques de conception/production et différencier son offre par rapport à la concurrence deviennent des impératifs, les structures lourdes de gestion de projet ne peuvent répondre entièrement aux besoins de l'entreprise. Force est donc de se tourner vers les phases amont du projet. Déplacer les contraintes au niveau de ces phases amont permet une plus grande créativité et une réduction des coûts/délais de développement par une meilleure préparation.

De nombreux travaux en entreprise montrent que les principaux facteurs de succès des activités de développement se situent dans les phases d'avant-projets. On peut citer par exemple :

- Cooper et Kleinschmidt (respectivement en 1987 sur 203 firmes canadiennes et en 1996 sur 161 firmes Nord-Américaines) montrent que les activités réalisées en amont du projet constituent le principal facteur de succès des projets de développement de produits nouveaux.

- Khurana et Rosenthal (respectivement en 1997 et 1998), mènent des études de cas sur 18 projets. Leur conclusion est que les clés réelles du succès des activités de conception et développement de produits nouveaux se situent dans les phases antérieures à la décision de lancer le projet.

- Bacon et al (1994) ont mené des travaux sur 12 projets dans 6 grandes entreprises nord-américaines : General Electric, General Motors, Hewlett-Packard, IBM, Motorola et Xerox. Ces travaux permettent de confirmer que « *l'organisation et le management des phases amont du développement, et en particulier une définition précise du produit, ont une influence critique sur la durée totale du cycle de développement.* »

1.1.3.2 Caractérisation et organisation de l'avant-projet

Peu de recherches existent encore sur le déroulement de l'avant-projet dans différents contextes industriels. Elles s'inscrivent dans la question plus vaste du management de l'innovation et, en particulier, de l'évolution du processus de conception d'une structuration R&D à une structure R/I/D.

Structure de l'avant-projet

En 1998, suite à une observation réalisée au sein de PSA, Ciavaldini observe une diminution de la durée des phases de développement de projet, qui passe de plus de 5 ans en 1989, à 3 ans en 1998. Ce phénomène s'accompagne d'une augmentation de la durée de l'avance de phase, qui passe de 1 an à plus de 2 ans. Il distingue alors 2 temps dans cette avance de phase:

- Une phase exploratoire (1 an), durant laquelle sont définis les concepts et les grandes orientations pour le futur véhicule.

- Une phase préparatoire qui débute lorsque la recherche de concept est terminée. Cette phase formalise l'organisation, détermine les grands choix techniques et fonctionnels, voit le commencement des études sur le produit et les processus industriels, ainsi que le passage de relai au chef du projet et à son équipe.

Une autre étude, menée en 2002 au sein d'Eurocopter par Gauthier, observe également une phase d'avant projet se réalisant en 2 temps : une phase d'étude du besoin et de préfaisabilité; puis une phase de détermination des principales caractéristiques techniques, du calendrier général accompagnée d'une première estimation des coûts.

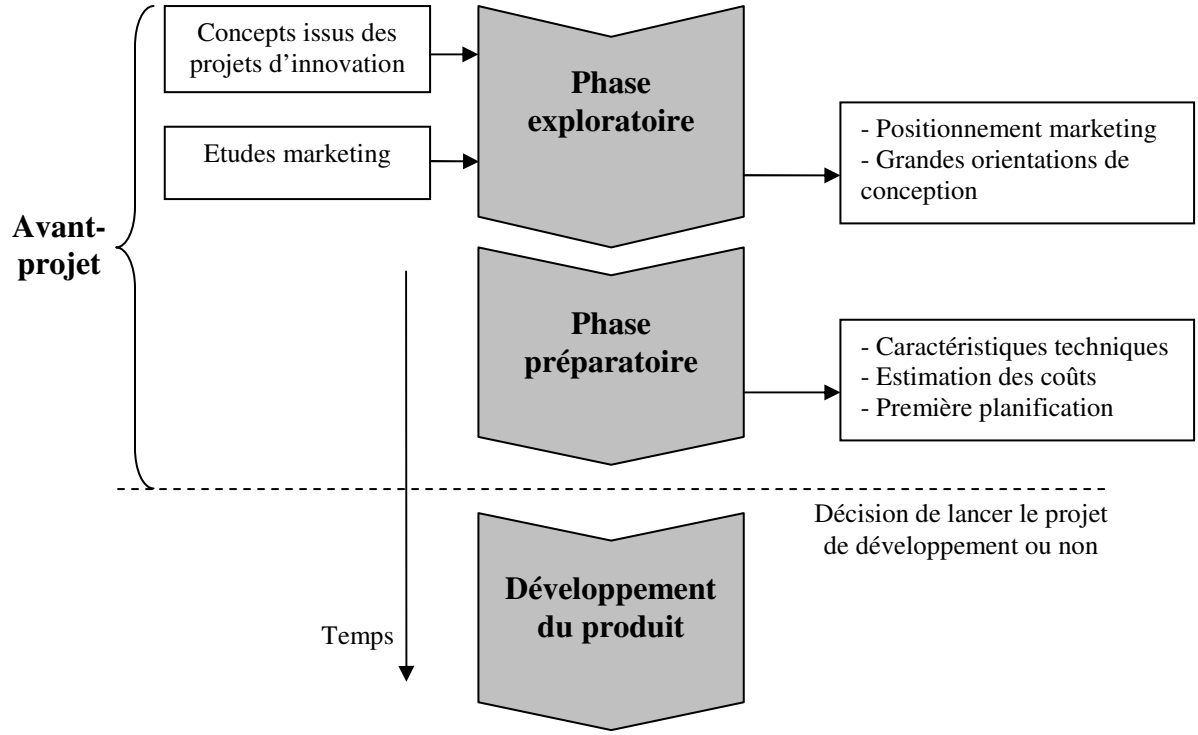


Figure 6 - Représentation simplifiée des phases d'un projet de développement

Comme le montre la Figure 6, l'avant-projet fait partie intégrante du processus de développement. Il commence suite à une lettre de mission de la direction et se termine par la décision de lancer ou non la réalisation du projet (Ulrich et Eppinger, 2003). Cette décision se prend en ayant connaissance des caractéristiques techniques finales du projet, d'une première planification de sa réalisation, ainsi que d'une estimation des différents coûts de réalisation du projet. Pour obtenir ces délivrables, plusieurs informations doivent être collectées lors de la réalisation de l'avant-projet :

- les besoins du client et des utilisateurs,

- l'analyse de la concurrence,

- l'évaluation de la disponibilité et de la fiabilité des technologies mobilisables pour le produit et son processus de production,

- les exigences réglementaires.

La Figure 7 illustre quand à elle les différentes activités de l'avant-projet.

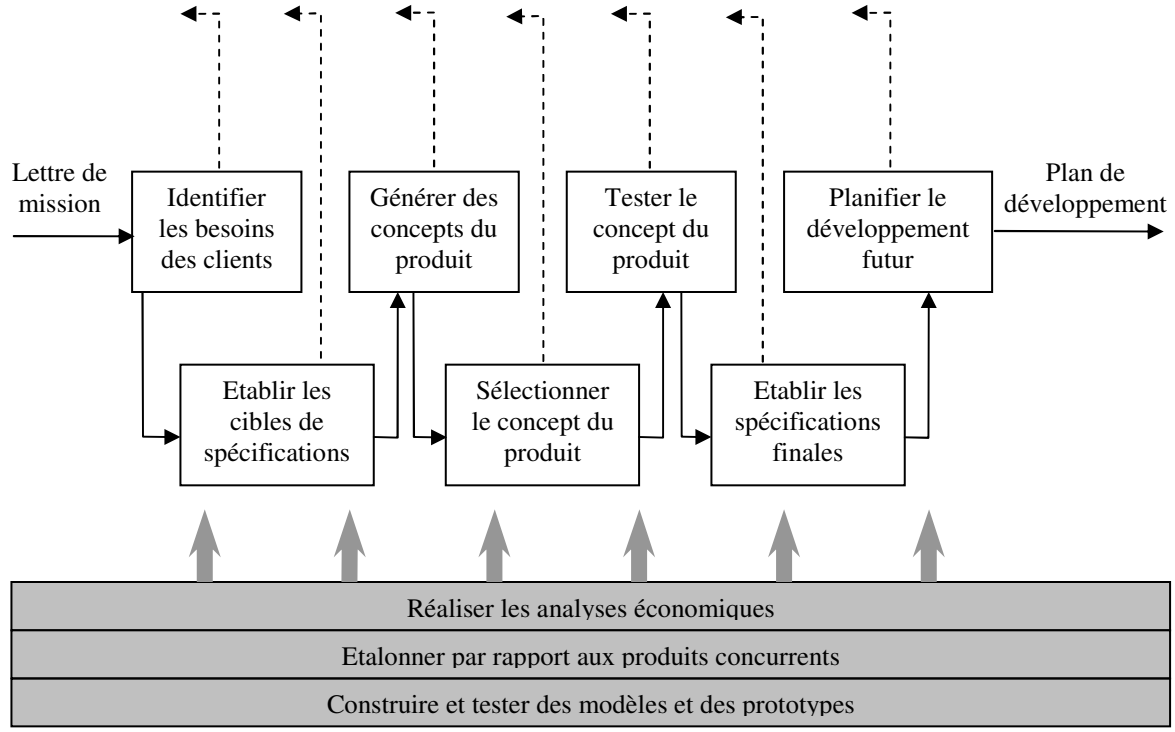


Figure 7 - Les activités de l'avant-projet
Source : Ulrich et Eppinger (2003)

Rappelons que la génération des concepts ou des connaissances ne fait pas partie des activités de l'avant-projet. En effet, il s'agit du domaine de la recherche et de l'innovation (Cf. Figure 6)

Il est cependant difficile de dresser une représentation générale plus précise de la phase d'avant projet étant donné que son ampleur et ses séquences de tâches varient beaucoup d'un secteur d'activité l'autre. On peut citer, à titre d'exemple, une étude de Gauthier (2002), au sein du leader européen de construction d'hélicoptère, qui note que les avant-projets peuvent durer de 1 à 8 ans selon la complexité du projet.

Pour une description plus précise de ce qu'est l'avant-projet, les propositions figurant dans le paragraphe suivant définissent clairement ses fonctions.

Propositions de définition

[Garel, Giard et Midler, 2006], définissent l'avant-projet comme « *la fabrication d'une proposition de développement d'un produit nouveau comprenant des hypothèses de valeur, des hypothèses techniques et technologiques et des hypothèses de solutions industrielles. L'objectif est d'étudier la pertinence d'un concept pour que les responsables de l'entreprise puissent décider de lancer ou non le développement. L'avant-projet se termine ainsi par une décision stratégique d'entreprendre le projet ou, au contraire, de ne pas le réaliser.* ». Ils distinguent alors 3 enjeux pour cette phase :

- La définition du problème de conception sur la base des multiples explorations: des marchés, des clients et des technologies.

- L'intégration des connaissances ainsi produites en vue de converger vers la fabrication de la solution.

- **La validation des solutions envisagées selon de multiples dimensions techniques, commerciales, économiques et financières. Cette validation suppose de disposer d'outils spécifiques ou d'adapter les outils de gestion existants en vue de réaliser les différentes évaluations qui motiveront la décision d'entreprendre ou non le projet.**

Ce dernier point rejoint l'analyse de Reinersten (1999), qui définie l'avant-projet comme « *un processeur d'opportunités dont l'objectif est de modifier l'équation économique du pari que constitue le développement du produit.* »

Il apparaît ainsi évident que c'est lors cette phase d'avant-projet, où les concepts issus des projets d'innovation sont testés et intégrés, que doit se construire le cadre d'évaluation des risques et des opportunités des projets de développement.

1.1.3.3 Avant-projet et gestion des risques et opportunités

L'importance reconnue de la gestion des risques de projet

Du fait de l'évolution des techniques et de la concurrence, le contexte des projets de développement est souvent instable dans les domaines innovants. Il en résulte que le pilotage de l'avant-projet se fait généralement en « Stop or Go » jusqu'à la prise de la décision de lancer le projet ou non. Cela signifie que la situation du projet, ses risques et ses opportunités

sont régulièrement évalués sur des critères commerciaux, technologiques et financiers. L'option consistant à abandonner le projet est envisagée suite à ces évaluations.

Il se dégage de ce mode de pilotage un besoin d'arbitrage, pour l'entreprise, entre différentes options de conception pour le projet. Gauthier et Lenfle (2006), écrivent que : « *L'objectif de la phase de définition du produit est de guider l'équipe de conception et développement sur les caractéristiques, les fonctions et les marchés du produit et d'établir des priorités (liste de critères de décision) permettant des arbitrages durant les phases de conception détaillée et de développement du produit.* ». Une évaluation globale de la situation incluant ses aspects risqués peut permettre ces arbitrages.

De nombreuses études mettent en évidence les apports des évaluations des risques pour le projet, effectuées au cours de l'avant-projet. On peut notamment citer 2 études menées par Gauthier (2002), au sein de l'industrie aéronautique :

- La première étude a montré que sur 6 projets de développement de nouveaux avions ou de nouveaux systèmes avioniques, les projets ayant une performance acceptable étaient ceux pour lesquels les principaux risques et incertitudes ont été identifiés au démarrage, et les dispositifs de pilotage adaptés en conséquence.

- La seconde, menée au sein d'Eurocopter, révèle que la maîtrise des risques du projet était considérée comme le troisième objectif le plus important, juste après les performances du produit développé et les coûts du projet.

Cohérence des évaluations des risques et opportunités avec la stratégie de la direction

La notion de cohérence du cadre d'évaluation des risques et des opportunités, avec la stratégie globale de l'entreprise est également très présente dans la littérature. Pour illustration, [Garel, Giard et Midler, 2006], écrivent à propos de la phase d'avant-projet : « C*ette activité de définition du produit suppose d'évaluer les besoins des clients et des utilisateurs, les opportunités et les risques technologiques et l'environnement règlementaire. La cohérence entre le projet de développement et la stratégie d'activité de l'entreprise est importante. Les projets les plus performants s'appuient sur les compétences de base de l'organisation ou exploitent celles de partenaires (fournisseurs en particuliers). Cette cohérence entre le projet*

de développement et la stratégie suppose que chaque membre de l'équipe de développement connaisse et comprenne les objectifs stratégiques de l'activité.».

La communication entre les différents acteurs fonctionnels, clef de l'obtention de cette cohérence, permet d'éviter que l'avant-projet ne se termine par une « *juxtaposition d'avis subjectifs assignés au projet de développement.* ». Cette communication peut se traduire par un langage commun, entre les différents services, lors de la construction du cadre d'évaluation de la situation du projet.

1.1.4 Caractérisation de l'industrie mécanique

Ce dernier point avant la synthèse précise ce qui caractérise l'industrie mécanique, limite du domaine d'application de la thèse, et explique les raisons de cette limitation.

1.1.4.1 Définition de l'industrie

L'industrie est l'ensemble des activités humaines tournées vers la **production en série** de biens ; elle sous-entend :

- Une certaine division du travail, contrairement à l'artisanat où la même personne assure théoriquement l'ensemble des processus : étude, fabrication, commercialisation et gestion.

- Une notion d'échelle : on parle de « quantités industrielles » lorsque le nombre de pièces identiques est important.

1.1.4.2 Définition de l'industrie mécanique

L'industrie mécanique est constituée par un ensemble d'activités industrielles diverses qui ont en commun le travail des métaux.

Les techniques de travail des métaux qui caractérisent l'industrie mécanique sont les suivantes: moulage, forgeage, usinage, découpage, emboutissage, matriçage, estampage, grignotage, assemblage, clavetage, rivetage, boulonnage, vissage, soudage, collage, frettage,

traitement thermique, traitement de surface, fonderie, moulage par injection, tribologie, frittage et clinchage.

Le secteur de l'industrie mécanique peut être décomposé en 3 domaines d'activité :

- les équipements (machines, systèmes de production, composants) qui représente 46% de l'activité,

- la transformation (sous-traitance, outillage, articles de ménage) à 45 %,

- la précision (santé, optique, instruments de mesure) à 9%.

1.1.4.3 Raisons de la restriction du domaine d'étude à l'industrie mécanique

La principale raison pour laquelle le domaine d'étude de cette thèse a été restreint à l'industrie mécanique est que la part d'innovation que contiennent les projets de développement dans ce secteur reste comparable.

En effet, les machines outils et la technologie (souvent de pointe) de travail des métaux, nécessaires à la réalisation des pièces d'un produit innovant, impose des cycles de renouvellement des produits plus long que dans d'autres secteurs. Par conséquent, l'évolution du contexte concurrentiel est plus lente, ce qui permet de maintenir une même stratégie tout le long d'un projet de développement. Dans le secteur informatique et le développement de logiciels en particulier, les changements du contexte concurrentiel peuvent régulièrement entraîner une révision de la stratégie du projet de développement, et donc une redéfinition du cadre d'évaluation de la situation du projet. Par conséquent, même si l'outil développé n'était pas incompatible avec les problématiques de ces secteurs à fort degré d'innovation, il nécessiterait tout de même un déploiement managérial et organisationnel bien différent.

1.1.5 Synthèse du chapitre : récapitulatif des besoins pour l'outil de gestion des risques à développer

1.1.5.1 Description générale de l'outil cible

Dans un milieu concurrentiel de plus en plus ouvert et agressif, l'innovation est la clef pour la survie des entreprises de l'industrie mécanique. De ce fait, les projets de développement de nouveau produit dans ce secteur comportent de plus en plus d'incertitudes sur des problématiques globales faisant intervenir la gestion des coûts, des performances et des délais. Pour optimiser la prise de risque durant ces projets, une évaluation des risques de déviance du projet par rapport aux objectifs, mais également des opportunités[3], est nécessaire. Cette évaluation doit être :

- Globale : elle doit tenir compte de tous les aspects des objectifs du projet.

- Rationnelle : elle doit être cohérente avec les besoins du marché et refléter les priorités induites par la stratégie de l'entreprise.

Le cadre d'évaluation doit se construire durant la phase d'avant-projet, phase durant laquelle les besoins du marché sont analysés et où les concepts innovants sont intégrés au projet. Il doit être établit conjointement avec :

- La direction, qui a fixe la stratégie pour ce projet.

- Le contrôle de gestion, qui mène les études de rentabilité du projet.

- La gestion de projet, qui établit les premiers plannings et détermine les jalons clefs du projet.

- Le service marketing, qui analyse les performances des produits de la concurrence et intègre les concepts innovants au projet de développement, en collaboration avec le bureau d'études.

Ce cadre permettra alors d'analyser les scénarios de risques et d'opportunités en évaluant leurs conséquences probables durant toute la durée du projet, sans inhiber le processus d'innovation. Le chef de projet, son équipe et la direction auront alors un outil capable de fournir un arbitrage global et rationnel lorsque plusieurs options de conception se présenteront

[3] Par abus de langage, dans la suite du rapport, nous serons amenés à parler de « gestion des risques » là où il faudrait comprendre « gestion des risques et des opportunités ».

à eux pour le projet. La formalisation de ces arbitrages permet également une capitalisation de l'expérience qui pourra être réutilisée lors de futurs projets.

1.1.5.2 Principe de fonctionnement

L'outil doit pouvoir donner, à tout moment, un indicateur global de la situation du projet, qui tienne compte des besoins du client et de la stratégie de l'entreprise pour ce projet. Il pourra ainsi formaliser et prioriser tous les états possibles de la situation CQD du projet. Sur la Figure 8 est représenté le principe global de fonctionnement de l'outil envisagé, une fois le cadre d'évaluation établit.

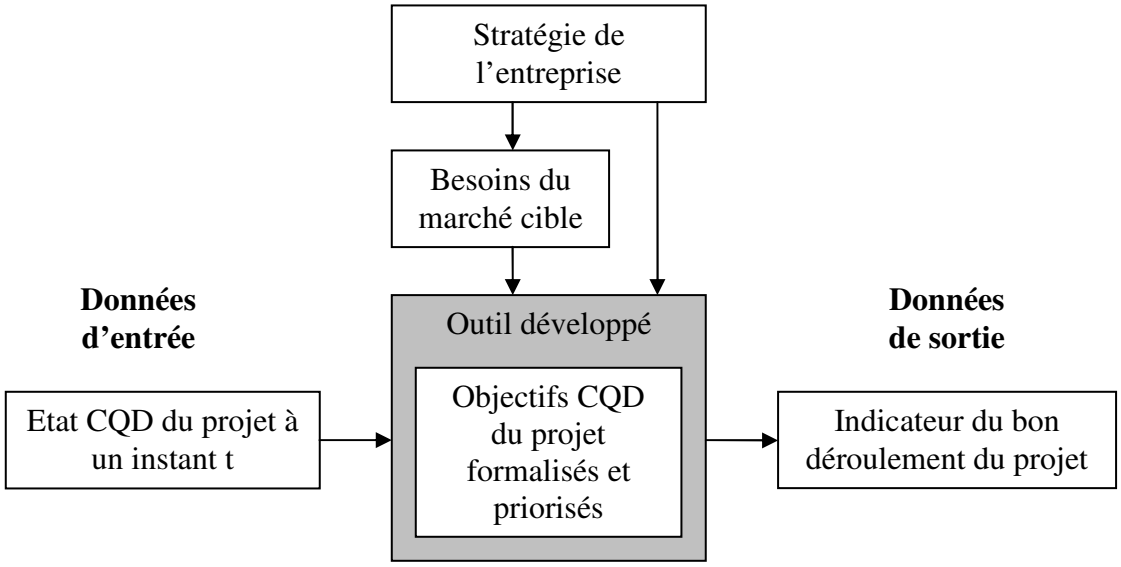


Figure 8 - Fonctionnement global attendu de l'outil développé

Pour évaluer les risques et opportunités liés à un scénario du projet de développement, il suffira alors d'évaluer les différentes conséquences possibles de ce scénario, puis d'en estimer les probabilités.

CHAPITRE 1.2 : METHODES EXISTANTES DE GESTION DES RISQUES DANS LE DOMAINE : APPORTS, MANQUES ET LIMITES

La mise en place d'une gestion des risques des projets de développement dans l'industrie n'est pas une démarche nouvelle et de nombreux retours d'expérience nous permettent déjà de prendre du recul par rapport à la démarche globale. Ainsi, nous allons présenter de quelle manière elle peut se concrétiser en entreprise, avant de constater comment les normes et la littérature spécialisée ont tenté d'en systématiser le fonctionnement. Par rapport à nos attentes pour l'outil à développer (Cf. synthèse du 1.1), nous constaterons ensuite que le processus clef n'est autre que le celui de l'évaluation des risques. Nous nous pencherons alors de manière plus précise sur les différents aspects que ce processus d'évaluation devra respecter, avant de lister, dans un dernier sous-chapitre (1.2.3), les différentes méthodologies actuellement développées par la recherche et l'industrie pour réaliser ces évaluations.

1.2.1 La gestion des risques de projets appliquée en entreprise

Dans ce premier sous-chapitre, nous présentons quelques exemples de mise en pratique d'une gestion des risques de projet en entreprise, qu'ils aient été rencontrés dans la littérature ou lors d'une visite d'usine. Si l'accent est mis dans un premier temps sur les outils que l'on retrouve le plus fréquemment en entreprise, nous verrons ensuite que la gestion des risques de projet ne se résume pas à un outil d'évaluation, mais à un processus entier, bouclé et documenté, dont les phases se sont normalisées ces dernières années.

1.2.1.1 Les outils les plus utilisés en entreprise

Hervé Courtot publie en 1998 un ouvrage intitulé « La gestion des risques dans les projets ». Figurent notamment, en fin d'ouvrage [Courtot, 1998, P.195], 16 exemples d'implantation de processus de gestion des risques de projet en entreprise. On retrouve, parmi ces entreprises :

Renault, Rhône-Poulenc, Elf, Arianespace, Sodern, Cegelec, Sanofi, Siemens, etc. Pour chaque exemple, les principes de base, le domaine d'application, les étapes de mise en œuvre ainsi que les intérêts et les limites de la méthode utilisée sont exposés.

Les méthodes récurrentes dans ces exemples sont classées en trois catégories par l'auteur : les méthodes descendantes, ascendantes et celles basées sur les processus stochastiques.

Les méthodes « descendantes »

Ces méthodes ont pour particularité de décomposer un système pour en trouver les éléments susceptibles de conduire à une défaillance. Parmi les plus utilisées par les entreprises, on retrouve :

- **L'AMDEC Projet** (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, FMEA en allemand et en anglais) : Cette méthode permet d'analyser de manière systématique et préventive les défaillances d'un système technique. Si la méthode s'applique généralement à un produit multifonctionnel, elle peut, de la même manière, s'appliquer à un Process découpé en tâche et/ou objectifs. Un plan de réduction des risques est ensuite déterminé en fonction de la hiérarchisation des défaillances potentielles. Cette hiérarchisation s'effectue en fonction d'une note de « criticité », donnée à chaque défaillance, qui est le produit de 3 autres notes : la gravité de la conséquence potentielle, sa probabilité d'apparition et la possibilité de détecter la défaillance avant qu'elle n'entraîne de conséquences.

AMDEC	☐ Procédé :	Date :
	☐ Produit :	Page : /
	☐ Moyen :	Pilote :

(cochez la case correspondante, et précisez le champ de l'analyse)

Analyse des défaillances				Criticité nominale				Actions correctives	Criticité finale				Commentaires
Étape / pièce / fonction	Mode	Cause	Effet	D	F	G	C		D'	F'	G'	C'	

Figure 9 - Exemple de document support pour la réalisation d'un AMDEC

- **L'APR** (Analyse Préliminaire des Risques) : Méthode dont la formalisation est très proche de l'AMDEC, elle vise à déterminer, à l'aide de l'expérience des acteurs du projet et/ou de check-lists, les éléments dangereux ainsi que les situations dangereuses pour le projet. On recense ensuite les évènements qui pourraient les faire dégénérer, en imaginant quelles en seraient les conséquences. Les risques ainsi mis en évidence, hiérarchisés par une estimation de leur probabilité et de leur gravité, donnent lieu à un plan d'action pour détecter, maîtriser voir éliminer les situations dangereuses.

Les méthodes « ascendantes »

Ces méthodes, quant à elles, partent des conséquences pour en déterminer les origines. Parmi les plus courantes, on trouve :

- **La méthode ADD** (Arbre de Défauts et de Défaillance) : A partir d'un évènement ou d'une situation indésirable unique, on identifie et on représente graphiquement, sous forme d'arborescence, les possibilités de défaut ou de panne d'un système ou d'un processus.

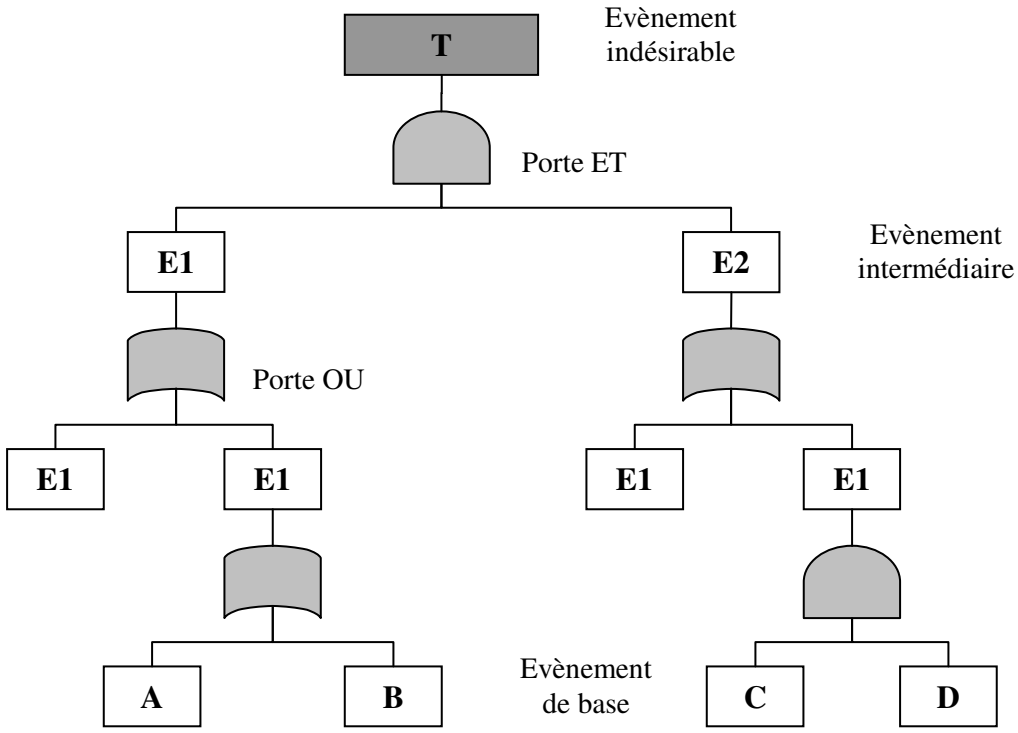


Figure 10 - Exemple d'un arbre de défaillances
Source : [Courtot, 1998, Figure 21 P.201]

- **Le diagramme causes-conséquences** : Permet non seulement d'identifier les risques d'un système ou d'un processus et de les analyser en détail, mais aussi de décrire, sous la forme

d'un graphe unique, à la fois le fonctionnement normal et le fonctionnement anormal de ce système ou processus.

Les méthodes basées sur les processus stochastiques

- **Les chaînes de Markov** : Plus adapté au domaine technique, il s'agit d'un outil de modélisation qui analyse et évalue la fiabilité et la disponibilité d'un système dans son ensemble. Pour ce faire, il prend en compte ses chaînes d'évènements et leurs comportements dynamiques.

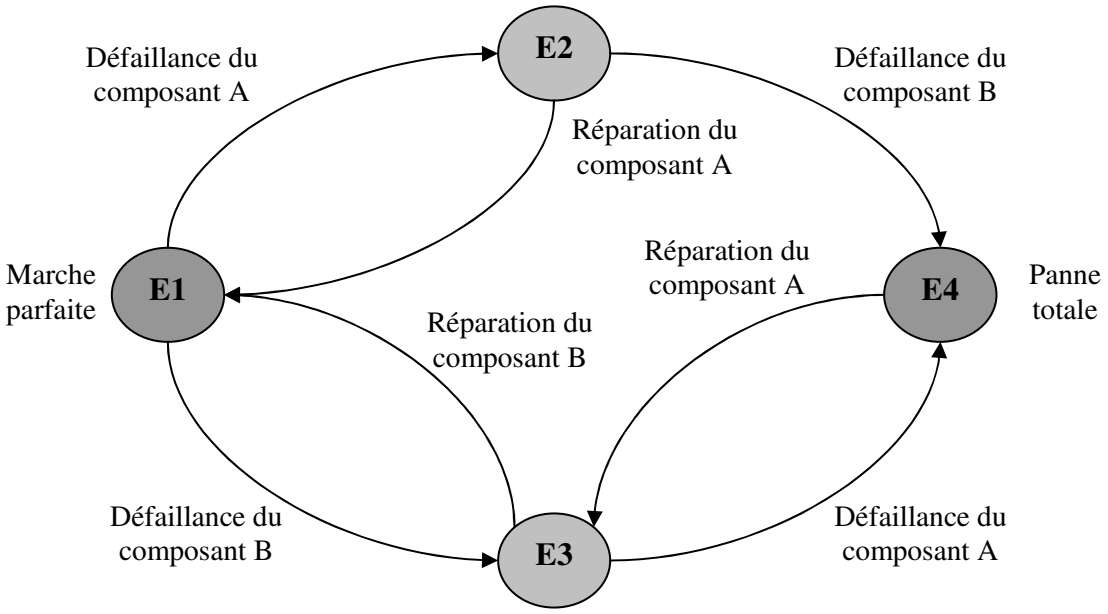


Figure 11 - Exemple d'une chaîne de Markov
Source : [Courtot, 1998, Figure 22 P. 204]

- **La méthode Monte-Carlo** : Technique de simulation en univers aléatoire, qui permet l'analyse de l'incidence de la variabilité des durées ou des coûts des tâches d'un projet. Concrètement, cette méthode associe à chaque durée de tâche une loi de probabilité « beta » (loi de probabilité non symétrique), que permettent de déterminer, sous des hypothèses simplificatrices fortes, seulement trois informations : la durée optimiste, la durée pessimiste et la durée la plus probable pour cette tâche. Une simulation de projet est ensuite effectuée sur un nombre important d'itérations et il en ressort la loi de probabilité régissant la date de fin de projet. On trouve également dans [Giard, 2004] une description précise de la méthode.

- **Les réseaux de Pétri :** Application particulière de la méthode de Monte-Carlo pour décrire le comportement de systèmes de fabrication automatisés.

On peut également trouver dans [Lassagne, 2004, P.19], une liste des principaux outils de gestion des risques utilisés en entreprise ainsi que la description de leurs fonctionnements.

1.2.1.2 Exemples de processus de gestion des risques de projet en entreprise

Le CPI (Conception de Produits et Innovation) est un laboratoire de l'ENSAM (Ecole Nationale Supérieur des Arts et Métiers) qui travail en collaboration avec plusieurs entreprises au sein desquelles ils appliquent les nouveaux concepts issus de leurs travaux de recherche. La Méthode ADIP (Analyse des Dysfonctionnement de l'Information dans les Projets), par exemple, a été conçue au CPI puis appliquée en entreprise pour gérer les risques d'un projet de développement innovant. Le schéma ci-dessous illustre les différentes étapes de la méthode.

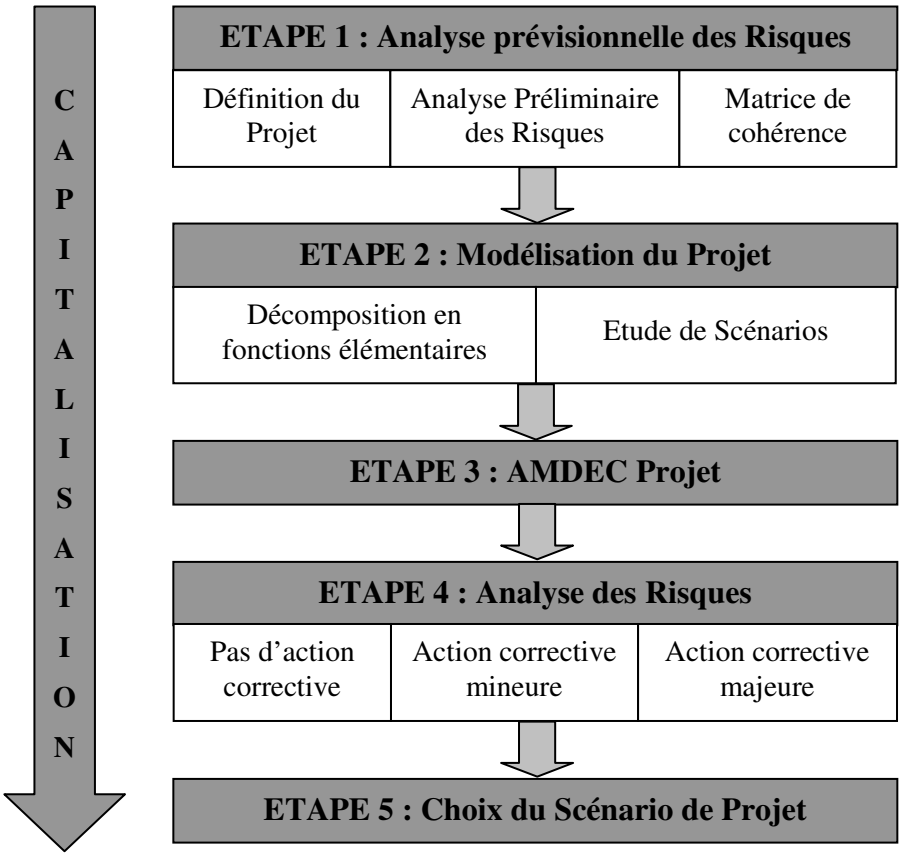


Figure 12 - Méthode ADIP pour la gestion des risques projet
Source : Gauthier, Vervliet (2008)

On constate qu'après avoir détecté les risques avec une APR et une matrice de cohérence, l'évaluation globale des risques est assurée par un AMDEC projet. Le but de la matrice de cohérence est de vérifier l'adéquation entre les objectifs du projet et les ressources disponibles pour sa réalisation.

Autre exemple, celui d'une entreprise industrielle dans le domaine de l'aéronautique, basée à Toulouse, qui fait notamment partie des fournisseurs d'Airbus. Dans cette entreprise, une fiche de risque est ouverte dès lors qu'un risque est détecté pour le projet. Il appartient alors au propriétaire de la fiche de risque, de procéder à son évaluation à l'aide d'une matrice de risque, puis de déclencher un plan d'action afin de ramener le risque à un niveau jugé acceptable pour l'entreprise. Dans ce cas, et uniquement dans ce cas, la fiche de risque est close. Le schéma ci-dessous décrit le processus de gestion des risques de projets de développement pour cette entreprise.

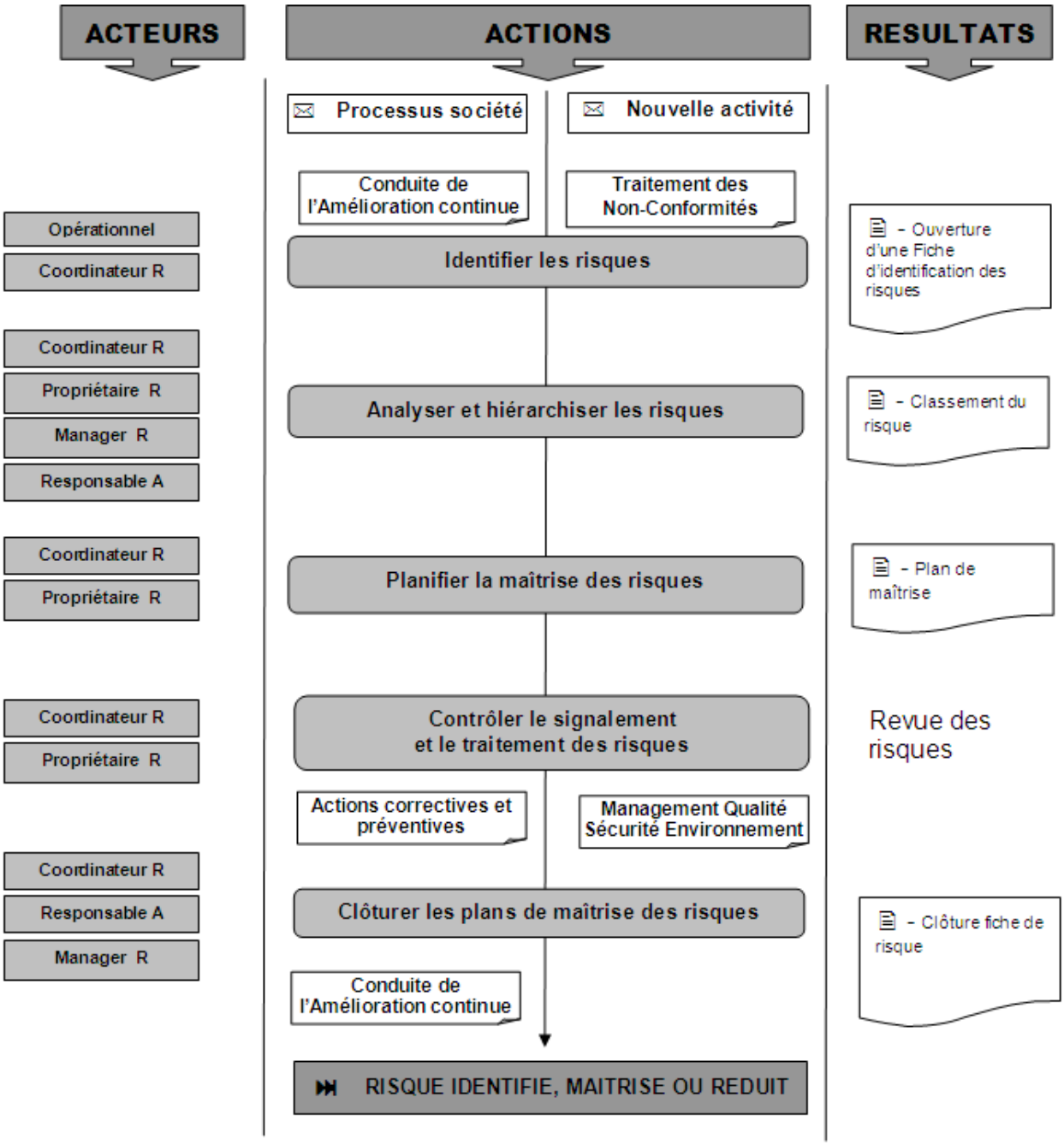


Figure 13 - Logigramme représentant le processus de gestion des risques
Source : Manuel Qualité de la Société S

Sur cet exemple comme dans le précédent, il apparaît que la maîtrise des risques des projets de développement n'est pas une tâche ponctuelle, mais bien un processus structuré et planifié qui se réalise tout au long du projet de développement de produit innovant. De même, dans les 16 exemples d'application des méthodes d'analyse des risques de projet en entreprise que l'on trouve dans [Courtot, 1998], on voit se dessiner 3 phases récurrentes qui caractérisent cette gestion des risques :

- Une phase préliminaire d'analyse du contexte et de la situation du projet qui permet de faire un premier tri et de concentrer les efforts sur « les vrais problèmes ».

- Une phase d'analyse des risques qui détaille et/ou quantifie leurs effets, leurs causes, définie des actions de réduction des risques.

- Une phase d'exploitation des résultats qui voit la mise en place du plan d'action et son suivi.

L'implantation de processus de gestion des risques de projets se généralisant dans les entreprises tout comme s'était généralisée la gestion de projet quelques années auparavant, un besoin de standardisation de la structure du processus est né. Pour combler ce besoin, les instituts normatifs ont récemment publié des normes sur le sujet.

1.2.1.3 Normalisation des étapes d'analyse des risques de projet

La norme FC X50-117 (AFNOR, 2003) sur l' « Analyse de Risque Projet » présente les différentes étapes nécessaires à sa mise en place, parallèlement au Process de développement de produit, mais n'explicite pas quels sont les outils les plus appropriés à leur implémentation. Ces différentes étapes dont les suivantes :

- Analyse des risques

- Identification et caractérisation des risques

- Evaluation des risques

- Gestion des risques

- Traitement des risques

- Suivi et contrôle

- Capitalisation

Dans le domaine de l'électrotechnique, la norme internationale IEC 62198 (International Electrotechnical Commission) donne les « Lignes directrices pour l'application de la gestion des risques liés à un projet. ». Bien que le domaine d'application de cette norme s'éloigne

quelque peu de notre sujet d'étude, la structuration bouclée du processus proposée est intéressante. Elle est représentée sur le schéma ci-dessous :

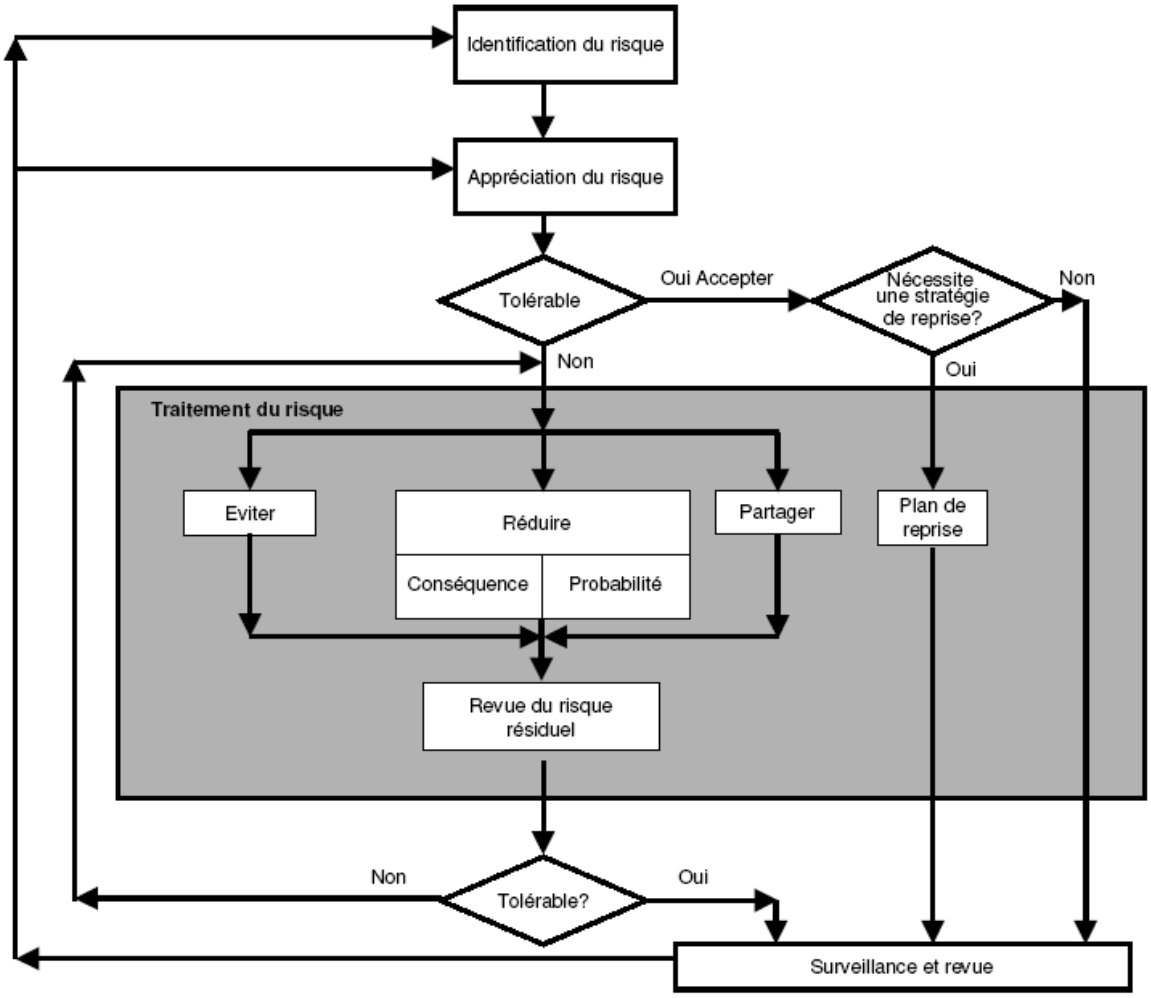


Figure 14 - Processus de traitement du risque
Source : AFNOR, IEC 62198:2001

Parmi les stratégies de traitement du risque représentées, on distingue :

- L'évitement, qui consiste à contourner le problème en annulant les actions prévues à l'origine du risque.

- La réduction des conséquences et/ou de la probabilité afin de diminuer la criticité du risque.

- Le partage, qui consiste à ne plus assumer seul le risque (souscription d'assurance par exemple).

- Le plan de reprise, qui permet d'anticiper le comportement à suivre, pour revenir à une situation stable, en cas de réalisation du risque.

Un « Etat de l'Art », dans le domaine de la gestion des risques des projets de développement et sa méthodologie de déploiement, a été dressé en 2008 par le CPI. Il est le résultat d'un travail ayant reçu de nombreuses contributions, dont celle de : Gautier (1995), Kasenty (1997), [Courtot, 1998], Vickoff (2000), Gourc (2000), Zveguintzoff (2002), Navier (2003), Desroches (2003), Le Bissonnais (2003), Verdoux (2006), Grubisic (2007), Ogliari (2007) et Gidel (2007). Il se résume dans le tableau ci-dessous :

Etapes pour la gestion des risques projet	Méthodologie
Identification	- Méthodes analogiques - Méthodes heuristiques - Méthodes analytiques
Evaluation	- Méthodes qualitatives - Méthodes quantitatives
Traitement	- Plan d'action et analyse des risques résiduels - Analyse des scénarios à l'aide des chaînes de Markov
Suivi	- Suivi des risques identifiés et surveillance du déclanchement de nouveaux événements
Capitalisation	- Documentation spécifique

Tableau 3 - Etat de l'Art des méthodes de management des risques Projet
Source : Vervliet (2008), CPI

L'emploi de check-lists de risques est une bonne illustration des méthodes analogiques. Les méthodes heuristiques se définissent quant à elles comme des méthodologies qui ne sont pas fondées sur un modèle formel, et qui permettent d'aboutir à une solution qui n'est pas forcément optimale. Enfin, les méthodes analytiques ont pour principe de décomposer le projet en tâche et sous-tâches.

1.2.1.4 Les manques relevés dans les applications en entreprise

Le panorama, succinct et partiel, que nous venons de dresser dans le domaine de la gestion des risques de projet de développement appliquée aux entreprises, nous permet de faire un premier bilan. Si la nature des risques traités correspond à nos objectifs, la majorité des méthodes utilisées présentent des manques important par rapports aux attentes que nous avons

pour l'outil que nous voulons développer. Ces attentes, synthétisées dans le paragraphe 1.1.5., ne sont notamment pas atteintes sur 3 principaux points :

- L'anticipation des scénarios de risques et opportunités

- L'aspect global de la gestion des risques et des opportunités

- La rationalité des évaluations et leur cohérence par rapport à la stratégie de l'entreprise

Anticipation des scénarios de risques et opportunités

Comme en témoigne l'usage rependu des méthodes AMDEC, APR, diagramme cause-conséquences ou autres, on constate que le risque est essentiellement perçu comme une menace contre laquelle il faut se prémunir. En effet, la gestion des risques de projet de développement, actuellement observable en entreprise, s'apparente plus à une démarche qualité visant à détecter les risques de dérapage du projet, pour définir ensuite un plan d'action de réduction des risques. Or le risque ne doit pas uniquement être perçu comme une menace subie, mais aussi comme la conséquence d'une stratégie que l'entreprise a adoptée pour être plus performante. Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 1.1, l'évaluation du risque doit donc à la fois tenir compte des conséquences positives et négatives, i.e. des opportunités et des menaces pour l'entreprise. « *La question n'est donc en aucune façon de minimiser les risques, mais d'optimiser une prise de risque de façon que la création de mieux-être ne finisse pas par être plus que compensée par les pertes à attendre de l'occurrence de sinistres.* » [Munier, 2004]. En effet, si l'objectif est d'atteindre le risque zéro, le mot « gestion » ne fait plus sens.

Globalité de la gestion des risques de projet

Tenir compte de l'ensemble des caractéristiques d'un projet lors de l'évaluation des risques est le deuxième manque que l'on peut constater dans l'Etat de l'Art établit. En effet, aucun outil ne permet d'évaluer un risque à la fois en fonction de ses impacts sur les aspects calendaires, financiers et techniques. Or « *le management des risques est une intervention sur système complexe, que l'on ne peut certainement pas traiter morceau par morceau ;[…] tous les risques ont une importance relative (ou un prix relatif), pour l'entreprise comme pour la collectivité, qui seule peut nous permettre de définir une politique d'intervention ou de*

prévention » [Munier, 2004] met ainsi en évidence le besoin d'un système d'évaluation global de l'impact d'un risque sur la situation du projet.

Rationalité des évaluations et cohérence par rapport à la stratégie de l'entreprise

On note enfin un manque flagrant de rationalité dans les méthodes d'évaluations des risques que nous avons pu rencontrer. En effet, les échelles utilisées, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives, sont souvent arbitraires. Il manque par ailleurs une correspondance entre les échelles d'évaluation des impacts potentiels des risques, et les intérêts inhérents à l'entreprise au vue de sa stratégie.

Ce besoin en rationalité est d'autant plus important que, comme le soulignent Hammond, Keeney et al. (1998): « *On tend inconsciemment à décider quoi faire avant de savoir pourquoi on veut le faire*». Par conséquent, l'amélioration de la qualité des décisions prises par les responsables concernés, au cours du projet, passe par une objectivisation du Process de décision par la discussion.

Importance de la phase d'évaluation des risques

On constate, dans les trois paragraphes précédents, que l'origine des manques des méthodes existantes se trouve principalement dans la phase d'évaluation des risques. En effet, le traitement des risques ne peut pas être mené de manière globale et rationnelle si l'évaluation des risques ne l'est pas tout autant. Par conséquent, si les autres étapes du cycle de gestion des risques sont également importantes et seront abordées plus en détail dans la troisième partie, nous nous focaliserons dans un premier temps sur la phase d'évaluation des risques et des opportunités des projets de développement.

1.2.2 Caractérisation et attentes pour l'évaluation des risques de projet

Nous proposons, dans ce chapitre, une réflexion plus approfondie sur les points centraux qui vont différencier notre méthodologie des outils existants pour l'évaluation des risques et des opportunités des projets de développement, à savoir : la rationalité, l'anticipation des risques

et leur évaluation globale. Ces thèmes qui sont les sujets de prédilection de la science de la décision.

1.2.2.1 La science de la décision

La recherche de la rationalité et de la globalité, dans la perception de la situation, nous fait nous tourner naturellement vers la science de la décision. Cette science est définie par Roy (1985), comme « *l'activité de celui qui, par des voies qui se veulent scientifiques, vise à apporter des éléments de réponse à des questions que se posent des intervenants dans un processus de décision* ».

Howard et Matheson (1983) soulignent également l'apport de la science de la décision dans la perception globale d'une situation : « *le formalisme de l'analyse de la décision, sert à la fois de langage pour décrire les problèmes de décision mais également de guide philosophique pour les résoudre. L'existence du langage permet d'être plus précis dans la spécification des multiplies facteurs qui impactent une décision*. »

L'aide à la décision : principes de base

La science de la décision suppose habituellement que pour percevoir la situation, le décideur doit disposer de trois types d'informations [Garello, 1992] :

a - sur les actions possibles (les diverses solutions qui s'offrent à lui),
b - sur les conséquences de ces diverses actions,
c - sur les probabilités afférentes à ces conséquences, puisque l'on se situe ordinairement dans un cas de décision dans l'incertain.

Une fois b et c connus, certaines théories développées en science de la décision, permettent de déterminer le choix optimum, pour le décideur, parmi les solutions a. Afin de prévenir le décideur de prendre des décisions irrationnelles, des axiomes de rationalités peuvent être à la base de la détermination de ce choix optimum. Dans le cas de la théorie de l'utilité espérée, les premiers à avoir formalisé des axiomes de rationalité sont Von Neumann et Morgenstern, en 1944.

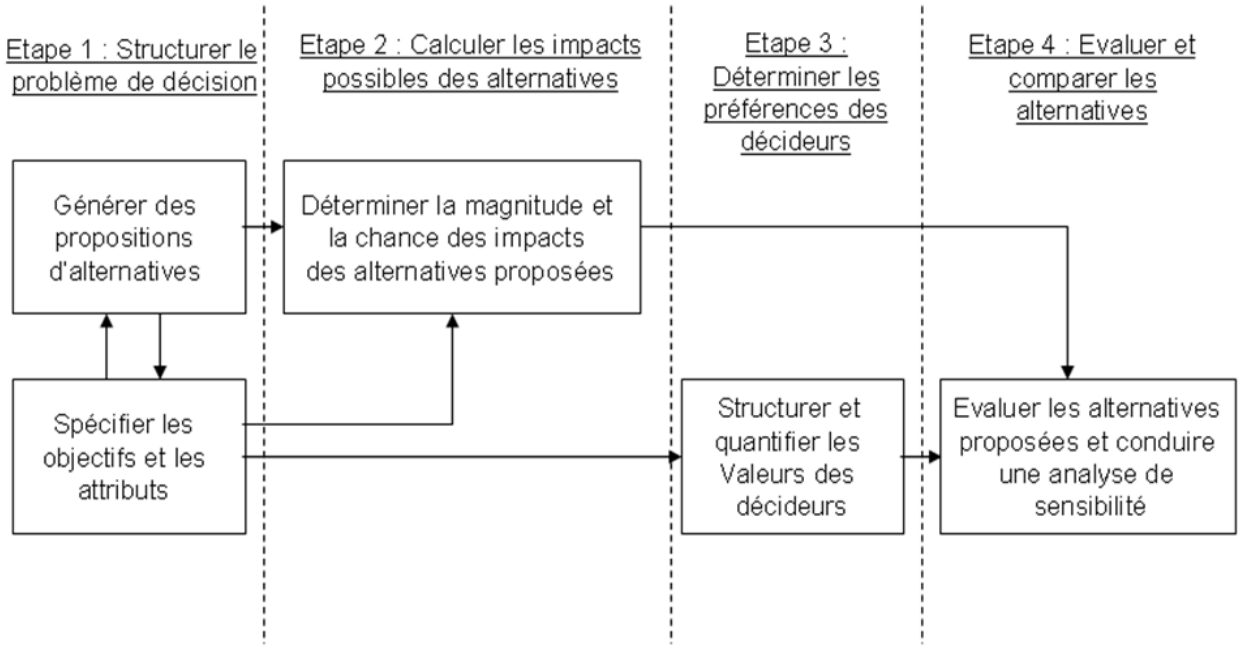


Figure 15 - Les étapes de l'analyse de la décision
Source : Keeney (1982)

Quel type de décision pour l'aide à la décision?

La théorie de l'utilité espérée n'ayant pas résisté à l'épreuve de l'observation empirique, de nombreuses recherches ont contribué à sophistiquer le modèle en y apportant de nouveaux paramètres de perception individuelle. Certaines théories de la décision, comme les théories de l'incertain, sont allées jusqu'à réfuter l'existence de décideurs ayant ce type de raisonnement (a, b, c), estimant qu'ils n'ont que rarement la possibilité, ou l'intelligence, de connaître les conséquences des actions, et les probabilités qui s'y rapportent. Shackle, dès 1953, pense ainsi que le décideur a toujours en tête une ou deux données majeures, et qu'il se focalise là-dessus : « *La décision finale entre les différentes actions perçues se fait sur la base d'un processus de focalisation, par opposition à un processus d'agrégation* ».

Cependant, on trouve dans [Keeney & Raïffa, 1993], ouvrage référence sur la théorie de l'utilité espérée appliquée dans un contexte multi-attribut[4], une réponse réconciliant ces courants divergeant : « *L'aide à la décision n'est pas faite pour des décisions de routine régulièrement effectuées, cela doit s'appliquer à des décisions unitaires et stratégiques*. ». Or dans le cas d'un projet de développement, le but n'est pas de prédire un comportement individuel, mais d'aider un responsable sur un choix impliquant une organisation entière. Ce

[4] Plusieurs paramètres à considérer pour optimiser le choix d'une option.

décideur doit donc rationaliser sa décision, non en fonction de ses propres intérêts, mais en fonction des intérêts stratégiques de l'entreprise. Dans ce contexte, on peut raisonnablement penser qu'avant de prendre une décision, toutes les options et leurs implications possibles sur la situation du projet seront envisagés.

Intérêts de l'aide à la décision

Outre l'optimisation, pour l'entreprise, de la prise de risque sur le projet de développement considéré, l'aide à la décision présente d'autres intérêts. [Kenney & Raïffa, 1993] distinguent ainsi trois apports supplémentaires de l'aide à la décision :

- Le « *confort psychologique* » apporté au décideur dans le cas d'une décision complexe pour laquelle il est difficile de cerner la globalité des enjeux.

- Un « *Process de communication* » de la stratégie de l'entreprise.

- Une « *justification* », qui permet au décideur, voire à l'entreprise entière, de défendre sa prise de position derrière les concepts de rationalité mis en évidence.

Dans la même idée, Kast (1993), remarque que « *la théorie de la décision donne les moyens aux décideurs non seulement d'analyser leurs problèmes, mais aussi de pouvoir justifier les solutions proposées : elles sont rationnelles* ».

Penchons-nous à présent plus en détail sur cette notion de rationalité et sa dépendance par rapport au contexte, ceci dans le souci constant de définir au plus juste les caractéristiques de notre outil de gestion des risques et opportunités des projets de développement.

1.2.2.2 La rationalité

Une définition de la rationalité a été proposée par Richter en 1971. Elle stipule que pour être rationnel, le choix d'un décideur doit être indépendant du contexte dans lequel il se trouve.

Si l'on note[5] :

- X l'ensemble des options qui s'offrent au décideur (le décideur est amené à effectuer un choix sur tout ou une partie de X).

[5] Notations reprises du papier de [Ndiaye, 2001].

- Q une relation binaire sur X.
- P(X) l'ensemble des parties non-vides de X.
- F un ensemble de parties non vides de X.
- C la fonction de choix définie de F dans P(X) avec la condition C(S) $\subseteq$ S (l'ensemble des éléments de S choisis par le décideur se trouvaient dans l'ensemble des options proposées).

La définition de Richter se traduit alors de la manière suivante :

DEFINITION 1 : Un choix est rationnel s'il est rationalisable par une relation binaire Q, c'est-à-dire s'il existe une relation binaire Q telle que $\forall S \in F, C(S) = \{x \in S : xQy, \forall y \in S\}$.

En supposant que, pour un décideur, toute relation de préférence est un préordre total[6] (i.e. toutes les options de choix sont comparables entre elles et les préférences sont transitives) et que les conditions de continuité des préférences sont vérifiées, alors Q est représentable par une fonction d'utilité u définie de X dans $\Re$ par : $\forall x, y \in X, xQy \Leftrightarrow u(x) \geq u(y)$.

La définition 1 devient alors :

DEFINITION 2 : C est un choix rationnel s'il existe une fonction d'utilité u telle que $\forall S \in F, C(S) = \{x \in S : u(x) \geq u(y), \forall y \in S\}$.

On reconnaît alors la rationalité définie comme la maximisation, sous contraintes, de l'utilité du décideur. Cette définition du choix rationnel, base sous-jacente de la plupart des théories du choix, est cependant difficilement vérifiable à partir des choix d'un décideur. Sen va alors proposer, toujours en 1971, une traduction axiomatique de cette définition (2) lorsque le domaine du choix, F, est abstrait :

Un choix est rationnel si, et seulement si, il respecte les deux axiomes suivants:

AXIOME 1, Propriété α de Chernoff (1954)

$\forall S, S' \in F, S \subset S' \Rightarrow C(S') \cap S \subset C(S)$

AXIOME 2, Propriété γ de Sen (1971)

Soit M= $\{V_i\}_{i \in I,}$ une classe d'ensembles de F. On a :

[6] Définition d'un préordre total dans la partie « Abréviations et Notation » en début de mémoire.

$$\bigcap_{i \in I} C(V_i) \subset C\left(\bigcup_{i \in I} V_i\right)$$

Ces deux axiomes traduisent la stabilité du choix par rapport à l'étendue des options proposées. En effet le premier axiome nous dit que si x est choisi dans S, alors il doit également être choisi dans tout sous-ensemble de S dans lequel il est inclus. De même, le second axiome nous dit que si x appartient à plusieurs ensembles et qu'il est choisi dans chacun de ces ensembles, alors il doit également être choisi dans l'union de ces ensembles.

Deux contre-exemples sont formulés par Sen, en 1993, qui tente de mettre en défaut la définition de la rationalité de Richter exprimée sous forme axiomatique. Voici les deux contre-exemples :

EXEMPLE 1, Sen (1993). A un dîner, on vous présente des parts de gâteau.

Situation 1 : Vous avez le choix entre x = « tranche 1 de gâteau », y = « tranche 2 de gâteau », avec y>x (c'est-à-dire que y est une part plus grande que x).

Situation 2 : Vous avez le choix entre x = « tranche 1 de gâteau », y = « tranche 2 de gâteau », z = « tranche 3 de gâteau », avec z>y>x.

Si votre principe est : « Prendre la part de gâteau la plus grande possible mais pas la plus grande » alors C{x, y}={x} mais C{x, y, z}={y}. En violation de la propriété α.

EXEMPLE 2, Sen (1993). Vous êtes chez une connaissance éloignée.

Situation 1 : Vous avez le choix entre x = « prendre le thé », y= « rentrer à la maison ». Supposons que C{x, y}={x}.

Situation 2 : Vous avez le choix entre x= « prendre le thé », y= « rentrer à la maison », z= « prendre de la cocaïne ».

On peut alors supposer que C{x, y, z}={y}. En violation de la propriété α.

Dans une publication parue en 2001, après avoir présenté et interprété ces contre-exemples, [Marc-Arthur Diaye, 2001] conclue qu' « *un ensemble de choix représente un contexte particulier de choix* » qui influe sur la relation de préférence du décideur. Suite à ce constat, il propose alors une nouvelle définition de la rationalité, que nous ne détaillerons pas ici, mais

qui fait intervenir la notion de profil rationalisant, i.e. un ensemble de relations de préférence dont le nombre dépend des contextes observés par le décideur jusqu'à la date de prise de décision.

Revenons à présent sur les deux contre-exemples cités plus haut :

1er exemple : Quelle part de gâteau ?

Dans ce premier exemple, la mise en défaut de la rationalité vient du fait que les parts sont qualifiées uniquement par leur taille absolue, et non par leur taille relative aux autres parts présentes sur le plat. Or la taille absolue ne permet pas de décrire les deux objectifs que souhaite maximiser le décideur : sa gourmandise et sa réputation. Par contre, si le critère de préférence avait été la taille relative de la part et non la taille absolue, le décideur aurait choisit « la deuxième part la plus grosse » dans chacune des situations, ce qui n'aurait pas remis en cause la définition de la rationalité au sens de Richter.

Lorsqu'on construit la relation de préférence d'un décideur sur un ensemble d'options, il faut donc veiller à y intégrer tout les éléments qui définissent cette préférence, y compris les éléments extérieurs appartenant au « contexte ». Dans cet exemple, la prise en compte des changements potentiels du contexte dans la définition de la relation de préférence a été aisée, mais elle peut, dans certains cas, nécessiter l'emploi d'une relation de préférence multi-attributs.

2ème exemple : Prenez-vous le thé ?

[Marc-Arthur Diaye, 2001] explique dans sa publication que la violation de l'axiome de rationalité vient du fait que le décideur était en situation imparfaite avant qu'on ne lui propose de la cocaïne. Une fois cette proposition faite (que le décideur peut considérer comme anti-morale), il choisit l'option défensive (rentrer chez lui), pour clore le processus de décision. Marc-Arthur Diaye ajoute que si les options proposées au décideur avaient toutes été des biens physiques, l'existence d'un bien anti-moral n'aurait pas affecté la rationalité de ses choix au sens de Richter.

Donnons un nouvel exemple pour faire progresser la réflexion :

EXEMPLE 2 b Vous marchez dans le désert, perdu depuis 2 jours, et vos réserves d'eau sont épuisées depuis plusieurs heures. Vous apercevez alors la tente d'un touareg qui vous propose plusieurs options :

Situation 1 : Vous avez le choix entre x = « prendre le thé », y= « passer votre route». Supposons que C{x, y}={x}.

Situation 2 : Vous avez le choix entre x= « prendre le thé », y= « passer votre route », z= « prendre de la cocaïne ». On peut alors supposer que C{x, y, z}={x}.

A travers cet exemple 2b, on se rend compte que dans l'exemple 2, la rationalité des choix au sens de Richter a été violée car le changement de contexte entraîné par la modification des options proposées a également entraîné un changement des objectifs que cherche à atteindre le décideur. En effet, dans la situation 2.1, le décideur cherche à passer du bon temps, dans la situation 2.2, il cherche à se mettre en sécurité alors que dans l'exemple 2b, il cherche à survivre[7] dans tous les cas.

Rationalité individuelle

[Daniel K. Schneider, 1996] écrit que « *la modélisation qui désire savoir comment un décideur (individuel et collectif) prend une décision doit s'intéresser à la façon dont le décideur modélise le monde et au savoir-faire subjectif et intersubjectif qui permet de traiter cette information* ».

Scott (1976), attribue à tout processus de prise de décision les éléments linéaires suivants:
1. Un processus de recherche pour découvrir des buts
2. La formulation d'objectifs exacts
3. La sélection d'alternatives (stratégiques) pour accomplir ces objectifs
4. L'évaluation des résultats

Cependant, selon (Schneider, 1996), « *le processus de la décision ne conduit pas linéairement de la sélection des buts à la "conclusion*". » Comme le notent par exemple Pressman et Wildavski (1984) ou Bardach (1977), « *les buts d'une décision ne seront souvent "découverts" que durant le processus même de la mise en œuvre de la décision*. »

[7] Nous pouvons ici évoquer Maslow, qui à travers sa pyramide [Maslow, 1940], a tenté de donner une priorisation universelle de ces objectifs pour tout individu.

Nous pouvons alors essayer, dans l'unique but de susciter le débat, de représenter par un diagramme le mécanisme de choix d'un individu face à une situation :

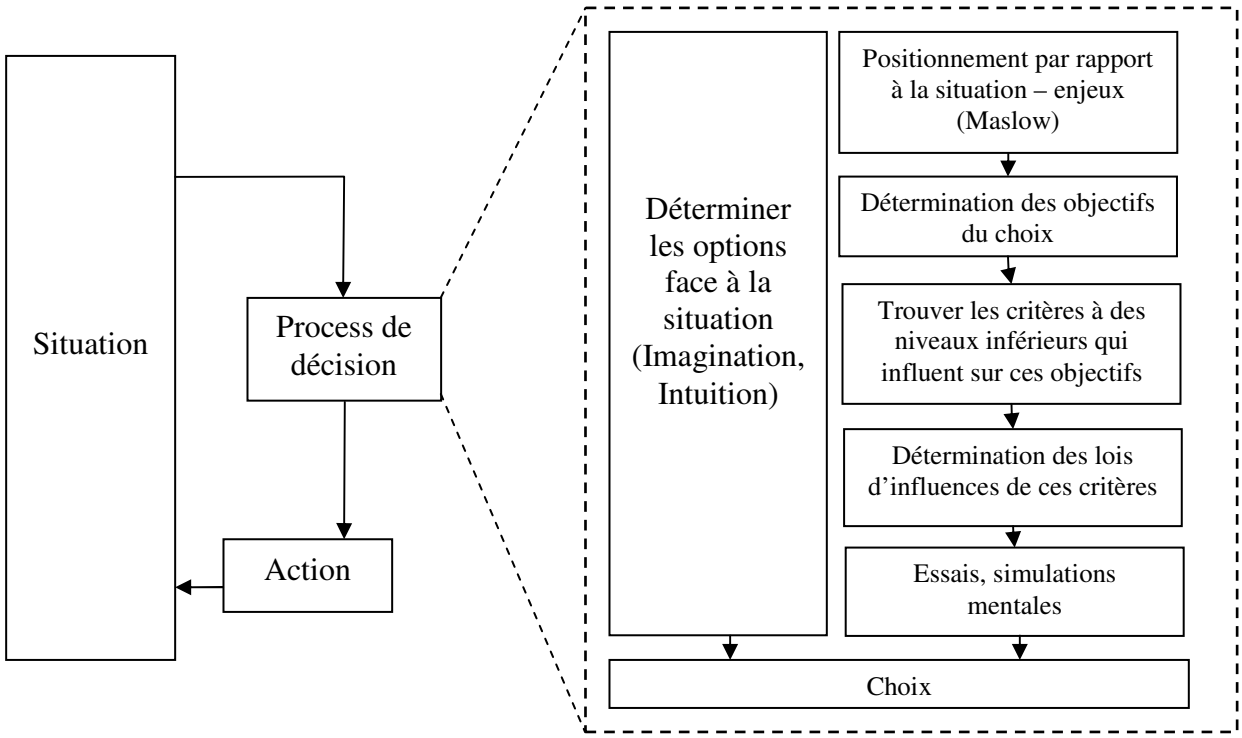


Figure 16 - Proposition de représentation d'un mécanisme individuel de choix

Toujours est-il que, comme le conclut justement Marc-Arthur Diaye, le changement de contexte entraîne ici l'apparition d'une nouvelle relation de préférence car les objectifs du décideur ne sont plus les mêmes. Ce constat rejoint la définition de la rationalité utilisée en économie : « *conduite cohérente, voir optimale par rapport aux buts d'un individu ou d'un groupe d'individu.* ».

On trouve également dans [Etchart, 2003], plusieurs définitions du comportement rationnel : « *On définit traditionnellement le choix rationnel par sa capacité à promouvoir l'intérêt personnel de l'agent d'une part et par son caractère logique (cohérence interne des choix) d'autre part (Sen, 1985 ; Vriend, 1996). Ainsi, un comportement rationnel, c'est tout d'abord un comportement raisonnable, planifié, cohérent (McFadden, 1999), un comportement qui met en relation des moyens et des fins et manifeste une capacité à désigner les actions meilleures que les autres (Munier, 1984). Des préférences irrationnelles peuvent amener l'agent à accepter des paris appauvrissant, c'est-à-dire des transactions qui ne lui sont pas profitables et sont même susceptibles de le conduire à la ruine (on parle également de Dutch Book ou, de manière plus imagée, de pompe à monnaie, quand on veut évoquer la répétition de telles transactions).* »

Dans l'hypothèse où notre outil ne présenterait pas de fonctions de préférences à dépendance de contexte, nous devrons donc vérifier, à chaque fois qu'une aide à la décision est proposée, que les relations de préférences utilisées reposent sur des objectifs qui sont toujours d'actualité, au risque de compromettre la rationalité du choix suggéré.

Rationalité d'une entreprise

Concernant les objectifs d'une entreprise, ils peuvent toujours se résumer en un seul : gagner de l'argent. Cependant, une situation économique difficile, par exemple, peut très bien modifier les objectifs intermédiaires que doit atteindre l'entreprise pour gagner de l'argent. De la même façon, les relations de préférence des clients sur les critères de performance du produit reflètent ses attentes en matière d'utilisation et ses priorités en termes de prix. Ici aussi, si l'utilisation qu'il fait du produit change, ou qu'un contexte économique défavorable perturbe l'activité de son entreprise, les relations de préférence déterminées dans un premier temps ne correspondront plus à sa rationalité, et devront être déterminées à nouveau pour permettre une aide à la décision rationnelle par rapport à ces nouveaux objectifs.

Lors de la construction du cadre d'évaluation des risques et opportunités de notre outil, nous devrons donc veiller à :

- Détailler suffisamment les paramètres d'évaluation pour pouvoir tenir compte de toutes les dimensions de l'objectif du décideur.

- Insister sur la réalité de la modélisation du contexte dans lequel se déroule le projet. On pense notamment à prendre en compte le contexte concurrentiel lors des évaluations.

Il faudra également s'assurer que les objectifs de l'entreprise ne changent pas en cours de projet. Si tel était le cas, suite à une modification du contexte concurrentiel ou à un changement de stratégie de l'entreprise, il sera nécessaire de reconsidérer le cadre d'évaluation des risques et opportunités.

1.2.2.3 Subjectivité et globalité des situations

Globalité des situations

Comme nous venons de le voir, les objectifs d'un projet, pour une entreprise, ne sont que des sous-objectifs qui, combinés ensemble, permettre de contribuer à atteindre l'objectif principal : gagner de l'argent. Or pour évaluer la situation d'un projet, comme nous le souhaitons, de manière globale, il faut relier entre eux tous ces sous-objectifs. Ces sous-objectifs portant sur des indicateurs de natures très différentes (Délai de mise sur le marché, caractéristiques du produit,…), les mécanismes d'interdépendance qui les relient, pour former un indicateur global du projet, sont complexes et difficilement formalisables. En effet, ces mécanismes dépendent non-seulement de tous les aspects du projet, mais également d'aspects extérieurs, comme la situation des autres projets, le contexte concurrentiel, la stratégie de l'entreprise, le contexte économique, etc. Par conséquent, seuls les décideurs de l'entreprise ayant une vision globale des activités de l'entreprise et connaissant tous les aspects de sa stratégie possèdent, de façon subjective, les informations permettant de reconstituer ces mécanismes.

L'outil d'aide à la décision face aux risques et aux opportunités d'un projet de développement, que nous voulons développer, n'a donc d'autre but que de recueillir et de rationaliser les informations détenus par les décideurs stratégiques. A partir de là, nous pourrons proposer, dans chaque situation de choix interne au projet, une solution qui se veut optimale au sens de la gestion rationnelle des risques, et ainsi diffuser aux milieux opérationnels, la stratégie de l'entreprise pour ce projet.

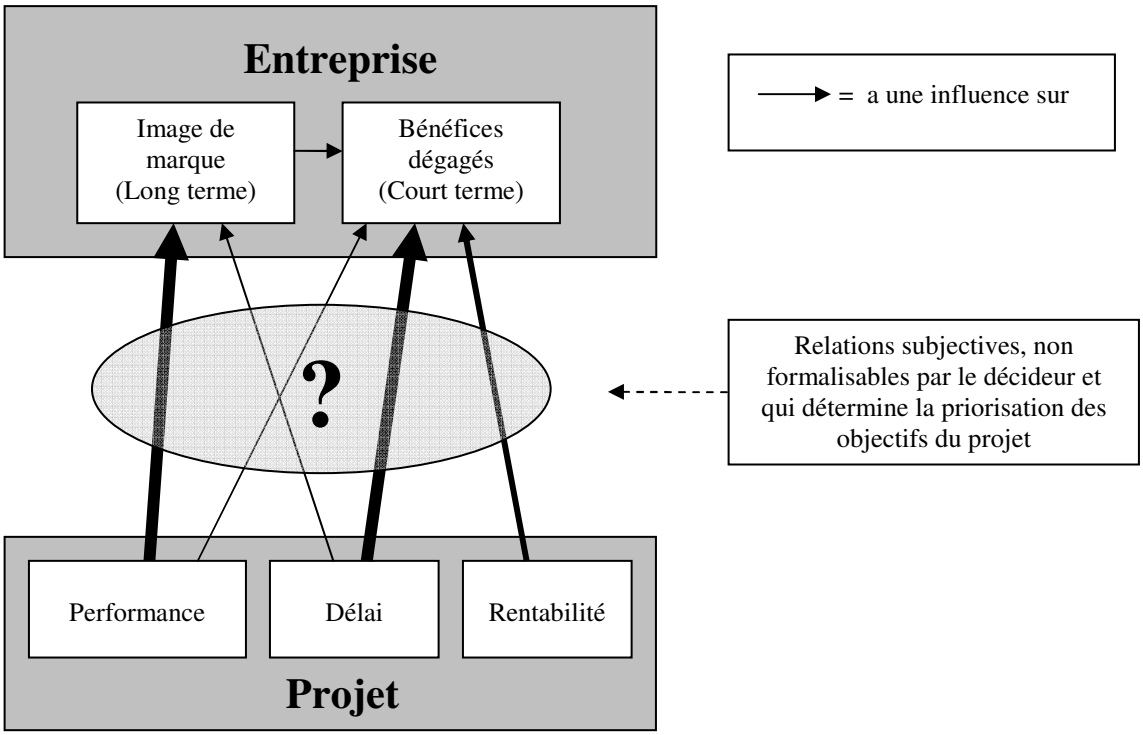


Figure 17 - Représentation des liens entre les objectifs des projets et ceux de l'entreprise

Bieder (2006) souligne, dans la même idée, que « *la réalité ne catégorise ni ne distingue les dimensions techniques, humaines, organisationnelles, procédurales, environnementales. Elles coexistent de façon indissociable. Par conséquence, prendre en compte les aspects humains et organisationnels dans la gestion des risques suppose davantage une vision intégrée des différents aspects d'une analyse centrée sur certains d'entre eux* ».

Probabilités subjectives

Pour estimer la probabilité d'occurrence d'un évènement, élément indispensable dans la gestion des risques et des opportunités, soit :

- On dispose d'un historique, d'une base de données, qui, par transposition, permet de donner une estimation de la probabilité de réédition d'un évènement.

- On détermine une probabilité subjective auprès d'un expert.

Cette deuxième approche est la plus intéressante pour nous. En effet, non seulement l'expert a connaissance des historiques d'apparition de l'évènement considéré, mais il a également conscience des nombreux facteurs qui peuvent avoir une influence sur son occurrence. Comme l'écrit [Céline Tea, 2009] dans sa thèse sur l'introduction de données subjectives dans

les retours d'expérience : « *Dans la perspective subjectiviste, l'évaluation des risques consiste avant tout à rechercher les informations, comparer, juger, inférer en fonction des connaissances passées et donc de gérer un véritable réseau d'informations : la détermination de la probabilité subjective est assimilable à un comportement ou à une conduite construite faisant appel à des processus de traitement des informations suivant des heuristiques étudiées par les psychologues* ». Munier (2003), souligne également qu'on « *insère des sciences sociales à l'intérieur d'un modèle qui n'en tient pas compte à l'origine.* »

« *L'analyse de la décision englobe une philosophie, des concepts et une approche pour examiner un problème de décision formellement et systématiquement. Ce n'est pas une manière de substituer un mode de pensée créatif et innovant, mais cela plutôt promeut et utilise de tels efforts pour fournir d'importantes intuitions dans un problème* ». Comme le souligne ainsi Keeney (1982), par l'introduction d'éléments subjectifs lors de la formalisation des estimations des risques et opportunités, nous nous ouvrons à l'introduction de l'intuition dans le processus de décision. Or seule cette façon d'évaluer la situation peut permettre d'anticiper des évènements considérés comme imprévisibles.

1.2.3 Les méthodes actuelles pour l'évaluation des risques

Nous dressons, dans ce paragraphe, une liste non-exhaustive des méthodes possibles pour l'évaluation globale et rationnelle des risques et des opportunités d'un projet de développement. Nous nous intéressons dans un premier temps aux méthodes d'évaluation des risques couramment utilisées en entreprise. Nous aborderons ensuite des méthodologies, également utilisées en entreprises, qui permettent de gérer la cohérence d'un développement de produit, avant de nous intéresser aux méthodologies ou courants de recherche visant à rationaliser les choix.

1.2.3.1 Evaluer et hiérarchiser les risques dans les méthodes couramment utilisées en entreprise

Dans les méthodes d'évaluation des risques que l'on retrouve couramment en entreprise, deux concepts prédominent : la matrice de risque et les évaluations du type AMDEC.

Matrice de risque

La matrice de risque est une méthode très générale et répandue qui a donné naissance à de nombreuses dérivées. Elle caractérise le risque par :

- Une note de gravité, typiquement sur une échelle allant de 1 à 5, dont la description est qualitative.

- Une note de probabilité, également sur une échelle allant de 1 à 5, décrivant qualitativement une vraisemblance d'occurrence.

A partir de cette notation, on lit dans une matrice quel est le niveau du risque considéré : est-il acceptable ou non ? Peut-on clore son suivi ou non ? Les frontières des zones d'acceptation des risques doivent être établies par l'entreprise et validées par les responsables concernés.

Cette méthode, employée par la société S, basée à Toulouse, dont nous avons pu observer la méthodologie de gestion des risques de projets de développement (Cf. 1.2.1.2), est également citée comme exemple dans la norme internationale IEC 62198 : « Lignes directrices pour l'application de la gestion des risques liés à un projet. ».

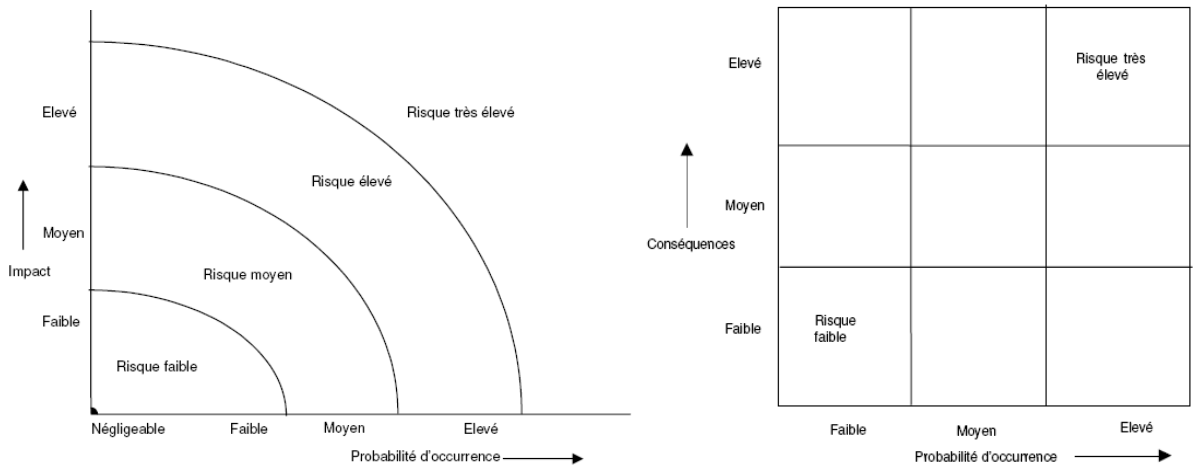


Figure 18 - L'évaluation des risques selon la norme IEC 62198
Source : AFNOR

Evaluation des risques du type AMDEC

Les évaluations des risques par les méthodes du type AMDEC sont comparables. En effet, après avoir décomposé le système en sous-système ou en tâche, l'AMDEC projet envisage, pour chacune, quels pourraient être ses modes de défaillance. Après avoir déterminé les

causes, les conséquences et les moyens de détection de ces défaillances, 3 notes sont données par le groupe d'expert en charge de réaliser l'AMDEC :

- Une note de gravité G.

- Une note de probabilité d'occurrence O.

- Une note de détectabilité de la défaillance avant que sa conséquence ne survienne D (la maîtrise de la défaillance, en quelque sorte).

Comme pour la méthode de la matrice des risques, ces notes sont données à partir d'échelles qualitatives renvoyant à des scores de 1 à 10. Une note de criticité C est alors calculée pour la défaillance potentielle de la manière suivante : C = G x O x D. Les défaillances peuvent alors être hiérarchisées à partir de leur criticité et un plan d'action est défini pour réduire la probabilité d'occurrence, la gravité et la détectabilité des défaillances les plus critiques. Un seuil limite de criticité (souvent 125) est défini comme le seuil en dessous duquel le risque de défaillance est considéré comme acceptable.

Si l'aspect accessible et transparent des matrices de risque et des AMDEC permet leur utilisation à grande échelle en entreprise, leurs principes d'évaluation n'en restent pas moins très pauvres par rapport aux exigences que nous nous sommes fixés pour l'élaboration d'un outil de gestion des risques de projet. En effet :

- Les conséquences ne sont évaluées que sur une dimension, ce qui ne permet pas une estimation globale de la situation.

- Sur les échelles proposées, les comparaisons entre les différentes notations n'ont de signification que pour une comparaison directe, ce qui permet difficilement la rationalisation des choix pour le décideur. (Passer d'un score de 10 à 8 pour une défaillance vaut-il autant, en termes d'investissement, que de passer d'un score de 6 à 2 pour une autre ?).

- La détermination du « seuil d'acceptabilité » du risque se fait de manière très arbitraire, notamment dans le cas de l'AMDEC.

- Les relations d'interdépendance entre les différentes conséquences d'un même risque ne sont pas prises en compte.

1.2.3.2 Méthodes d'évaluation multicritères

Nous faisons à présent le point, toujours à partir d'une liste non-exhaustive, sur les différentes méthodes d'évaluation existantes, dites « multicritère ». Ces méthodes ont pour point commun de pouvoir classer, par ordre de préférence pour un décideur (ou un groupe de décideur), plusieurs options, et ce à partir de plusieurs critères discriminants.

Vers la fin des années 70 et le début des années 80, on voit apparaître nombre de méthodes d'évaluation multicritère, de plus en plus sophistiquées. On peut alors distinguer, parmi ces méthodes, deux courants de recherche :

- les méthodes de l'approche par critère unique de synthèse

- les méthodes de l'approche par surclassement de synthèse

Les méthodes de l'approche du critère unique de synthèse

Parmi ces méthodes, on peut tout d'abord distinguer celles qui nécessitent, en INPUT (données d'entrée du système), des données de nature cardinale, comme la méthode TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) de Hwang et Yoon, (1981).

Or comme nous l'avons évoqué dans les chapitres précédents, l'outil que nous voulons développer devra évaluer des situations qui pourront être caractérisées par des paramètres à la fois qualitatifs et subjectifs. Les méthodes suivantes, que nous ne détaillerons pas, répondent à cette exigence :

- Méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty, (1980)
- Méthode EVAMIX de Voogd, (1983)
- …

Cependant, ces dernières méthodes font toutes intervenir, dans le processus qui permet de parvenir à un critère unique de synthèse, des poids, des « coefficients d'importance relative » ou des échelles d'évaluation qui restent très arbitraire.

Les méthodes de l'approche de surclassement de synthèse

Utilisées dans de nombreuses entreprises parmi lesquelles Air France, EDF et la RATP, les méthodes ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) proposent une aide à la

décision en comparant les options possibles entre elles en vue d'un choix final. Fondées sur des relations de surclassement[8], elles permettent d'évaluer les options sur une famille cohérente de critères quantitatifs ou qualitatifs (pseudo-critères). La première version de la méthode, ELECTRE I, a été proposée par Roy en 1968. Sont ensuite apparues les versions II (Roy et Bertier, 1973), III (Roy, 1978), IV (Roy et Hugonnard, 1982), IS (Roy et Skalka, 1985) et ELECTRE Tri. Sont également apparues des méthodes dérivées comme PROMETHEE 1 et 2 (Préférence Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluation) de Brans et Vincke (1985). Si les méthodes ELECTRE I et IS ont été conçues pour aider le décideur à choisir une option, les versions III, IV, Tri et PROMETHEE sont plus orientées sur le tri des différentes options. Les différentes versions de la méthode ont permis de sophistiquer l'outil pour s'adapter aux problématiques rencontrées par les décideurs. Cette sophistication a cependant entraîné une difficulté grandissante de compréhension pour l'utilisateur.

La mise en application de ces méthodes consiste en une démarche constructiviste, où les préférences des décideurs, telles qu'elles sont exprimées, servent à construire la modélisation de préférence. La rationalité de la méthode se résume donc à la rationalité des décideurs qui ont contribué à le construire, ce qui rend discutable le côté prescriptif de l'outil en vue d'une aide à la décision. Une autre lacune de ces méthodes réside dans le fait qu'elles ne prennent pas en compte l'incertitude dans l'évaluation de la situation, aspect indispensable de l'outil que nous voulons développer. C'est donc vers les méthodes d'évaluation multicritère issues de la théorie de Von Neumann et Morgenstern, dont la spécificité est de prendre en compte l'incertitude dans l'évaluation des situations, que nous allons nous tourner.

Les méthodes d'évaluation multicritère issues de Von Neumann et Morgenstern (VNM)

Ces méthodes proposent une aide à la décision en discriminant les différentes options du décideur par le critère de l'utilité espérée[9]. Cette théorie, qui suppose du décideur certains principes de rationalité, intègre la subjectivité de ses jugements en milieu incertain, pour construire avec lui un cadre d'évaluation, rationnel et personnalisé, des risques et opportunités

8 Roy (1974) : « Une relation de surclassement binaire S définie dans A est telle que : aSb si, étant donné ce que l'on sait des préférences du décideur et étant donné la qualité des évaluations des actions et la nature du problème, il y a suffisamment d'arguments pour admettre que a est au moins aussi bonne que b, sans qu'il ait de raison importante de refuser cette affirmation. »

9 Nous reviendrons en détail sur l'historique et le principe de fonctionnement de cette théorie dans le chapitre 2.1

qu'il pourra rencontrer. Véritables techniques d'« ingénierie du subjectif » [Munier, 2004], ces méthodes sont les seules, à l'heure actuelle, à pourvoir prétendre rationaliser, dans le risque[10], la perception globale d'une situation.

[Schneider, 1996] : « *Parmi les théories analytiques ou normatives de la décision, la théorie mathématique de la décision fondée par Von Neumann et Morgenstern (1947) est aujourd'hui la plus développée. Pour la modélisation des processus cognitifs des décideurs, elle opère à un niveau d'abstraction assez élevé et son orientation normative la prédestine plutôt à la préparation de décisions dans des contextes bien définis*. »

Concernant les évaluations multicritères dans ce domaine, MAUT (Multiattribute Utility Theory) de [Keeney et Raïffa, 1976], est la théorie de référence. Il s'agit de la version de la MAVT (Multiattribute Value Theory) [Keeney et Raïffa, 1976] dans le risque. Cette méthode permet de ne pas traiter les risques séparément mais selon un cadre de gestion cohérent qui tient compte de la diversité des sources de risque et de leurs interdépendances. S'appuyant sur une approche du « haut vers le bas » [Keeney et Raiffa, 1976], elle hiérarchise les objectifs du décideur. On trouve ainsi au plus haut niveau l'objectif global du décideur, puis les objectifs sont décomposés en sous-objectifs jusqu'à atteindre un niveau repérable par un indice ou une échelle qu'on nomme attribut. Les préférences du décideur par rapport à ces attributs sont ensuite modélisées par une fonction d'utilité multicritère[11] qui implique une agrégation des attributs. La MAUT permet donc de mettre en évidence et de communiquer la rationalité d'une organisation complexe par rapport à un objectif global, à partir des préférences individuelles ou collectives sur des objectifs partiels.

Si les méthodes issues de la MAUT sont utilisées dans le domaine médical [Le Galès et al., 2001], ferroviaire [Tea, 2009], ou nucléaire [Hamalainen, 1998], elles sont encore peu utilisées en entreprise, dans le cadre de la gestion de projets de développement.

Etant donné que la MAUT remplie toutes les exigences formulées dans les chapitres précédents, c'est la méthode d'évaluation des risques et des opportunités que nous avons choisit comme noyau de l'outil que nous voulons développer dans le cadre de cette thèse.

10 Méthodes tenant compte de l'évaluation des probabilités ou distributions de probabilités portant sur les conséquences.

11 Notion explicitée dans le chapitre 2.1

Les modélisations de la décision politique issues de Von Neumann et Morgenstern (VNM)

Pour éviter les confusions et compléter notre revue de littérature, nous citons ici brièvement quelques modèles de décisions politique qui utilisent la théorie de l'utilité espérée formulée dans les travaux de VNM :

- la **théorie des jeux** (à partir de1940), où l'on analyse le comportement d'individus dans des situations-type de conflit et de coopération.

- le modèle du "**governmental problem-solving"** de Crecine (1969). Science administrative où l'importance du phénomène du choix est relativisée.

- les **modèles de choix à rationalité limitée** de Gallhofer et Saris (1979). Ces auteurs ont fait un travail remarquable pour dépister les stratégies de choix des décideurs qui se trouvent dans des situations empiriques.

Ces modélisations s'appliquent à des situations où les choix des décideurs font intervenir plusieurs acteurs dont les objectifs sont différents, voir antagonistes. Cela conviendrait donc plus à des décisions politiques comme la définition stratégique d'un portefeuille de projet dans le but de pénétrer les marchés de la concurrence. Or les décisions pour lesquelles nous voulons apporter une aide se situent se situent en aval (Cf. parties précédentes).

1.2.3.3 Méthodes de représentation de la situation et des choix du décideur

La question du choix de la méthode d'évaluation des risques et des opportunités résolues, nous nous intéressons maintenant, pour clore la revue de littérature sur les méthodologies, aux méthodes permettant de modéliser, dans le temps, la situation dans laquelle se trouve le décideur. En effet, après avoir définit un cadre d'évaluation en fonction des objectifs du décideur, ces méthodes permettent de formaliser les options qui s'offrent au décideur, options qui seront alors classées par le critère de l'utilité espérée.

Les diagrammes d'influence

Un diagramme d'influence (voir [Shachter, 1986]) est un réseau bayésien[12] enrichi par des nœuds de décision (représentés par des rectangles), et des nœuds déterministes (représentés par des rectangles aux angles arrondis). Les nœuds de chance, modélisant un tirage suivant une distribution de probabilité donnée, sont eux représentés par une ellipse.

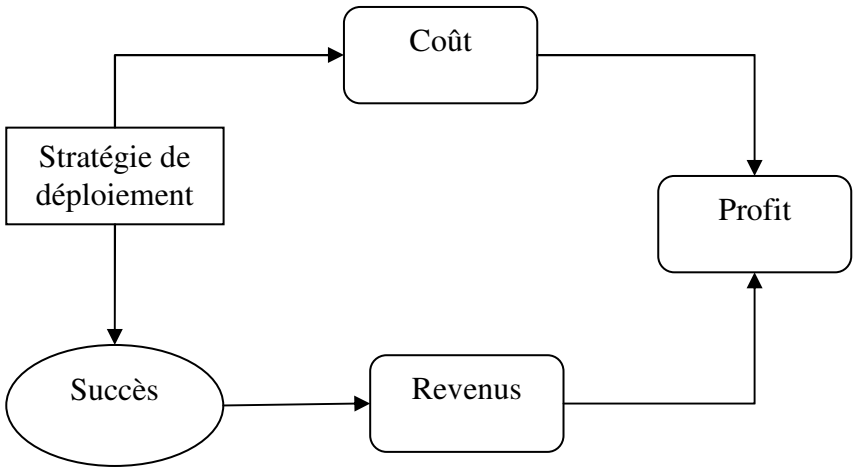


Figure 19 - Exemple de diagramme d'influence
Source : [Lassagne, 2004]

Le diagramme ci-dessus illustre un problème de décision où l'on doit choisir entre plusieurs stratégies de déploiement, chacune ayant un coût connu et une probabilité de succès différents. L'issue du tirage aléatoire sur le succès conditionne les revenus, qui, avec les coûts, permettent de calculer l'espérance sur le profit.

Les intérêts des diagrammes d'influence, selon [Lassagne, 2004] sont multiples. Ils :

- permettent une représentation graphique simplifiée d'un problème complexe.
- résument efficacement les données d'un problème de manière synthétique pour l'analyse décisionnelle.
- permettent de suggérer rapidement la solution la plus adaptée (à la modélisation retenue de la situation près) au problème de décision lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec des arbres de décision dans le cadre de programmes informatiques.
- permettent enfin une analyse de sensibilité[13] pour la solution identifiée.

12 Graphe orienté acyclique dont les nœuds correspondent à des distributions de probabilités et les arcs à des conditionnements entre ces distributions

[13] Il s'agit d'étudier comment la stabilité de la solution trouvée lorsqu'on fait varier les paramètres de la situation par rapport à leur valeur initiale.

Théorie des options réelles

Conçue et utilisée dans le domaine de la finance, la théorie des options réelles (voir [Boyer et al., 2003]) permet d'optimiser une prise de décision en analysant, dans le temps, les risques et les opportunités qui lui sont liés. Ces décisions consistent en :

- des investissements importants,
- l'entrée et la sortie d'un marché,
- la restructuration et la réingénierie organisationnelle,
- l'adoption de nouvelles technologies, etc.

Comme l'expose [Vallée, 2007, P. 60], la notion d'option réelle vient du produit financier : « *Une option est un contrat conférant le droit, et non l'obligation, d'acheter (ou de vendre) une quantité spécifiée d'un actif, à un prix fixé d'avance, à une échéance donnée ou pendant un intervalle de temps spécifié*. »

Une option réelle est donc un droit et non une obligation de faire ou de ne pas faire un acte dans le futur. Appliquée aux projets, l'idée sous-jacente des options réelles est que ces projets créent non seulement directement des richesses mais aussi des opportunités d'investissements qu'il convient de considérer dans le calcul de la valeur.

Pour les options d'investissement, la théorie modélise au moins trois types d'éventualités :
- **Différer** (option de différer) : Lorsque l'avenir est peu clair ou que des informations importantes sont attendues.
- **Développer** (option d'expansion) : Dans la possibilité d'un accroissement futur du marché, par exemple.
- **Abandonner** (option d'abandon) : Arrêter un projet pour éviter des dépenses futures. Cette option dépend de la valeur de vente des actifs et de la facilité à les vendre. Elle nécessite de considérer le rapport coût/profit de l'abandon. Certaines technologies permettent un abandon, d'autres pas.

Appliquée dans des entreprises telles qu'Airbus, General Electric, Hewlett Packard, Intel, Toshiba et autres, la théorie des options réelles s'applique essentiellement dans le domaine de la finance et par conséquent, l'estimation des risques et des opportunités se fait par des calculs de rentabilité probabilisée. Cette description de la situation sur une seule dimension ne correspond pas aux attentes de notre projet d'autant plus que, comme pour les modélisations

de décisions politiques que nous avons évoquées dans le paragraphe 1.1.3.3, le type de décision pour lesquelles nous proposons une aide dans le cadre de cette thèse se situe souvent en aval des problématiques abordées par la théorie des options réelles. Il serait toutefois intéressant d'intégrer à notre outil certains aspects de la modélisation proposée par la théorie des options réelles, comme la possibilité d'abandonner le projet ou la prise en compte des évolutions des paramètres des projets.

1.2.4 Synthèse de la revue de littérature

Après avoir exposé quelques méthodologies, suivies en entreprise, de gestion des risques et des opportunités des projets de développement, nous avons constaté que l'étape d'évaluation des risques était celle sur laquelle il fallait se focaliser pour apporter les améliorations évoqués dans le chapitre 1.1.

La revue de littérature effectuée ensuite sur le thème de l'évaluation des risques et des opportunités fait ressortir un manque flagrant de rationalité dans les méthodes d'estimation, et ce malgré une grande diversité parmi les méthodes utilisées en entreprise. En effet, comme le souligne Yannou dans le domaine technique [Yannou, Deshayes, 2006, P.239], « *Peu d'outils adaptés existent pour vérifier que les performances fonctionnelles probables d'une solution conceptuelle se « superposent » correctement aux attendus du besoin.* ». Cette remarque est vrai aussi bien pour les besoins de l'entreprise que pour ceux du client.

Pour atteindre le niveau d'exigence que nous avons défini en 1.1 en termes de rationalité et de globalité des évaluations des risques et des opportunités, la théorie de l'utilité espérée, développée en science de la décision, nous apparaît être la « base » la plus adaptée à l'élaboration de notre outil. Par conséquent, une revue de littérature plus précise sur la théorie de l'utilité espérée sera effectuée en début de la seconde partie (Développement théorique). Elle retracera l'historique de la théorie, de ses origines à ses derniers développements.

Avant cela, la partie 1.3 définie notre question de recherche et la positionne par rapport aux différents courants existants.

En vue du déploiement de l'outil dans une organisation d'entreprise, que nous détaillerons en partie 3, on pourra retenir de cette revue de littérature :

- Les étapes incontournables de la gestion des risques de projet qu'ont standardisé les normes.
- L'organisation du suivi des risques et opportunités, jusqu'à clôture, comme nous l'avons observé pour l'entreprise toulousaine dans le domaine de l'aéronautique (Cf. 1.2.1.3).
- La méthode de Monte-Carlo pour analyser la distribution de probabilité sur une date de fin de tâche, par exemple. Cette distribution de probabilité pourra alors être une des données d'entrée de notre outil.
- Le regroupement des paramètres technique lorsqu'il existe une équation cartésienne pour les relier.
- L'utilisation d'un espace de perception subjectif pour orienter la conception, dans les phases opérationnelles du projet, vers une solution optimisée.
- L'analyse de la sensibilité de l'aide à la décision proposée, permise par les diagrammes d'influence.
- La modélisation, dans le temps, de la situation du projet et des options d'action proposée par la théorie des options réelles.

CHAPITRE 1.3 : QUESTION ET METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Après avoir choisi, suite à la revue de littérature, de nous orienter vers les sciences de la décision et la théorie de l'utilité espérée pour la conception de notre outil, ce chapitre permet de positionner notre travail par rapport à la recherche dans les différents domaines pour lesquels la thèse apporte une contribution. Après avoir défini la question de recherche, nous nous positionnerons donc en fonction des apports potentiels de la thèse dans les différentes disciplines concernées, puis nous présenterons rapidement le contexte et l'encadrement de la recherche.

Note au lecteur : Dans le paragraphe 1.3.2 où figure le positionnement, nous évoquons des concepts et un lexique issus de la science de la décision qui sont difficilement compréhensibles par un lecteur non initié. Si certaines définitions se trouvent dans la partie « Liste des abréviations et définitions » de ce mémoire, nous reviendrons également sur l'origine et la signification de ces termes dans la seconde partie.

1.3.1 Question de recherche

Pour traiter des situations risquées dans les projets de développement (que ce soient des situations de menaces ou d'opportunités), nous modélisons la situation par les différentes options qui s'offrent au décideur en cours de projet. Ces options peuvent se ramener à des loteries représentant les conséquences incertaines des décisions, associées à leurs probabilités de réalisation.

Pour prendre en compte l'incertitude, on opte donc pour la définition économique du risque : un contexte de risque est un contexte dans lequel la perception du problème comprend trois éléments de base donnés : Les actions, les conséquences, les probabilités. Le décideur dispose

d'un ensemble d'actions possibles et le but du processus décisionnel est de sélectionner un élément de cet ensemble.

C'est ce processus de sélection que notre travail de thèse a pour ambition de définir, d'outiller et de systématiser au sein d'une entreprise dans l'industrie mécanique. Le sujet d'étude étant les projets de développement à caractère innovant, les décideurs concernés seront la direction, le chef de projet ou encore le service marketing.

Notre question de recherche peut donc se synthétiser de la manière suivante : Lorsque des risques et des opportunités se présentent aux décideurs lors des différentes phases d'un projet de développement dans l'industrie mécanique, comment leur apporter une aide à la décision rationnelle, qui tienne compte de la globalité de la situation du projet et qui s'accorde avec la stratégie de l'entreprise ?

Cette question de recherche donne évidemment naissance à de nombreuses sous-questions auxquelles nous tenterons de répondre dans la suite de ce mémoire. Parmi ces questions, on trouve les suivantes :

- Quelle méthode employer pour l'évaluation des risques, est-il nécessaire de l'adapter à la situation ? Dans quelle mesure ?
- Quels paramètres retenir pour mesurer l'impact potentiel d'un risque ou d'une opportunité sur la situation du projet ?
- Quels sont les données d'entrée nécessaire dans le Process de gestion de projet pour analyser les risques ?
- Quels experts interroger et à quel moment ?
- Comment systématiser, au sein du Process décisionnel de l'entreprise, ces phases d'évaluation des risques et opportunités?

Intéressons nous à présent aux différents apports de cette thèse avant de la positionner par rapport aux courants de recherche, dans les différents domaines qu'elle aborde.

1.3.2 Apports de la thèse et positionnement

A la croisée de nombreux domaines de recherche comme l'ingénierie du subjectif, l'organisation des entreprises ou encore le marketing industriel, notre travail de thèse fournit des apports variés :

- Sur le plan de **l'ingénierie** : Comme nous l'avons évoqué lors de la revue de littérature, une des ambitions de cette thèse est de supplanter l'approche de « type qualité »[14] de la gestion des risques, que l'on retrouve dans la plupart des méthodes actuelles, et de la remplacer par une démarche d'optimisation de la prise de risque pour l'entreprise. Cela nous amène notamment à préférer au paramètre « qualité du produit », souvent utilisé par les gestionnaires de projet en entreprise, celui de « performance du produit ».

- Sur le plan de la **théorie de la décision** : Dans la mise en pratique de notre outil, les utilités partielles d'une fonction d'utilité multi-attributs doivent être élicitées auprès de multiples acteurs. Ceci constitue une prise de position non standard dans le cadre de la science de la décision. Elle se justifie grâce à des arguments issus de la neuropsychologie et constitue une vraie démarche de gestion. On reviendra sur ce point dans le chapitre 2.2.

Comme on l'a déjà évoqué dans le chapitre 1.2, l'un des défis de cette thèse sera de rendre la MAUT applicable de manière récurrente dans des situations ou les enjeux sont moindres que ceux pour lesquelles elle est appliquée à l'heure actuelle. Si l'atteinte de cet objectif passe par une organisation rigoureuse et optimisée du recueil des données, nous seront également amenés à apporter des modifications aux méthodes d'encodage des constantes d'échelle des fonctions d'utilité multi-attributs multiplicatives.

- D'un point de vue **social dans le management des projets** : L'encodage des fonctions d'utilité partielles étant réalisées auprès des experts les plus près de la connaissance du terrain, notre outil favorise la remontée des informations, des sachants vers les décideurs. Cette construction « Buttom Up » des priorités est un catalyseur pour l'adhésion des acteurs à la stratégie de l'entreprise, aspect d'autant plus important que « *la bonne direction pour une entreprise est celle où tout le monde va.* »

[14] Viser le « risque zéro ».

- Sur le plan **organisationnel du management des projets** : Apporter une aide à la décision à partir d'estimations réalisées en interne dans l'entreprise, c'est laisser les acteurs maîtres de l'organisation du projet, plutôt que de laisser l'organisation dicter la ligne de conduite des acteurs. Autrement dit, c'est en construisant, avec les acteurs du projet, la priorisation de leurs objectifs, que ces derniers s'organiseront de manière optimale pour les réaliser. En effet, l'optimisation d'une organisation passe par une prise de conscience individuelle des intérêts collectifs.

- Dans le domaine du **marketing industriel** : La construction du cadre d'évaluation des performances du produit et ses différentes utilisations possibles constituent une nouvelle approche du marketing industriel. En effet, l'évaluation des performances à l'aide d'une fonction d'utilité multi-attribut construite à partir des préférences des clients, permet d'analyser les variations de la satisfaction du client en fonction des variations des paramètres de performance.

Le positionnement de notre démarche par rapport aux courants de recherche dans les domaines du management de projet et de la science de la décision nécessite une description plus complète. Ceci est l'objet des paragraphes suivants.

1.3.2.1 Positionnement par rapport à la recherche en management de projets

Dans l'ouvrage « faire de la recherche en management de projet » [Garel, Giard et Midler, 2006], Gautier et Lenfle distinguent deux courants de recherche principaux. Le premier poursuit l'étude des pratiques de management de projet avec pour but d'améliorer les performances en termes de coût/qualité/délai, de résoudre de manière précoce les problèmes survenant en cours de projet, ou encore d'améliorer une phase précise du processus de développement, comme la phase de prototypage par exemple. Le second courant de recherche s'intéresse, quant à lui, à l'amont des projets, avant que la phase de gestion à proprement dite du projet ne démarre.

Le sujet de cette thèse se positionne à cheval sur ces deux courants de recherche, présentant tout de même plus de correspondance avec le second. En effet, si notre outil va permettre, durant la phase d'avant-projet, de définir les objectifs du projet en fonction de l'évaluation des risques et des opportunités, il pourra également être utilisé lors des phases « aval » de la

gestion de projet, en proposant une aide à la décision qui diffuse la stratégie de la direction. Cette aide à la décision permettra, entre autres, d'améliorer l'efficacité du projet sur une évaluation globale performance/coûts/délais. A titre d'illustration, la figure ci-dessous schématise la coordination des phases du projet de développement avec les activités de gestion des risques et des opportunités que nous souhaitons mettre en place.

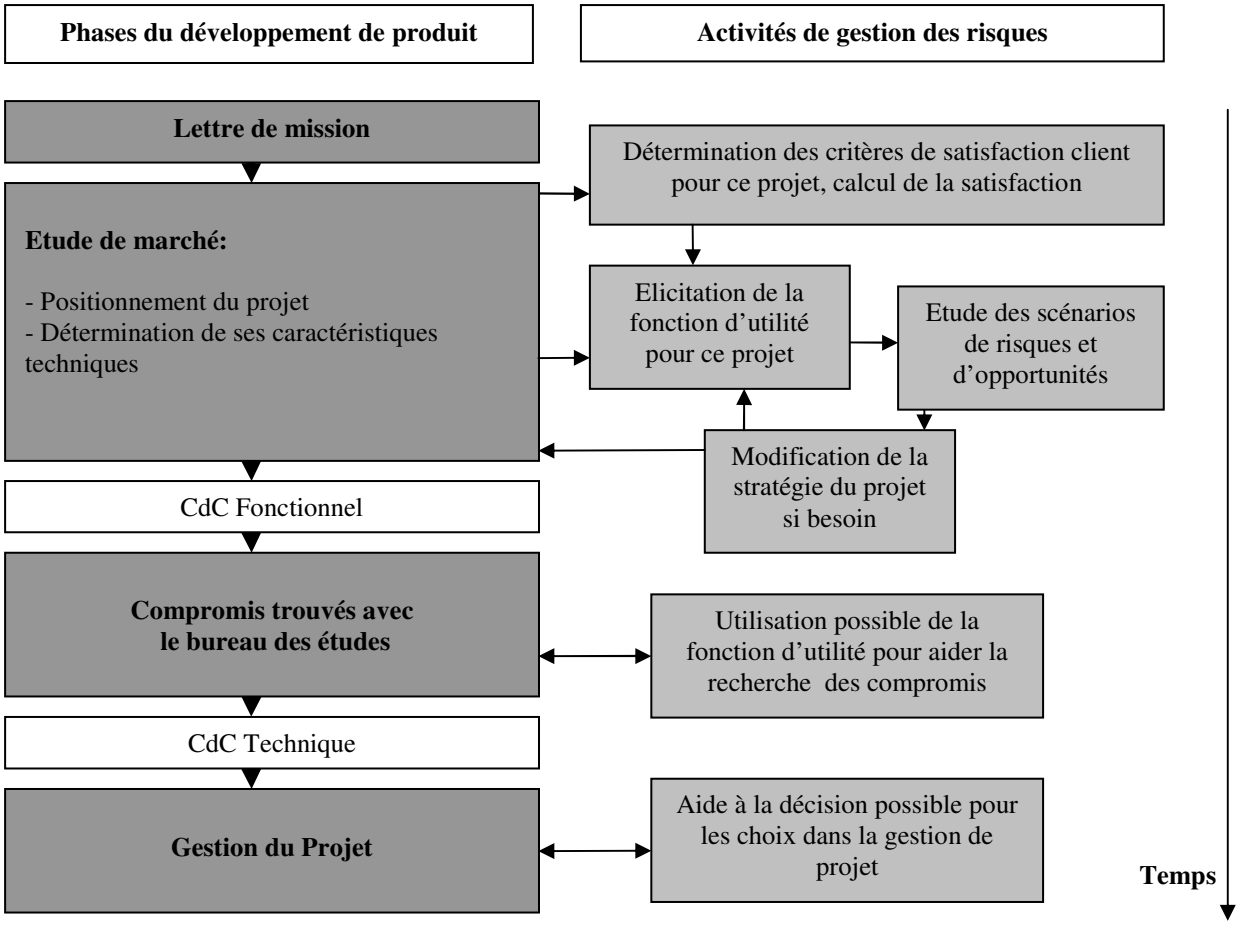


Figure 20 - Coordination des activités de gestion des risques avec les phases du projet de développement

1.3.2.2 Positionnement par rapport à la recherche sur la science de la décision et la MAUT (Multiattribute Utility Theory)

Courants de recherche

Notre démarche s'inscrit dans un courant de l'analyse de la décision que défini Corner (1991): *« […] the term decision analysis refers to a set of quantitative methods for analyzing decisions which use expected utility as the criterion for identifying the preferred decision alternative* ».

Concernant la MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), [J.S. Dyer et al., 1992] font le bilan des étapes de son développement et définissent, P. 648, les courants de recherche dans ce domaine pour les années à venir. Notre démarche s'inscrit ainsi dans deux de ces courants de recherche :

"- The role of multiple criteria in nonlinear utility models,

- Development of improved interactive software for multicriterion decision support systems, taking into account the findings of psychological research about biases and heuristics."

En effet, si l'application, dans le cadre de la thèse, de la théorie de l'utilité-attribut permettra une meilleure connaissance des ses intérêts et de son fonctionnement, elle sera également l'occasion de développer un logiciel d'application spécifique se basant sur l'utilisation personnalisée de la MAUT.

Les disciplines de la décision dans le risque

La décision dans le risque peut concerner aussi bien une société, une organisation, un groupe ou simplement un individu. Par ailleurs, les théories en science de la décision peuvent être descriptives (le model tente de reproduire les décisions prises dans la réalité par le décideur) ou prescriptives (le model est capable d'indiquer au décideur les choix rationnel et optimaux à effectuer pour maximiser ses intérêts). On peut ainsi classer dans un tableau à deux dimensions, (Kleindorfer, Kunreuther et al., 1993), les disciplines dont s'inspirent les sciences de la décision.

	Descriptive Theories	Prescriptive Theories
Individual	Psychology Psychiatry Marketing Literature	Decision theory Operation Research Economic Philosophy/logic
Group	Social Psychology Anthropology Organizational Behavior Sociology	Game theory Clinical Psych/Therapy Organization Behavior Finance/economics
Organization	Sociology Industrial Organization Organization theory Political Science	Planning - Strategy Organization Design Control Theory / Cybernetics Team Theory / economics
Society	Sociology Macro economics Anthropology	Legal Philosophy Political Science Social Choice

Tableau 4 - The disciplinary roots of decisions Science
Source : Kleindorfer, Kunreuther et al. 1993

Nous remarquons dans ce tableau que les activités marketing se situent dans la case « Individual-Descriptive ». En effet, le but du marketing est d'anticiper, de prédire les comportements individuels de consommation. Notre démarche de thèse, quant à elle, a pour ambition de proposer une aide à la décision. Elle se situe ainsi dans la colonne « Prescriptive ». Nous considérerons par ailleurs, dans notre étude, l'entreprise comme une entité à part entière dont l'objectif est de maximiser ses intérêts à travers le projet. Par conséquent, nous nous positionnons principalement dans la case « Individual-Prescriptive », au même titre que les théories de la décision.

Si d'un point de vue macroscopique, notre démarche s'inscrit clairement dans une logique prescriptive, le positionnement des étapes intermédiaires menant à ce résultat, nous allons le voir, n'est pas aussi évident.

Aspects prescriptif, descriptif et normatif de la démarche

« *Comment décider face à l'incertain de manière rationnelle ? Comment les individus et les organisations, confrontés à des choix en incertitude, prennent-ils leurs décisions ? Comment aider un décideur confronté à l'incertitude à prendre la « bonne » décision ? Ces trois interrogations recouvrent respectivement les approches dites normative, descriptive et prescriptive de la décision face à l'incertain.* ». (Munier, 2005)

[Bell, Raiffa et Tversky, 1988] associent les éléments suivants aux trois aspects des sciences de la décision :

- **Normatif** : Procédures logiques et rationnelles de décision ; Comment les gens devraient décider.

- **Descriptif** : Les décisions que les gens font ; Comment les gens décident.

- **Prescriptif** : Comment aider les gens à prendre les bonnes décisions ; Comment former les gens à prendre de meilleures décisions.

Regardons à présent comment se traduisent ces aspects en pratique, lors de l'application de la théorie de l'utilité espérée :

1) Tout d'abord, on suppose du décideur qu'il respecte des axiomes de rationalité (Von Neumann, Morgenstern, 1947) (Savage, 1954). Ces axiomes caractérisent un comportement rationnel qui écarte les décisions pouvant mener à la ruine, notamment par le phénomène de « pompe à monnaie ». Faire l'hypothèse du respect de ces axiomes est une démarche **normative**.

2) Vient ensuite la phase de construction des fonctions d'utilité et d'encodage des probabilités. Les choix expérimentaux effectués par le décideur en situation risquée durant cette phase, sont ensuite interprétés selon la théorie de l'utilité espérée. Cela permet alors de caractériser l'appréciation des risques de l'individu et donc son comportement en situation de risque. C'est l'aspect **descriptif** de la démarche.

3) Dans un troisième temps, lorsqu'un choix se présente au décideur en situation risquée, on traduit les différentes options de choix en loteries probabilisées, grâce aux encodages précédemment effectués. En appliquant ensuite la théorie de l'utilité espérée à ces loteries, on est capable de déterminer quel est le choix qui maximise l'intérêt du décideur. Cette aide à la décision est le côté **prescriptif** de la démarche.

Utilisation de la théorie de l'utilité espérée

Comme nous le verrons dans la partie 2 « développement théorique », si la théorie de l'utilité espérée donne de bons résultats pour la phase prescriptive d'aide à la décision, elle reste très critiquée pour son utilisation descriptive (encodage des fonctions d'utilités et des probabilités

subjectives). En effet, de nombreuses expériences ont montré que selon la méthode d'élicitation employée (Loteries équivalente, Probabilité équivalente,…), les résultats déduit de la théorie de l'utilité espérée pouvait ne pas être les mêmes. C'est d'ailleurs le constat fait par [Bleichrodt, Pinto et Wakker, 2001] qui proposent ensuite d'appliquer les concepts issus de la Prospect Theory lors des phases d'élicitation, ceci afin d'améliorer l'aspect descriptif de la méthode. L'utilisation du critère de l'utilité espérée à des fins prescriptives en est alors également améliorée.

Notre démarche concernant l'utilisation de la théorie de l'utilité espérée suivra les mêmes principes. En effet, après une analyse technique du projet de développement, nous éliciterons les fonctions d'utilité relatives à l'évaluation de sa situation. Cette phase d'élicitation se fera par le critère de l'utilité espérée dans un premier temps. Nous tenterons ensuite d'améliorer l'aspect descriptif des résultats obtenus en intégrant, aux méthodes d'élicitation, des concepts développés dans le cadre de la Prospect Theory ou de la RDU (Rank Depending Utility). Ces méthodes permettent en effet de corriger certains défauts d'encodage dus à des biais dans la perception de la situation par le décideur (transformation des probabilités, sur-estimation des gains ou des pertes,…). Enfin, pour apporter l'aide à la décision finale au chef de projet ou autre, nous utiliserons le critère de l'utilité espérée, critère dont le pouvoir prescriptif est reconnu. En effet, contrairement à d'autres théories comme la RDU, le critère de l'utilité espérée permet de respecter les axiomes de rationalité supposés chez le décideur.

L'élicitation de la fonction d'utilité multi-attributs détaillée sur les performances du produit est une démarche descriptive vis-à-vis des clients potentiels. En effet, les interviews s'effectuant auprès d'experts ayant à l'esprit les attentes du client, l'analyse des résultats obtenus permet de prédire le comportement de l'acheteur en fonction des caractéristiques du produit (caractéristiques qui, comme nous le verrons par la suite, doivent nécessairement inclure le prix du produit). Etant donné qu'un processus d'achat est la rencontre entre les intérêts du client et ceux du vendeur, les résultats peuvent être utilisés de façon prescriptive lors du processus de conception du produit.

Remarque : L'emploi de la théorie de l'utilité espérée soulève la question de la nature de la démarche : est-t-elle positiviste ou constructiviste ? Ce débat étant purement épistémologique, nous avons choisi de ne pas le développer dans le cadre de cette thèse.

1.3.3 Encadrement et contexte de la recherche

Nous explicitons ici brièvement les spécificités de la recherche-intervention en entreprise, avant de dire quelques mots sur le secteur d'activité de l'entreprise d'accueil et les axes de recherche de notre laboratoire.

1.3.3.1 La recherche-intervention

« La recherche-intervention, donne accès à des connaissances que la seule observation ne permettrait pas de mettre à jour. En effet, se mettre dans la peau d'un responsable d'analyse de risque, c'est se mettre en position d'être critiqué, et de faire les mêmes erreurs qu'on pointait en tant qu'observateurs. C'est également élaborer une relation avec ses interlocuteurs tout à fait différente de celle qu'on lie lors d'une interview. ». [Céline Tea, 2009] met ainsi bien en valeur les avantages de la recherche-intervention, qui se distingue de la recherche-action en mettant moins l'accent sur le processus de transformation lié à l'action, mais plus sur l'aide « *à concevoir et mettre en place des modèles et outils de gestion adéquats, à partir d'un projet de transformation, plus ou moins défini* ». (Hatchuel et Molet, 1986)

Notre posture dans l'entreprise entre donc dans les codes de la recherche-intervention avec conception et implémentation d'outil de gestion, tel que le décrit la Figure 21. Cette méthodologie suppose que le chercheur est à la fois un intervenant et un observateur.

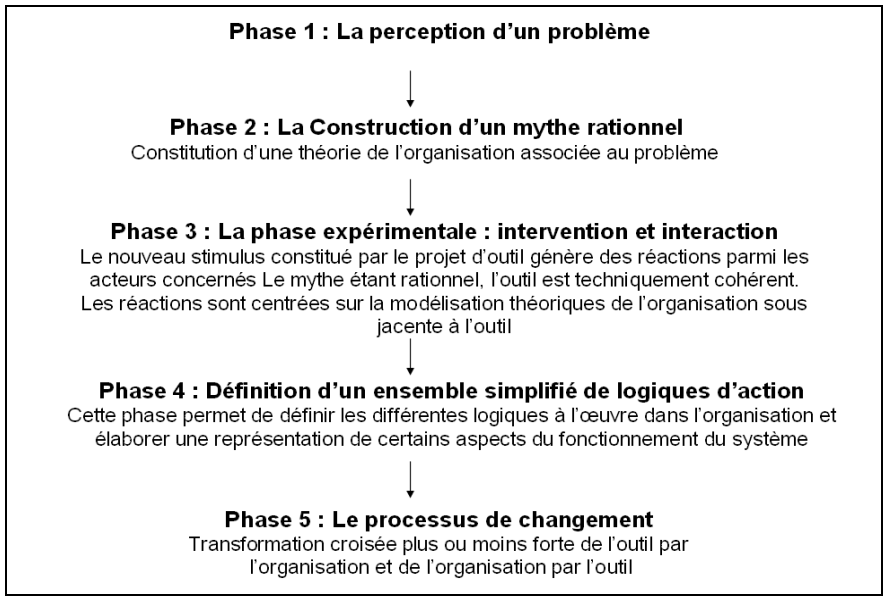


Figure 21 - Les cinq étapes de la recherche-intervention
Source : Keeney (1982)

Albert David (2000), propose quatre principes communs à ces recherches-intervention :

- l'objectif est de comprendre en profondeur le fonctionnement du système, de l'aider à définir des trajectoires possibles d'évolution, de l'aider à en choisir une, à la réaliser, à en évaluer le résultat ;

- la production de connaissance se fait dans l'interaction avec le terrain ;

- le chercheur parcourt différents niveaux théoriques : faits mis en forme, théories intermédiaires, théories générales, niveaux axiomatiques (concepts de base) et paradigmatiques (postulats de base). Le niveau théorique opératoire est celui des théories intermédiaires fondées (Glaser & Strauss, 1967).

- l'intervention sur la réalité justifie son caractère normatif par référence à des principes scientifiques (recherche de la vérité) et démocratiques (égal respect des acteurs).

1.3.3.2 L'entreprise

L'entreprise d'accueil, implantée à Colmar en Alsace, développe et produit sur son site des pelles hydrauliques sur chenilles. La complexité technologique du produit implique l'existence d'une variété très riche de métiers au sein de l'entreprise.

1.3.3.3 Le laboratoire

Situé à Cachan, le laboratoire du GRID (Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision) a été fondé en 1989 par Bertrand Munier[15], son actuel directeur. Ayant comme objectif initial « la recherche sur la décision dans les organisations, notamment sur la gestion des risques et la conception des systèmes de décision », le laboratoire a toujours cherché à maintenir un équilibre entre recherche fondamentale, expérimentale et appliquée. Les axes actuels de recherche du GRID, explicités sur son site[16], sont les suivants :

1) Décision dans l'incertain : théorie et expérimentation

Axe s'intéressant notamment au rôle de la transformation subjective des probabilités, ou encore à l'élaboration de nouvelles méthodes de recueil des préférences à des fins d'expérimentation.

2) Décision, organisation et management des risques

Cet axe, privilégié des recherches-intervention, vise à introduire, dans les organisations, de véritables outils de gestion capables de coordonner les systèmes socio-techniques en s'appuyant sur un degré minimal de connaissance commune.

3) Décision et marché : stratégie, innovation, organisation industrielle

Ce dernier axe s'intéresse à une approche plus macroscopique des relations inter-entreprises. Les alliances stratégiques, la coopération inter-firme, le rôle de la réputation ou de la confiance sont ses thèmes de prédilection.
Les axes de recherches du GRID, et en particulier les deux premiers, sont donc parfaitement adaptés à la résolution de notre question de recherche.

Conclusion de la première partie

Dans cette première partie, nous avons défini précisément les objectifs de la thèse et les concepts issus de la recherche, retenus pour l'application qui sera effectuée au sein de notre

[15] Note biographie disponible à l'adresse suivante :
www.grid.ensam.estp.fr/files/dossier_partage/CV_Munier_francais.pdf
[16] www.grid.ensam.estp.fr/index.php?q=fr/content/th%C3%A8mes-de-recherche

entreprise d'accueil. En effet, la théorie de l'utilité espérée issue de la science de la décision s'impose comme étant la plus adaptée pour traiter de façon globale et rationnel, les risques et les opportunités liés à un projet de développement à caractère innovant.

Nous allons à présent, dans une seconde partie, synthétiser les étapes qui ont été nécessaires pour préparer le déploiement expérimental de l'outil au sein de l'organisation de l'entreprise.

PARTIE 2 : LE RECOURS A L'ANALYSE DE LA DECISION : FONDEMENT ET ADAPTATION AU PROBLEME

Cette seconde partie du mémoire expose comment nous sommes passé d'un choix méthodologique (la théorie de l'utilité espérée), à un outil opérationnel en entreprise. Ainsi, nous allons tout d'abord présenter la théorie de l'utilité espérée, de ses origines à sa version multi-attributs, en passant par les diverses problématiques qu'elle a pu soulever. Nous décrirons ensuite, dans un second chapitre, les adaptions nécessaires que nous avons du apporter au concept brut de l'utilité multi-attributs, pour aboutir à un outil théoriquement capable de gérer les risques et les opportunités d'un projet de développement. Enfin, dans un troisième chapitre, nous présenterons les outils informatiques que nous avons conçus pour permettre la mise en application de la démarche.

CHAPITRE 2.1 : LA THEORIE DE L'UTILITE MULTI-ATTRIBUTS (MAUT) : ORIGINES ET APPLICATIONS

Pour introduire la notion d'utilité multi-attributs et faciliter la compréhension des concepts utilisés dans le cadre de cette thèse, nous allons retracer dans un premier temps la genèse de la théorie de l'utilité espérée. Nous verrons ensuite les développements qui lui ont été apportés et qui permettent à présent de l'appliquer dans un contexte multi-attributs. Les méthodes d'encodage des fonctions d'utilité feront l'objet du sous-chapitre suivant. Nous terminerons ce chapitre 2.1 par un état des lieux de l'utilisation de la théorie de l'utilité espérée en entreprise, dans le but d'analyser les points bloquants et de trouver des solutions pour y remédier.

2.1.1 Les origines de la théorie de l'utilité espérée (EU)

« *L'utilité espérée requiert que les incertitudes soient estimées en terme de probabilités et les conséquences associées à des utilités. A partir de là, la moyenne des utilités pondérée par les probabilités est utilisée pour déterminer la meilleur des décisions.* » [Bleichrodt, Pinto, Wakker, 2001]

2.1.1.1 Principe de fonctionnement

La théorie de l'utilité espérée permet de caractériser les préférences d'un décideur sur un ensemble de loteries. Pour cela, la théorie attribue un « score », appelé utilité espérée, à chaque loterie. Une loterie modélise une situation qui comporte de l'incertitude, elle consiste en différentes conséquences possibles auxquelles ont associe une probabilité d'occurrence (de réalisation). Selon la nature de la conséquence (gain ou perte), il s'agit d'une situation d'opportunité ou de menace. La loterie illustrée sur la figure suivante représente, pour

exemple, une situation dans laquelle on a une chance sur deux de gagner 100 €, une chance sur quatre de ne rien gagner et une chance sur quatre de perdre 50 €.

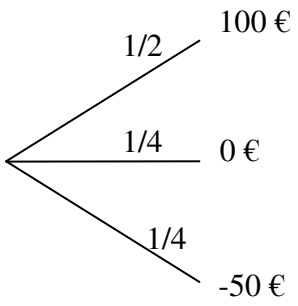


Figure 22 - Exemple de loterie représentant une situation de gains et de pertes

On note cette loterie de la manière suivante : (100€, 0,5 ; 0€, 0,25 ; -50€, 0,25). Dans le cas général, les conséquences sont notées de x_1 à x_n et les probabilités d'occurrence de p_1 à p_n. Par conséquent, une loterie se note de la manière suivante : (x_1, p_1 ; x_2, p_2 ; … ; x_i, p_i ; … ; x_n, p_n).

A chaque conséquence de la loterie est alors attribuée une utilité. Ce score, normalisé entre 0 et 1, est propre au décideur. Il représente une mesure de l'utilité, pour le décideur, de cette conséquence. Si, par exemple, l'utilité d'un gain de 100 € pour le décideur est estimée à 0,8, celle du gain nul à 0,5 et celle de la perte de 50 € à 0,1, on pourrait alors calculer l'utilité espérée de la loterie de la Figure 22 de la manière suivante : UE (loterie A) = 0,5x 0,8 + 0,25x0,5 + 0,25x0,1 = 0,55. La théorie de l'utilité nous permet de proposer une aide à la décision, pour le décideur, dans la mesure ou la loterie A est préférée à la loterie B, si et seulement si UE (loterie A) > UE (loterie B).

Après cet exposé pratique de la théorie de l'utilité espérée (UE), revenons plus en détail sur la notion d'utilité, puis sur celle de probabilité, les deux composants nécessaires à l'évaluation de la situation selon ce critère.

2.1.1.2 Notion d'utilité

De l'espérance mathématique à l'utilité espérée

Au 17ème siècle, lorsque se développe la théorie moderne des probabilités, des mathématiciens comme Pascal et de Fermat font l'hypothèse que l'évaluation d'une loterie L = (x_1, p_1 ; x_2, p_2 ; … ; x_i, p_i ; … ; x_n, p_n) est donnée par son espérance mathématique, à savoir $\sum p_i x_i$. Selon ce principe, une loterie qui permet de gagner 100 000 € avec une probabilité de 1 chance sur 100,

a une espérance mathématique de 1 000 €. Or dans la pratique, une personne peut très bien préférer de recevoir 1000 € que de participer à cette loterie : il s'agit alors d'un comportement risquophobe, cette personne a de l'aversion au risque. Le critère de l'espérance mathématique échoue donc à décrire tous les comportements des décideurs face à des loteries, càd face à des choix dans le risque. En effet, l'espérance mathématique ne devient significative que lorsque l'on peut participer à un grand nombre de « tirages ». Or dans les situations réelles à risques, les ressources limitées de temps, d'opportunités ou de financement ne laissent pas souvent « plusieurs chances » au décideur.

L'illustration la plus connue de ce phénomène a été formulée dès 1728 par Nicholas Bernoulli sous le nom de « paradoxe de St Petersburg ». Le principe en est le suivant : une pièce de monnaie est lancée jusqu'à ce qu'elle tombe sur « pile ». Si « pile » sort au $n^{ième}$ lancer, le joueur gagne 2^n ducats. La probabilité de ce gain est alors de $(1/2)^n$. L'espérance mathématique de gain de la loterie, représentée sur la figure ci-dessous, est donc égale à $\sum_{n=1}^{\infty} (\frac{1}{2})^n 2^n$. Elle est infinie.

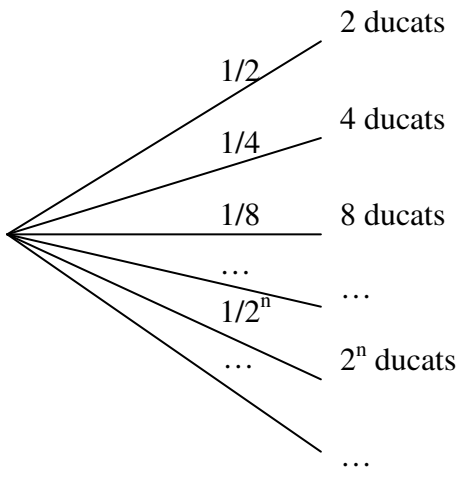


Figure 23 - Loterie proposée dans le paradoxe de St Petersburg

Le paradoxe vient alors du fait que la plupart des gens ne sont disposés qu'à payer une somme très faible pour participer à ce jeu. Pour le résoudre, Gabriel Cramer[17] (1728) et Daniel Bernoulli (1738) ont alors introduit, à 10 années d'intervalle, la notion d'espérance d'utilité.

[17] Dans le post-scriptum à son papier de 1738, Daniel Bernoulli écrit qu'il a appris de Nicholas qu'un autre mathématicien suisse, Gabriel Cramer, avait donné au paradoxe soulevé par Nicholas une réponse remarquablement similaire à la sienne. Dans cette réponse, Cramer critique la 'déformation professionnelle' des mathématiciens les conduisant à évaluer l'argent en fonction de sa seule quantité, alors qu'en pratique, les gens évaluent l'argent en fonction de l'*utilité* qu'ils peuvent en retirer.

Selon cette nouvelle hypothèse, le décideur ne cherche plus à maximiser l'espérance de la valeur elle-même, mais une « espérance morale », somme des utilités des conséquences pondérées par leur probabilité : $\sum p_i u(x_i)$. La fonction d'utilité u() est, pour Daniel Bernoulli, une fonction logarithmique car il considère que la valeur subjective de la richesse n'augmente pas linéairement mais plutôt à un taux décroissant. Sous cette hypothèse, le décideur ne devrait être prêt à payer qu'une somme modeste pour participer à la loterie, ce qui est compatible avec les comportements observés.

Si la notion d'utilité peut expliquer des comportements d'aversion au risque, comme nous venons de le voir, elle peut également justifier des comportements risquophiles, comme le fait de jouer au Loto. Ce jeu compte en effet beaucoup d'adeptes, alors que, selon le critère de l'espérance mathématique, il correspond à un comportement irrationnel. En jouant, le décideur montre qu'il préfère avoir 1 chance sur 10 Millions de gagner 5 Millions €, plutôt que de conserver l'euro que lui coûte un ticket. Émile Borel explique alors que ce joueur peut avoir raison contrairement aux apparences : la perte d'un euro ne changera guère sa vie, alors que « *le gain de 5 Millions a beau être improbable, il transformera celle-ci de façon qualitative et non simplement quantitative*.»

La notion d'utilité a ensuite été largement appliquée et développée dans des domaines tels que la finance et la micro-économie (Paul Samuelson, 1970). On la retrouve notamment dans les fonctions d'utilité sociales, le calcul de l'optimum au sens de Pareto, les boîtes d'Edgeworth, les calculs de primes de risque, etc. Etant donnée la diversité des applications ainsi apparues, il est nécessaire, aujourd'hui, de distinguer 3 types d'utilité : l'utilité ordinale, cardinale et neumanienne.

Utilité ordinale, cardinale et neumanienne

L'**utilité ordinale** n'autorise que l'utilisation de la relation d'ordre des nombres réels pour comparer deux conséquences entre elles. Elle est utilisée en microéconomie et concerne le domaine du certain.

L'**utilité cardinale** (ou **de ratio**) mesure des intensités absolues de satisfaction : si l'utilité de A est égale à 3 fois l'utilité de B, l'état A est « 3 fois meilleur » que l'état B. Egalement mesurée dans le domaine du certain, elle correspond au concept mieux connu sous le nom de « value function ».

L'utilité d'intervalle (ou **neumannienne**) mesure des intensités relatives de satisfaction, c.à.d. des variations de satisfaction : on pourra dire que l'écart entre l'utilité associée à l'état A et l'utilité associée à l'état B est trois fois supérieur à l'écart entre les utilités respectivement associées à l'état B et à l'état C. Ayant des propriétés de cardinalité, elle doit son nom au fait que l'on suppose, lors de son encodage, les axiomes de rationalité de Von Neumann et Morgenstern. Encodée dans le risque, elle mesure à la fois l'attitude vis-à-vis du risque et vis-à-vis de la richesse dans le certain. Le fait de ne pas pouvoir distinguer ces deux aspects est une source de reproches faits à l'utilité neumanienne.

2.1.1.3 Notion de probabilité

En 1921, Knight introduit la distinction entre incertitude mesurable, autrement appelée risque et incertitude non mesurable, appelée simplement incertitude : la première incertitude désigne donc le cas où il existe une mesure de probabilité sur les événements possibles, tandis qu'il n'en existe pas dans le second cas. Cette distinction constitue la première tentative de décrire et de définir l'incertitude.

On distingue aujourd'hui trois types d'incertitude :

Incertitude avec probabilités objectives : c'est au XVème siècle que Jérôme Cardan a donné la première intuition de la définition des probabilités comme un ratio du nombre de cas favorables sur le nombre de cas possibles. La vision fréquentiste associe les probabilités aux limites des fréquences quand le nombre d'observations tend vers l'infini. Ainsi, quand il existe de telles probabilités, qui sont en quelques sortes des probabilités objectives du monde extérieur, on se retrouve dans la situation que Knight appelait le risque.

Incertitude avec probabilités subjectives : A l'opposé de la vision fréquentiste de la probabilité, l'approche subjective considère qu'il n'existe de probabilité que relativement à un individu faisant face à un événement donné. Pascal a été, en 1660, un initiateur de cette distinction entre fréquences et croyances. Cette vision permet de définir des probabilités même s'il n'est pas possible d'effectuer un calcul fréquentiste. Ainsi, par exemple, les décisions d'un individu peuvent révéler l'existence de telles probabilités et c'est Savage, en 1954, qui établit les conditions suffisantes pour que les choix révèlent l'existence de telles probabilités. L'incertitude ainsi mesurée, même subjectivement, peut elle aussi être qualifiée de risque.

Incertitude sans probabilités subjectives : En 1961, Ellsberg propose des exemples dans lesquels les axiomes de Savage sont violés et par conséquence ne permettent pas de définir des probabilités subjectives. Il désigne alors par ambiguïtés de telles situations. Des généralisations du résultat de Savage tentent d'étendre la définition des probabilités afin de couvrir des situations que les axiomes de Savage ne prenaient pas en compte.

Pour évaluer les probabilités liées à une situation de risque où d'incertitude, on peut donc soit les extraire des bases de données, soit les encoder auprès d'experts afin d'obtenir des probabilités subjectives.

2.1.1.4 Théorie de l'utilité espérée (EU) et de l'utilité espérée subjective (SEU)

Comme le soulignent [Bleichrodt, Pinto, Wakker, 2001], « *il est communément admis en science de la décision, que le bon modèle normatif pour la décision dans l'incertain est celui de l'utilité espérée. C'est la thèse Broome (1991), DeFinetti (1937), Edwards (1992), Eeckhoudt (1996), Hammond (1988), Harsanyi (1955), Kahneman et Tversky (1979), Savage (1954) et beaucoup d'autres. Parmi ceux qui mettent en doute cette théorie, on trouve Allais (1953), Ellsberg (1961), Loomes and Sugden (1982), Machina (1982) et Schmeidler (1989).* »
Nous verrons dans cette partie les grandes étapes du développement de la théorie de l'utilité espérée, par ordre chronologique, de sa première axiomatisation par Von Neumann et Morgenstern à ses versions les plus sophistiquées, développées suite à la mise en évidence des paradoxes d'Allais et d'Ellsberg pour ne citer qu'eux.

1944, Axiomatisation de Von Neumann et Morgenstern (VNM)

Les premiers fondements normatifs du modèle de l'utilité espérée sont établis par Von Neumann et Morgenstern (1944), qui montrent que la maximisation de l'utilité espérée correspond à un critère de décision rationnel, dérivé d'un ensemble d'axiomes que doivent satisfaire les préférences de l'individu.

Il faut cependant souligner les contributions importantes de Ramsey (1931), qui a initié l'axiomatisation de la théorie de la décision dans l'incertain (probabilités subjectives). Les axiomes de VNM traitent quant à eux de la décision dans le risque, étant donné que les probabilités liées à la situation de départ sont connues.

Axiomes de rationalité de VNM :

Axiome A1 : Le décideur est capable de pré-ordonner complètement les loteries ; les relations entre ces différentes loteries étant représentées par une relation binaire dite de préférence notée : $\geq$

Axiome A2 : (axiome de continuité) Pour toutes les loteries telles que $l_1 \geq l_2 \geq l_3$, il existe un nombre réel $\alpha \in [0,1]$ unique tel que : $l_2 \sim \alpha l_1 + (1-\alpha) l_3$

Axiome A3 : (axiome d'indépendance) Etant données 3 loteries l_1, l_2, l_3, pour tout nombre réel $\alpha \in [0,1]$, on a : $l_1 \geq l_2 \Rightarrow \alpha l_1 + (1-\alpha) l_3 \geq \alpha l_2 + (1-\alpha) l_3$

Théorème : Si les axiomes A1, A2 et A3 sont vérifiés, il existe une fonction numérique U, définie à une transformation affine croissante près, qui est telle que :

1) $\forall l_1, l_2 \quad tq \quad l_1 \geq l_2 \Leftrightarrow U(l_1) \geq U(l_2)$

2) $U(l) = \sum_{i=1}^{n} p_i u(x_i)$ avec $u(x) = U(x, l)$

où u est la restriction de la fonction d'utilité Neumanienne U.

Interprétation du théorème : Si les préférences du décideur respectent ces 3 axiomes, elles peuvent être représentées par une fonction d'utilité, unique à une transformation affine positive près, qui attribue à chaque conséquence un score d'utilité, et donc à chaque acte une utilité espérée (en pondérant les scores par les probabilités). La fonction d'utilité est donc telle qu'un acte sera préféré à un autre si et seulement si il a la plus grande utilité espérée.

1953, Paradoxe d'Allais

En 1953, lors d'une conférence de l'American Economic Society qui s'est tenue à New York, Maurice Allais met en cause, enquête à l'appui, l'axiome d'indépendance de VNM, et ouvre la voie à des sophistications de la théorie. Le paradoxe à l'origine de la thèse de Maurice Allais est le suivant : soient 4 loteries (l_1 à l_4), dont les distributions de probabilité et les gains potentiels sont représentés sur le tableau suivant :

	p = 89%	p = 10%	p = 1%
l_1	1 000 000 €	1 000 000 €	1 000 000 €
l_2	1 000 000 €	5 000 000 €	0 €
l_3	0 €	1 000 000 €	1 000 000 €
l_4	0 €	5 000 000 €	0 €

Tableau 5 - Loteries proposées par Allais pour illustrer son paradoxe

Lorsqu'on demande aux gens de choisir entre l_1 et l_2, puis entre l_3 et l_4 , la majorité préfère l_1 à l_2 et l_4 à l_3. Or selon la théorie de l'utilité espérée, en posant u(0)=0 et u(1)=1 (les conséquences étant en millions d'euros), ces préférences signifient que :

$$0{,}89 \times u(1) + 0.10 \times u(1) + 0.01 \times u(1) > 0{,}89 \times u(1) + 0.10 \times u(5) + 0.01 \times u(0)$$

et

$$0{,}89 \times u(0) + 0.10 \times u(1) + 0.01 \times u(1) < 0{,}89 \times u(0) + 0.10 \times u(5) + 0.01 \times u(0)$$

Ce qui implique la contradiction suivante : $0{,}11 > 0.10 \times u(5)$ et $0{,}11 < 0.10 \times u(5)$. On remarque dans le Tableau 5 que la première paire de loterie ne diffère de la seconde que pour ce qui arrive avec une probabilité de 89 %. Dans ce cas et selon l'axiome d'indépendance, une inversion des préférences comme elle l'est constatée, ne devrait pas être possible. On sent derrière ce paradoxe ce que Allais appelle le « certainty effect ». En effet, en passant de l_1 à l_3, on passe d'un montant certain à une loterie risquée, alors que le passage de l_2 à l_4 ne change pas la nature risquée des loteries.

Lors de la conférence (American Economic Society, NY, 1953), Savage était également dans l'audience et a participé au test, auquel il a répondu en violant l'axiome d'indépendance. Maurice Allais lui a alors demandé comment il pouvait soutenir une théorie qui suppose que les décideurs maximisent l'utilité espérée, alors qu'il ne respectait pas lui-même ce principe. Savage lui répondit, le lendemain, que c'était justement la beauté de la théorie, dans le sens où elle permet au décideur d'être cohérent avec ses valeurs rationnelles, même lorsqu'il n'est pas capable de l'être. En effet, il n'y a pas d'intérêt à avoir une théorie qui dise aux gens de faire ce qu'ils auraient fait de toute façon. Une situation complexe peut, à elle seule, mettre en défaut la rationalité d'un décideur. Si Savage met ainsi en avant les vertus prescriptives de la

théorie de l'utilité, il n'en reste pas moins que l'encodage des fonctions d'utilité donne lieu à des biais comme celui-ci. Nous verrons par après les théories développées pour améliorer l'aspect normatif et descriptif de la théorie de l'utilité espérée.

1954, Théorie de l'utilité espérée subjective, axiomatisation de Savage

En 1954, Savage fournit la première axiomatisation de la théorie de l'utilité espérée lorsque les probabilités ne sont pas connues, en partant du principe que « *chaque individu peut avoir une connaissance qualitative du reste du monde* ». Pour ce faire, il rajoute aux travaux initiés par VNM une représentation personnelle des probabilités, notion déjà étudiée par Ramsey (1931) et De Finetti (1937). Les axiomes qu'il propose décrivent le comportement d'un décideur bayésien et permettent ainsi, en analysant uniquement les choix du décideur, de trouver les probabilités subjectives qu'il attribue aux évènements, ainsi que les utilités associées à leurs conséquences.

Soit S l'ensemble des états de la nature dont un seul se révèlera vrai. Un évènement est un sous-ensemble de S. F est l'ensemble des actes possibles. Un acte, noté f, g, etc., est une fonction qui, à chaque élément de S, associe une conséquence x_i appartenant à l'ensemble des conséquences, noté X. Les axiomes de Savage, que nous ne détaillerons pas dans ce mémoire, incluent l'existence d'un ordre faible pour la relation de préférence sur F, des conditions d'indépendance et un axiome de continuité. Ils impliquent l'existence d'une fonction d'utilité u sur X et d'une mesure de probabilité Π sur S, tels que pour tout actes f et g :

$$f > g \Leftrightarrow \int_S u(f(s))d\pi(s) > \int_S u(g(s))d\pi(s)$$

U ainsi définie est unique à une transformation affine positive près et π est unique. La relation entre les probabilités et les préférences révélées lors de l'élicitation est la suivante :

$$\pi(A) > \pi(B) \Leftrightarrow \{x\ si\ A, y\ si\ nonA\} > \{x\ si\ B, y\ si\ nonB\}$$

Cette axiomatisation, qui représente un grand pas pour la théorie de l'utilité, repose sur une approche bayésienne qui ne permet pas de mettre en évidence la préférence pour la certitude. C'est ce que va montrer Ellsberg en 1961 en proposant son paradoxe.

1961, Paradoxe d'Ellsberg

Pour illustrer son paradoxe, appelé paradoxe « à deux couleurs », Ellsberg (1961) propose deux urnes contenant des boules de couleurs. La première urne contient 50 boules rouges et 50 boules noires. La seconde contient 100 boules, rouges ou noires, mais dans une proportion inconnue. S'ils peuvent gagner en tirant une boule noire, la plupart des gens préfèrent tirer dans la première urne. Idem s'ils peuvent gagner en tirant une boule rouge. Etant donné que les probabilités dans la première urne sont de 0,5, on en déduit que la somme des probabilités subjectives dans l'urne inconnue, est inférieure à 1.

Une seconde version de ce paradoxe, dit paradoxe « à trois couleurs », ne propose qu'une seule urne, contenant 30 boules rouges (R) et 60 boules jaunes (J) ou noires (N). La plupart des gens vont préférer, pour gagner 100€, parier qu'ils tireront une boule rouge plutôt qu'une boule noire car ils sont sûrs que la probabilité de tirer une boule rouge est de 1/3 alors que la probabilité de tirer une boule noire est inconnue. Inversement, ils préfèreront parier qu'ils tireront une boule noire ou jaune (probabilité connue de 2/3) plutôt qu'une boule rouge ou jaune (probabilité inconnue). Ces préférences de loteries sont schématisées sur la figure ci-dessous :

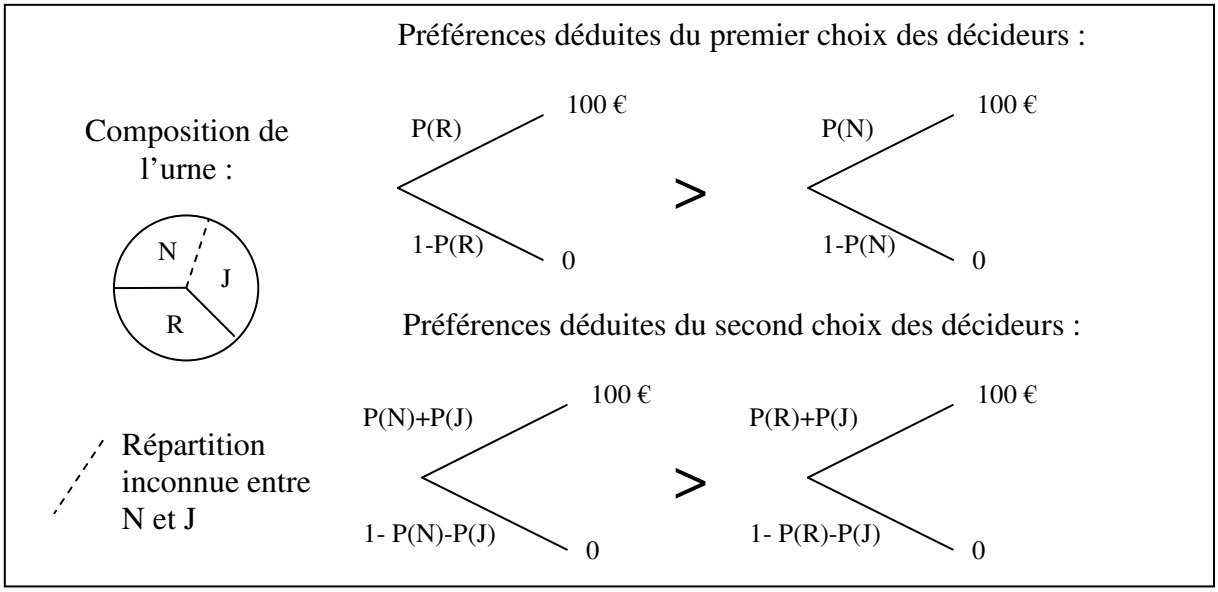


Figure 24 - Illustration du paradoxe d'Ellsberg à 3 couleurs

En appliquant la théorie de l'utilité espérée à ces préférences, on obtient :

- P(R) > P(N) pour le premier choix ;

- P(N) + P(J) > P(R) + P(J) soit P(N) > P(R) pour le second, d'où le paradoxe.

Ellsberg met ainsi en évidence de l'aversion à l'ambigüité, phénomène non pris en compte dans la théorie de l'utilité espérée.

1979, La Prospect Theory (PT) de Kahneman et Tversky

Exposée en 1979 par Kahneman et Tversky, la Prospect Theory (PT), est l'une des alternatives les plus connues à la théorie de l'Utilité Espérée. Théorie à la base de la finance comportementale, elle a pour origine les biais mis en évidence lors de l'élicitation des fonctions d'utilité avec la théorie de l'Utilité espérée. Ces biais ont notamment été mis en évidence par Davidson et al. (1957), Officer et Halter (1968), mais aussi Karmarkar (1978). La PT se présente donc comme une méthode ouvertement descriptive. Elle a d'ailleurs été utilisée par [Bleichrodt, Pinto et Wakker, 2001] de manière descriptive pour améliorer l'aspect prescriptif du critère de l'utilité espérée.

Concrètement, la PT propose :

- Une transformation des probabilités (w) par leur pondération non-linéaire.

- La prise en compte de l'aversion à la perte : en distinguant le domaine des gains et celui des pertes par la mise évidence d'un point d'ancrage. La théorie permet de représenter la tendance des personnes à surévaluer les pertes par rapport aux gains.

L'exemple suivant permet de mettre en évidence l'existence d'un point d'ancrage dans nos évaluations des conséquences :

- Situation A : On vous donne 1000 € et on propose soit de gagner 500 € euros supplémentaires, soit de participer à une loterie à laquelle vous avez une chance sur deux de gagner 1000 €.

- Situation B : On vous donne 2000 € et on propose soit de payer 500 € euros, soit de participer à une loterie à laquelle vous avez une chance sur deux de perdre 1000 €.

Dans la situation A, la majorité des gens prennent les 500 € alors que dans la situation B, la majorité prennent la loterie. Les deux choix étant équivalents, cela met bien en évidence que notre perception est relative, et non absolue, avec un point d'ancrage à 0 € dans cet exemple.

Soit x, y, r, trois conséquences respectivement dans le domaine des gains, des pertes et au niveau du point d'ancrage. Sous la PT, une loterie donnant x avec une probabilité p, et y sinon, est évaluée de la manière suivante :

$$PT[x, p ; y, 1-p] = U(r) + w^{+}(p) (U(x) - U(r)) - \lambda w^{-}(1-p) (U(r) - U(y))$$

Du fait de la prise en compte de la transformation des probabilités par le décideur, on peut obtenir des fonctions d'utilité ayant une forme en S, c.à.d. une risquophobie dans les petits gains et une risquophilie dans les gains importants.

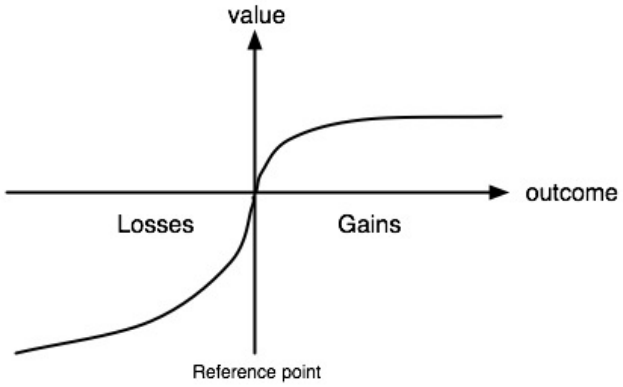


Figure 25 - Forme en "S" des fonctions d'utilité sous la Prospect Theory

Plusieurs auteurs ont défendu par la suite l'aspect normatif des transformations de probabilité (Segal (1990), Quiggin (1992), Machina (1994)) et de l'aversion aux pertes (Fischer (1986)). Cependant, la prise en compte d'une transformation simple des probabilités par la PT rend possible une violation de la dominance stochastique à l'ordre 1, c.à.d. qu'une conséquence certaine peut être préférée à une loterie, dont toutes les conséquences sont préférées à la première par le décideur. Une correction de ce problème a été proposée, mais ceci au pris de la perte de la transitivité des préférences. Ces défauts majeurs vont empêcher la PT de concurrencer véritablement le modèle de l'Utilité Espérée qui continue à dominer jusqu'au milieu des années 80 et l'apparition des théories de généralisation de l'UE.

Nous finissons cette chronologie du développement de la théorie de l'utilité espérée par la présentation de 3 modèles qui permettre de prendre en compte et de résoudre les paradoxes d'Allais (1953) et d'Ellsberg (1961).

1982, La théorie de l'utilité à dépendance de rang (RDU) de Quiggin (1982) et Wakker & Deneffe (1996)

Dans cette généralisation de la théorie de l'utilité subjective, Quiggin (1982) caractérise le décideur par deux fonctions : une fonction d'utilité sur les conséquences potentielles et une fonction de transformation des probabilités. En effet, le modèle RDU permet, à partir des actes du décideur et des probabilités dans le risque, de déduire les fonctions d'utilités et la fonction de transformation des probabilités du décideur.

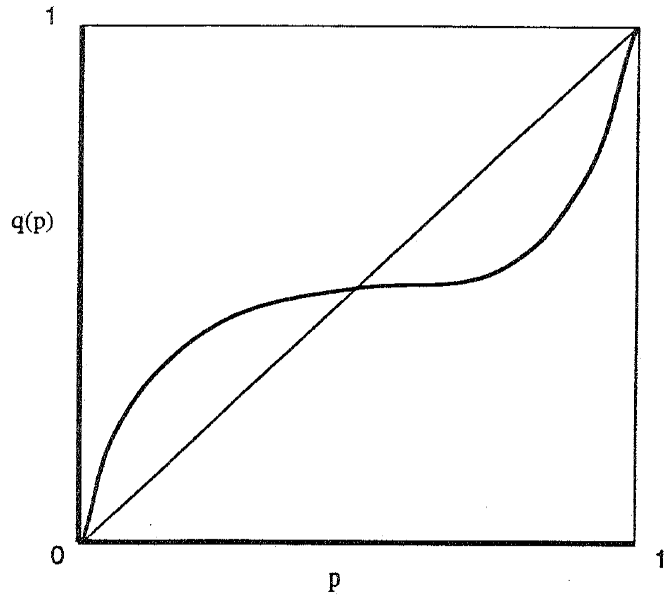


Figure 26 - Exemple de fonction de transformation des probabilités
Source : [Quiggin, 1993]

La RDU se différencie de la PT dans l'évaluation des loteries. La RDU ne se contente plus de substituer aux probabilités leurs transformées, mais prennent en compte le rang de la conséquence correspondante. Soit une loterie $P = (x_1, p_1 ; x_2, p_2 ; \ldots ; x_i, p_i ; \ldots ; x_n, p_n)$ où, selon les relations de préférences, $x_1 \leq x_2 \leq \ldots \leq x_n$. Soit q(p) la fonction de transformation des probabilités. L'évaluation de la loterie P s'effectue alors de la manière suivante :

$$RDU(P) = \sum_{i=1}^{n} \pi_i u(x_i)$$

$$\text{avec} \quad \pi_i = q\left(\sum_{j=i}^{n} p_j\right) - q\left(\sum_{j=i+1}^{n} p_j\right)$$

Le point faible de la RDU réside cependant dans son utilisation prescriptive, où le fait de ne pas imposer la linéarité de la fonction de transformation des probabilités (comme c'est le cas

dans la théorie de l'UE), peut conduire à violer l'axiome d'indépendance de VNM. En effet, à défaut de respecter cette axiome de rationalité, la RDU impose une autre condition, plus faible, appelée condition « d'espérance comonotonique » que nous ne détaillerons pas ici.

1989, La théorie de l'utilité espérée de Choquet (CEU), de Schmeidler

La CEU, proposée par Schmeidler en 1989, est l'équivalent de la RDU lorsque les probabilités ne sont pas connues. Ce modèle de généralisation de la théorie de l'utilité espérée subjective doit son nom au fait qu'il fait appel au concept d'intégrale de Choquet. En effet, si la structure de l'UE est conservée, les probabilités n'ont cependant pas à être additives. La seule[18] hypothèse qui est faite est $W(A) \leq W(B)$ pour tout $A \subseteq B$, où W est la mesure de « vraisemblance » des évènements.

Il faut noter que Schmeidler propose en 1992 avec Machina, une définition plus robuste des probabilités subjectives en modifiant les axiomes de Savage, afin de prendre en compte les comportements mis en évidence par le paradoxe d'Allais. Ils en déduisent un modèle nommé « sophistication probabiliste », où les choix sont toujours déterminés par une distribution de probabilité subjective sur les conséquences, mais où l'utilité espérée peut être violée.

1992, La Cumulative Prospect Theory (CPT) de Tversky et Kahnman

Cette seconde version de la Prospect Theory, proposée par Tversky et Kahnman (1992), règle le problème de dominance stochastique du premier ordre et/ou de transitivité qui incombait à la première version. Elle consiste en une dérivée de la méthode RDU pour laquelle la fonction de transformation de la probabilité dépend du domaine de gain ou de perte, en fonction d'un point d'ancrage.

Synthèse de l'historique de la théorie de l'utilité espérée

Les théories de l'utilité espérée généralisée (CEU, RDU et CPT), nous l'avons vu, permettent de résoudre les paradoxes d'Allais et d'Ellsberg en modélisant notamment l'aversion à l'ambigüité. Beaucoup d'autres méthodes alternatives, basées sur des principes similaires, ont vu le jour dans les années 80/90. On peut notamment citer :

- SSB (Skew-Symmetric Bilinear) de Fishburn (1982)

[18] On a également $W(\emptyset)=0$ et $W(S)=1$

- La théorie du regret de Bell (1982), Fishburn (1982), Loomes et Sugden (1982)
- La théorie de la déception de Bell (1985), Loomes et Sugden (1986) et Gul (1991)
- La théorie des prospects de Kahneman et Tversky (1979)
- La théorie duale de Yaari (1987)
- …

Ces modèles de généralisation de l'UE complexifient et rallongent la procédure d'élicitation. Ils sont, de ce fait, plus destinés à des décisions ponctuelles lourdes, statiques, comme l'implantation d'une centrale nucléaire, qu'à des décisions dynamiques, comme des choix de conception lors d'un projet de développement. **Nous nous appuierons donc sur la théorie de l'UE axiomatisée par Savage (1954) pour effectuer notre aide à la décision**. En effet, étant donnée la nature dynamique de notre problématique, il est essentiel d'employer une théorie décrivant le comportement d'un décideur Bayésien, quitte à perdre sur le plan descriptif, pour gagner, et sur le plan prescriptif, et sur l'opérationalité de l'outil.

Voyons à présent les solutions développées par la recherche pour appliquer la théorie de l'UE à une situation dont l'évaluation nécessite l'emploi de plusieurs attributs. Ces solutions s'inscrivent dans la MAUT (Multiattribute Utility Theory).

2.1.2 La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT)

Howard (1988) donne à la science de la décision la vertu d'offrir : « *la formalisation du sens commun à des problèmes de décisions trop complexes pour utiliser de façon informelle le sens commun*».

Pour la MAUT, l'ouvrage de référence est celui de Keeney et Raïffa, publié en 1976, et réédité en 1993 [Keeney et Raïffa, 1993]. Il reprend et synthétise les contributions de Churchman et Ackoff (1954), Debreu (1960), Luce et Tukey (1964), Krantz (1964) Scott (1964), Pollak (1967), Keeney (1968), Fishburn (1970), etc. sur son développement et son axiomatisation.

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 1.2, la MAUT permet de modéliser et d'évaluer une situation de façon globale et rationnelle, à partir des critères[19] qui peuvent caractériser à

[19] Critères, nous le rappelons, qui peuvent être aussi bien qualitatifs que quantitatifs.

eux seuls les préférences du décideur sur cette situation. Ces critères sont alors caractérisés par des attributs pour lesquels sont définies les fourchettes à l'intérieur desquelles ils peuvent varier. Une fonction d'utilité partielle est alors encodée auprès des experts pour chaque attribut. Les coefficients d'échelles, également encodés auprès des experts, permettent d'obtenir une utilité globale de la situation en fonction des utilités partielles sur chaque attribut. Le nombre de ces constantes d'échelle, comme nous allons le voir, varie en fonction de la forme de la fonction d'utilité multi-attributs.

La MAUT peut également être affinée avec les sophistications apportées à l'UE que nous avons listées dans le paragraphe 2.1.1.4. En témoigne le modèle décisionnel GEMAUT (généralisation du modèle MAUT par Beaudouin, Munier, Serquin, 1999) qui se fonde sur les modèles alternatifs de la décision dans le risque dans un contexte multi attribut en utilisant la modélisation à dépendance de rang (RDU). Ce modèle appelle cependant une généralisation des axiomes de Keeney&Raïffa qui n'a pas été élucidée jusqu'à présent. Par conséquent, nous nous bornerons à la MAUT, dont l'axiomatique existe.

L'analyse de la fonction d'utilité multi-attributs et ses courbes d'indifférence (états des attributs pour lesquels l'utilité globale est constante) qui en découlent, permet également d'obtenir des informations très intéressantes sur l'influence de la variation des différents attributs sur la situation globale. Ainsi, la figure ci-dessous montre, dans le cas d'une situation caractérisée par 2 attributs x et y, combien « coûte » en terme de x, la dégradation du critère y si l'on souhaite garder un niveau de satisfaction identique pour la situation

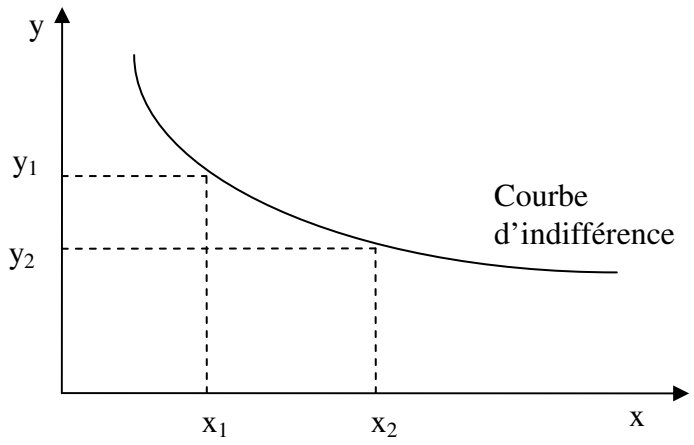


Figure 27 - Illustration d'une courbe d'indifférence dans le cas d'une situation à 2 attributs

Si la question de la recherche de ces critères de préférence sera traitée dans le chapitre 2.2, nous détaillons dans ce chapitre les différentes formes que peut revêtir la MAUT et les hypothèses qui leurs sont associées.

Note au lecteur : les notations usuelles, utilisées pour modéliser les loteries et les fonctions d'utilités multi-attributs, peuvent se confondre. La distinction est faite dans la rubrique « Liste des notations » figurant en début de mémoire.

2.1.2.1 La forme Multilinéaire

Pour employer la forme multilinéaire, seule l'indépendance en utilité des attributs doit être vérifiée. Cette hypothèse, la moins restrictive de toutes, est explicitée dans [Keeney & Raïffa, 1993, P.224]. Il en résulte que la forme multilinéaire est la plus complexe de toute et s'exprime de la façon suivante :

$$U(x)=\sum_{i=1}^{n} k_i u_i(x_i)+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j>i}^{n} k_{ij} u_i(x_i)\,u_j(x_j)+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j>i}^{n}\sum_{l>j}^{n} k_{ijl} u_i(x_i)\,u_j(x_j)\,u_l(x_l)+\cdots+k_{12\cdots n} u_1(x_1)\cdots u_n(x_n)$$

On voit ainsi représentées toutes les interdépendances possibles entre les différentes utilités partielles. Pour utiliser une fonction de cette forme, il faut donc obtenir auprès des décideurs la totalité des constantes d'échelle k_i, k_{ij}, etc. Or leur nombre (2^n-1), croit de façon exponentielle avec le nombre d'attributs. Si cette forme permet une évaluation riche et détaillée de la situation, elle est donc toutefois à réserver à des cas ou le nombre d'attributs (n) reste raisonnable. Une situation à 6 attributs implique en effet de trouver 63 constantes d'échelle auprès des experts.

Il faut noter que ces constantes d'échelle sont à ne pas confondre avec des « poids » d'importance car elles ne représentent pas uniquement l'importance d'un attribut par rapport à un autre, mais tiennent également compte de la largeur du domaine, en termes d'utilité, sur lequel pourra varier l'attribut ou les attributs. Par exemple, vous voulez acheter une crosse de hockey et sa couleur est pour vous un critère de choix important. Si toutes les crosses de hockey à vendre ont la même couleur, alors l'utilité partielle sur ce critère ne variera pas selon les produits, et sa constante d'échelle associée sera nulle. Cette remarque vaut pour toutes les formes d'utilité multi-attributs.

2.1.2.2 La forme Multiplicative

Pour employer cette forme, il est nécessaire d'avoir des attributs qui soient mutuellement indépendants en utilité. Nous renvoyons vers [Keeney & Raïffa, 1993, P.289] pour la signification de cette hypothèse. Moins complexe que la forme multilinéaire, elle s'exprime des deux façons suivantes :

$$U(x) = \sum_{i=1}^{n} k_i u_i(x_i) + k \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^{n} k_i k_j u_i(x_i)\, u_j(x_j) + k^2 \sum_{\substack{i=1 \\ j>i \\ l>j}}^{n} k_i k_j k_l u_i(x_i)\, u_j(x_j)\, u_l(x_l)$$
$$+ \cdots + k^{n-1} k_1 k_2 \cdots k_n u_1(x_1) u_2(x_2) \cdots u_n(x_n)$$

Ou encore, sous forme factorisée :

$$U(x) = \frac{1}{k}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[k k_i u_i(x_i) + 1\right] - 1\right]$$

La représentation des interdépendances entre les différents attributs, si elle est toujours présente, y est moins complète et plus difficilement perceptible. Le coefficient d'échelle k, modélisant ces interdépendances, se déduit[20] des autres constantes d'échelle d'après une équation de contrainte qui impose l'utilité des attributs « préférés » à 1 (Cf. Liste des notations en début de mémoire). Par conséquent, sous cette forme, la fonction d'utilité multi-attributs ne nécessite que n constantes d'échelle à trouver auprès des experts.

2.1.2.3 La forme Additive

Si elle est la plus simple des formalisations de l'utilité multi-attributs, la forme additive ne permet pas de représenter les interdépendances entre les différents attributs. Elle nécessite par ailleurs de fortes hypothèses, sur l'indépendance additive de ses attributs que l'on retrouve dans [Keeney & Raïffa, 1993, P.295]. Les auteurs y synthétisent sur ce thème les travaux de Fishburn (1972), Pruzan & Jackson (1963) et Pollack (1967). La forme additive s'exprime de cette façon :

[20] [Keeney&Raïffa, 1993, P.347] prouvent, démonstration à l'appui, qu'une fois les ki trouvés, il existe une et une seule solution à l'équation de contrainte dont k est l'inconnu.

$$U(x) = \sum_{i=1}^{n} k_i u_i(x_i)$$

Penchons-nous à présent sur les méthodes d'encodage des probabilités et d'élicitation des fonctions d'utilité. Nous désignons, par ces termes, la manière dont il faut interroger les experts, de façon à ce que leurs choix sur des situations simples, effectués sans réfléchir, nous fournissent les informations dont nous avons besoin pour évaluer l'utilité d'une situation.

2.1.3 Mise en œuvre de la MAUT et méthodologies d'encodage

L'encodage des fonctions d'utilité multi-attributs est une ingénierie de la décision qui a connu un développement spectaculaire depuis le milieu des années 1980, aux Etats-Unis d'abord, puis en Europe [Mc Cord et de Neufville (1986), Wakker (1989), Abdellaoui et Munier (1994), Wakker et Deneffe (1996), Abdellaoui et Munier (1998, 2001), Barrios (2003), Etchart (2003)], pour ne citer que quelques-uns qui ont contribué à son développement.

On trouve dans [Munier, Taverdet-Popiolek, 1998, P.5], les principales étapes de la mise en œuvre de la MAUT :

1) Définition des « axes de signification », en tenant compte des objectifs que le décideur s'est fixés.

2) Définition de l'ensemble des stratégies envisageables.

3) Modélisation des conséquences des stratégies, définition des indicateurs pour chaque axe.

4) Traduction de l'incertitude portant sur les conséquences et détermination des distributions de probabilité associées aux variables aléatoires.

5) Collecte des données nécessaires à l'évaluation de fonctions indicatrices.

6) Interrogation du décideur pour vérifier les indépendances, encoder les fonctions d'utilité partielles et les constantes d'échelle.

7) Classement des stratégies et étude des sensibilités.

Parmi ces étapes, les points 4 et 6 nécessitent des outils particuliers, dont le choix et le paramétrage ont une grande influence sur la qualité de l'aide à la décision fournie par la MAUT. Ces outils permettent l'encodage de fonctions d'utilité, de constantes d'échelle et de probabilités liées aux évènements. Ils ont fait l'objet, ces 50 dernières années, de nombreuses recherches comme le résume Céline Tea dans [Tea, 2009] : « *Dès les premiers travaux de psychologie cognitive, c'est-à-dire dès les années 1960, les psychologues constatent de mauvaises performances humaines en matière d'évaluation, de jugement et de prise de décision. Le constat de différences entre les résultats attendus et les résultats obtenus a stimulé le travail commun entre économistes et psychologues et a permis le développement de théories plus pertinentes ainsi que le développement de méthodes d'élicitation de données limitant les biais cognitifs* ».

Ce sont ces méthodes et leurs biais cognitifs que nous allons présenter dans ce chapitre en nous intéressant à l'élicitation des fonctions d'utilité, l'encodage des probabilités subjectives, puis l'élicitation des constantes d'échelle. Etant données les exigences que nous avons listées pour notre outil, nous ne nous intéressons ici qu'aux méthodes dont l'usage est le plus simple à systématiser. Nous terminerons le chapitre en recensant les méthodes de mise en commun des résultats lorsque plusieurs experts participent aux encodages.

2.1.3.1 Elicitation des fonctions d'utilité et biais

Contrairement aux utilités ordinales qui peuvent être élicitées sur des échelles graduées (Visual Analog Scale), nous travaillons avec des utilités neumaniennes (ou d'intervalle) qui, par définition, sont élicitées dans l'incertain. Par conséquent, la construction des fonctions d'utilité auprès des experts se fait en leur soumettant des choix risqués que l'on modélise sous la forme de loteries. De nombreux biais cognitifs ont été mis en évidence lors de l'utilisation des méthodes classiques, c'est pourquoi des méthodes alternatives comme celle des Trade-Offs ou des loteries équivalentes ont vu le jour. Nous verrons, pour terminer ce chapitre, les informations que peuvent nous donner les courbes des fonctions d'utilité ainsi élicitées.

Les méthodes classiques

Les méthodes classiques consistent toutes à choisir entre une loterie probabilisée à deux issues probabilisées, et une issue certaine, C. Ces loteries sont notées (F; P; D), où F est une issue

plus favorable que D et P la probabilité d'obtenir F. La probabilité d'obtenir D et donc logiquement 1-P. Au fur et à mesure de ses choix, il converge vers une situation pour laquelle il est équivalent entre les deux propositions. L'issue certaine est alors appelée équivalent certain (EC), comme l'illustre la Figure 28. Le symbole situé entre l'EC et la loterie représente l'équivalence.

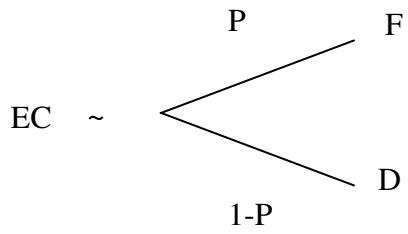


Figure 28 - Illustration d'une loterie et de son équivalent certain

Une condition de convergence est que F > CE > D d'un point de vue des préférences. Une fois cette équivalence obtenue, on lui applique la théorie de l'utilité espérée (UE) en supposant la non-transformation des probabilités dans le risque de la part de l'expert. On obtient l'équation suivante:

$$U(EC) = P \times U(F) + (1-P) \times U(D)$$

Sur ces 4 paramètres, 3 sont fixés par l'expérimentateur et 1 seul varie jusqu'à l'équivalence. Par conséquent, 4 méthodes sont possibles :

- La méthode de la conséquence équivalente (**CE**), dans laquelle les paramètres F, D et P sont fixés et où la conséquence certaine, C, varie jusqu'à équivalence.

- La méthode des probabilités équivalentes (**PE**), où C, F et D sont fixés.

- La méthode des gains équivalents (**GE**), où C, D et P sont fixés.

- La méthode des pertes équivalentes (**LE**) où C, F et P sont fixés.

Les deux premières méthodes, CE et PE sont les plus couramment utilisées. Etant donné qu'elles fixent F et D, il est d'usage de prendre la meilleure issue possible pour F et la moins favorable pour D. Comme la fonction d'utilité est définie à une transformation affine positive près, il est possible de la normaliser par U(F) = 1 et U(D) = 0. Ainsi, non seulement la

condition de convergence est obtenue par définition, mais l'équation à l'équivalence se simplifie également de la manière suivante : U(EC) = P.

On converge vers la situation d'équivalence par dichotomie, c.à.d. que l'on réduit l'intervalle des possibles pour le paramètre variable à chaque choix effectué par l'expert. Prenons par exemple le cas où l'on recherche un équivalent certain. On propose à l'expert le choix entre un C_0 initial, compris entre C_{min} et C_{max}, et la loterie. Si l'expert préfère la conséquence certaine C_0, on diminue alors la valeur de cette conséquence certaine pour la rendre moins attractive. On va ainsi proposer à l'expert un second choix entre C_1, compris entre C_{min} et C_0, et la loterie. Ainsi, au fur et à mesure des réponses de l'expert, l'intervalle des possibles pour CE se restreindra, jusqu'à ce qu'il atteigne le « seuil de résolution », c.à.d. la largeur de l'intervalle pour laquelle on considèrera que l'on se situe à l'équivalence.

Illustration dans le domaine médical : Pour trouver l'utilité qu'un patient associe au fait de vivre avec un handicap X, on peut employer la méthode de la probabilité équivalente avec C = « Handicap X », F = « Pas de Handicap » et D = « Mort ». On demande alors au patient s'il préfère le contrat n°1 suivant : « vivre avec certitude le reste de sa vie avec le handicap X » ou le contrat n° 2 suivant : « subir une intervention qui lui permettra de vivre le reste de sa vie sans handicap en acceptant un risque 1-P de décéder ». En faisant varier P au fur et à mesure des choix du patient et en normalisant les utilités extrêmes comme expliqué ci-dessus, le P trouvé à l'équivalence correspond à l'utilité d'intervalle (ou neumanienne) associée au handicap X.

Cependant, Hershey et Schoemaker (1985) ont observé des divergences systématiques entre résultats donnés par les méthodes PE et CE, bien qu'elles s'appuient toutes deux sur le critère de l'UE. Nous allons voir pourquoi en présentant les principaux biais cognitifs que ces méthodes induisent.

Les biais

Transformation des probabilités

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2.1.1.4, la source principale de biais lors de l'application de la théorie de l'utilité espérée est la transformation subjective des probabilités qu'effectuent inconsciemment les experts lorsqu'ils font leurs choix. Ainsi, Karmarkar (1978) et McCord et DeNeuville (1986) ont mis en évidence que les fonctions d'utilités élicitées avec

la méthode CE dépendaient des probabilités utilisées. La méthode PE n'est pas non plus épargnée par ce biais qui compromet la validité de cette technique de mesure.

Le phénomène de transformation des probabilités, qui affecte fortement le modèle de l'espérance d'utilité (EU), est d'autant plus marqué lorsque les probabilités s'approchent des extrêmes. Il s'explique notamment par le fait que le décideur décompose l'espace des probabilités en trois : le domaine de l'impossible (p~0), celui du possible (0<P<1) et celui du certain (p~1). Le décideur marque ainsi les frontières entre ces 3 zones de vraisemblance en sur-pondérant ou sous-pondérant les probabilités proches des extrêmes.

Aversion aux pertes

Un autre biais à l'origine de la Prospect Theory (PT) et de sa généralisation, la Cumulative Prospect Theory (CPT) est l'aversion aux pertes. Si la méthode CE est relativement robuste face à ce biais, ce n'est pas le cas de la méthode PE.

Framing Effect

Ce biais affecte essentiellement la méthode PE : comme seules les probabilités varient, le décideur ne se concentre plus sur le montant certain et le considère comme un point de référence par rapport auquel il compare les deux issues de la loterie. Cette tendance à se représenter la situation comme une loterie mixte, a pour effet de biaiser la représentation de leur attitude par rapport au risque. Par exemple, un choix entre 100€ sûr, et la loterie (200€ ; P ; 0€) sera reformulée en un choix entre 0€ et la loterie (100€ ; 0,5 ; -100€).

Dans la même idée, Fischer & Hawkins (1993) et Tversky (1988) ont montré que les échelles utilisées pour mesurer les conséquences (scale compatibility and prominence effect) introduisent également des contradictions dans les réponses des décideurs.

5 sources de biais pour Hershey

[Hershey, 1982] liste les principaux biais des méthodes d'encodage des fonctions d'utilité. Pour cela, il distingue 5 types de choix que l'analyste doit faire lorsqu'il élabore sa méthodologie, puis analyse les influences qu'ont ces choix sur les fonctions d'utilité obtenues.

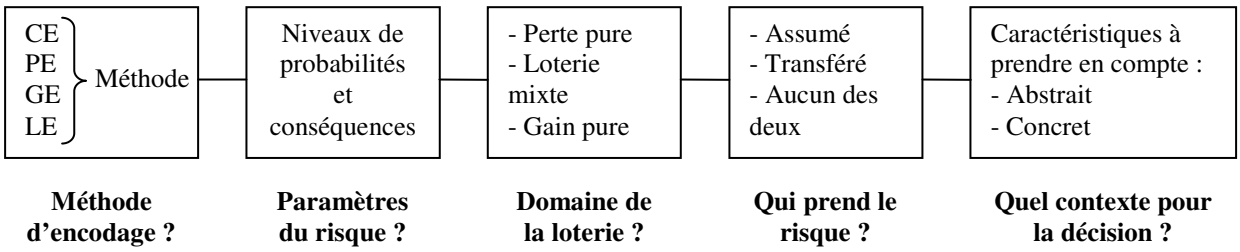


Figure 29 - Processus de choix des méthodes d'élicitation des préférences
Source : [Hershey, 1982], traduit de l'anglais

En complément des biais que nous avons déjà distingué jusqu'ici, l'auteur met l'accent sur la proximité nécessaire des scénarios d'élicitation avec la réalité. En effet, plus on s'éloigne de la réalité, plus les biais sont importants. En témoignent les analyses des influences des 4ème et 5ème choix de la figure ci-dessus :

- Pour le 4ème choix, « qui prend le risque ? », la forme des questions posées mettra le décideur dans une position d'assumer le risque ou de le transférer. Or dans ces deux situations, il est évident que les fonctions d'utilité trouvées ne seront pas les mêmes. Par exemple, une méthode CE avec une loterie en perte pure implique pour le décideur qu'il assume le risque, alors que si la loterie est mixte, le décideur aura l'impression de pouvoir « assurer » le risque à un certain prix.

- Le 5ème choix met l'accent sur l'importance de replacer le choix du décideur dans le même contexte que celui qu'il trouvera en situation réelle. En effet, n'ayant aucun moyen de contrôle sur les mécanismes cognitifs du décideur à l'origine de ses réponse subjectives, il est essentiel de reproduire expérimentalement les conditions de la réalité du terrain, sans quoi les résultats obtenus seront biaisés sans que nous en soyons conscients.

Pour prendre en compte et/ou contrer ces biais, certaines méthodologies d'encodage sont particulièrement bien adaptées, tout en restant dans le cadre de la théorie de l'utilité espérée.

La méthode des Trades-off

La méthode des Trade-Offs (TO), proposée par Wakker et Deneffe en 1996, est robuste à l'aversion aux pertes ainsi qu'aux transformations des probabilités.

Description de la méthode : On cherche la fonction d'utilité d'une variable quantitative X qui peut varier de x_0 à x_{max}, x_0 étant la valeur la plus faible au sens des préférences du

décideur. La méthode impose tout d'abord de fixer P, G et g. P est une probabilité, G et g sont des valeurs possibles de X tel que G>g, également au sens des préférences du décideur. La première étape consiste alors, à l'aide d'itérations sur les choix, à trouver x_1 tel que le décideur soit équivalent entre les loteries (g ;p ; x_1) et (G ;p ; x_0). Une fois ce résultat obtenu, on mémorise x_1 et on cherche x_2 tel qu'on ait, de la même manière, l'indifférence pour le décideur entre les loteries (g ;p ; x_2) et (G ;p ; x_1). Ainsi de suite jusqu'à ce que la conséquence x_j trouvée à l'équivalence soit supérieur ou égale à $x_{max,}$ c.à.d. $x_k = x_{max.}$ A partir de là, la théorie de l'utilité généralisée (incluant entre autre la transformation de probabilité) appliquée à ces résultats[21] permet de déduire :

$$U(x_j) = j/k \text{ pout tout j allant de 1 à k}$$

Cette méthode présente cependant quelques inconvénients :

- Elle n'est pas applicable aux paramètres qualitatifs puisqu'il faut pouvoir faire varier finement les conséquences.

- Pour la même raison, elle n'est pas applicable aux paramètres quantitatifs dont l'utilité varie de façon discrète.

- Sa méthodologie d'élicitation en chaîne peut conduire à propager les erreurs d'encodage.

La méthode des loteries équivalentes

Dans une série de travaux, [McCord et de Neuvillle, 1986], Delquié & deNeuville (1988, 1991) puis [Delquié, 1993], ont taché d'expliquer de façon expérimentale l'instabilité des résultats obtenus par les méthodes d'élicitation classiques. Ils ont mis en évidence des biais d'encodage et élaboré une méthode permettant de les éviter : la méthode des loteries équivalentes, ou méthode du « double appariement » (bi-matching).

Comme la méthode des TO, la méthode des loteries équivalentes propose à l'expert un choix entre deux situations risquées, modélisées par deux loteries. Supposons que l'on veuille déterminer l'utilité de x, valeur particulière de la variable X pour laquelle x* est la valeur que le décideur préfère, et x° celle qu'il préfère le moins. P* étant fixé par l'expérimentateur, il s'agit alors de déterminer p tel que l'on ait :

[21] La démonstration de ce résultat se retrouve dans l'appendice E de [Bleichrodt, Pinto, Wakker, 2001]



Figure 30 - Variante 1 de l'application de la méthode des loteries équivalentes

Une autre variante de la méthode consiste à trouver p tel que :



Figure 31 - Variante 2 de l'application de la méthode des loteries équivalentes

Pour la variante 1, en appliquant le critère de l'UE à la relation d'équivalence avec une fonction d'utilité normalisée, on peut déduire que :

$$u(X) = \frac{p - P*}{1 - P*}$$

Etant donné que $0 < u(X) < 1$, cela implique $p \in [P^* ; 1]$. Par conséquent, pour faire varier p sur une plage plus grande, il vaut mieux prendre $P^* < 0.5$.

Pour la variante 2, on obtient :

$$u(X) = \frac{p}{P*}$$

Ce qui implique, pour les mêmes raisons, que $p \in [0 ; P^*]$ et que pour faire varier p sur une plage plus grande, il vaut mieux prendre $P^* > 0.5$. Dans la pratique, on peut jouer sur l'utilisation des variantes 1 ou 2 pour améliorer la vraisemblance de la situation proposée au décideur.

Outre le fait d'obtenir des résultats moins biaisés que ceux obtenus avec les méthodes classiques, la méthode des loteries équivalentes garde l'avantage de pouvoir déterminer l'utilité de n'importe quel type de paramètre, qu'il soit qualitatif ou quantitatif. On peut cependant lire dans l'échange de papiers entre [Adam, 2004] et [Spencera et al., 2004], que si cette méthode permet de supprimer de nombreux biais cognitifs, elle reste vulnérable à certains d'entre eux, comme la transformation des probabilités.

Résultats et interprétations

A partir des différentes valeurs x de la variable X dont on a déterminé les utilités u(x) pour le décideur, on est capable de tracer une fonction d'utilité. Ce tracé peut être approximé de façon linéaire, exponentielle, logarithmique ou autre.

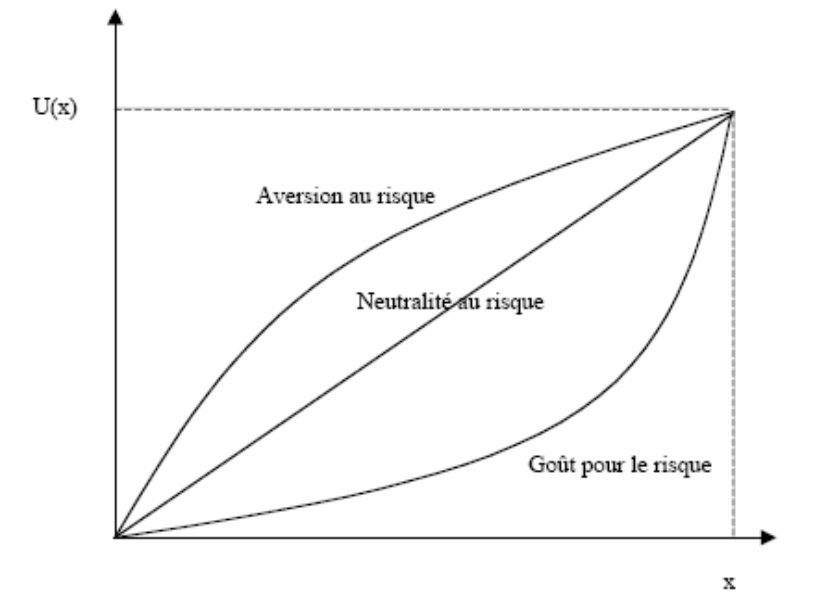


Figure 32 - Forme de la fonction d'utilité et attitude vis-à-vis du risque

Dans le modèle EU, l'aversion faible au risque se caractérise par un équivalent certain inférieur, en termes de préférence, à l'espérance mathématique de la loterie. En effet, si vous êtes averse au risque, vous serez prêt à recevoir, de façon certaine, moins que l'espérance mathématique de la loterie que l'on vous propose en échange. Autrement dit, si L désigne la loterie, $u(E(L)) \geq u(L)$ et donc $u(\sum_{i=1}^{n} p_i x_i) \geq \sum_{i=1}^{n} p_i u(x_i)$, ce qui correspond à la caractérisation analytique de la *concavité de la fonction u*. Par conséquent, sous le critère de l'UE, la concavité de la fonction d'utilité caractérise une aversion au risque, comme on peut le voir sur

la Figure 32. De la même façon, une fonction convexe traduit une risquophilie alors qu'une fonction linéaire exprime une neutralité face au risque.

2.1.3.2 Encodage des probabilités

Ce chapitre ne s'intéresse qu'à l'approche subjective des encodages de probabilités. En effet, comme nous l'avons souligné dans le chapitre 1.2, l'approche subjective est la seule qui puisse prétendre anticiper l'imprévisible. Par conséquent, lors de l'application de l'outil, même lorsque des éléments permettant de déterminer une probabilité à partir d'une approche fréquentiste seront disponibles, il pourra être intéressant d'effectuer un encodage subjectif des probabilités. Pour justifier cette idée, Munier (2003) souligne qu' « *il n'y a pas de vraies probabilités, on veut simplement aider un individu ou un groupe de décideurs à prendre la meilleure solution possible pour lui/eux.* »

Méthodes d'encodage

[Clemen, 1995] différencie l'encodage des probabilités discrètes de celui des probabilités continues. Une probabilité discrète permet d'estimer la vraisemblance d'un évènement « tout ou rien » comme le fait qu'il pleuvra demain à 15h. Une probabilité continue permet de se prononcer quant à la valeur d'une variable comme le prix du baril dans un an. Elle est souvent mesurée à l'aide d'une fonction de répartition des probabilités F(Z<X), qui est la probabilité que cette variable aléatoire Z soit inférieure à X.

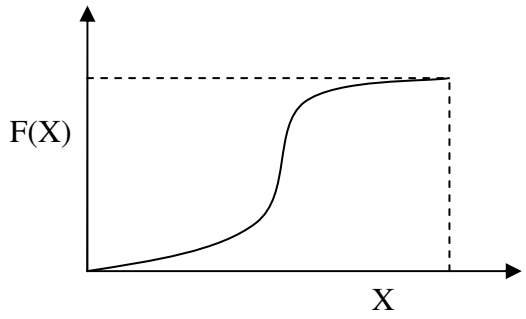


Figure 33 - Fonction de répartition des probabilités sur une variable

Probabilités discrètes

Pour encoder une probabilité discrète, on peut :

- Demander directement à un expert de nous la donner : il s'agit de l'élicitation directe.

- Extraire des choix d'un l'expert, ses croyances subjectives sur la réalisation de l'évènement. Des situations de choix lui sont alors proposées à l'image de ce qui se fait pour éliciter les fonctions d'utilité. Les probabilités subjectives sont alors extraites des résultats à partir du critère de l'UE, en supposant les axiomes de Savage (1954). C'est cette méthodologie, beaucoup plus rigoureuse sur le plan des biais induis par l'encodage, que nous emploierons dans le cadre de cette thèse.

Probabilités continues

Encoder une probabilité continue nécessite de trouver plusieurs points de la courbe de répartition des probabilités. Les deux méthodes suivantes le permettent :

- La méthode des fractiles : Selon Clemen (2001), 3 points suffisent (f(p) = 10%, 50% et 90%) pour construire la fonction de distribution des probabilités.

- La méthode des bissections. Elle consiste à poser des questions du type « Quelle est la valeur par rapport à laquelle la variable a autant de chance d'être supérieure ou inférieure ? ». Ce procédé (voir [Baillon, 2008]) permet ainsi le découpage en zones équiprobables des valeurs possibles de la variable.

Après avoir comparé ces deux méthodes, Chisley (1976) et Wright (1988), arrivent à la conclusion que la méthode des fractiles est plus performante dans le sens où elle reflète mieux les croyances du décideur.

Encodages et informations disponibles

Le « timing » des encodages des probabilités a également une grande influence sur la qualité de la gestion des risques et opportunités. En effet, plus on avance dans le temps, plus les informations disponibles permettent d'affiner les croyances sur les distributions de probabilités. Comme le souligne Reix (2004), « *le gestionnaire doit continuellement choisir entre décider de décider maintenant avec l'information disponible [et] décider de chercher de l'information complémentaire avant de décider.* ». Cet aspect du problème pourra être pris en compte par la MAUT, étant donné que si le décideur souhaite attendre avant de prendre une décision, il retardera sans doute la date de fin du projet, ce qui aura pour effet de baisser l'utilité globale de la situation du projet.

Mais l'information disponible peut également induire des biais dans l'encodage des probabilités. Un de ces biais, connu sous le nom de « hindsight effect », concerne les experts interrogés sur des événements qu'ils ont déjà vécus. Ainsi, l'issue qui s'est réellement réalisé à l'époque sera surévalué par l'expert lors de l'encodage des probabilités. Si l'on en croit Cadet (2006), ce biais n'en est peut-être pas un. En effet, ce dernier distingue deux composantes pour une probabilité subjective quant à la réalisation d'un évènement :

- Une composante « passive » : *« la probabilité personnelle est vue comme le degré de croyances, c'est à dire une valeur qui traduit de façon synthétique et qui inclut dans sa quantification des connaissances, des expériences passées et des attentes quant à un phénomène défini.* »

- Une composante « active », étudiée par les psychologues : « *La probabilité personnelle n'est pas à strictement parler, une donnée du monde extérieur, mais elle renvoie à une lecture personnelle de ce monde extérieur. En fonction de sa personnalité, de ses connaissances, de ses besoins, chaque évaluateur va apprécier les possibilités d'occurrence d'un risque déterminé*.»

Ainsi, si un expert encode une probabilité de réalisation d'évènement sur laquelle il aura une influence, l'« hindsight effect » peut très bien être interprété comme la détermination supplémentaire qu'aura une personne qui a déjà réussi. On peut citer, par exemple, le cas d'un concepteur qui évalue la distribution de probabilité sur la date de fin d'un projet.

2.1.3.3 Constantes d'échelle

L'élicitation des constantes d'échelle renvoie aux mêmes types de méthodes que celles utilisées pour construire les fonctions d'utilité. Les protocoles expérimentaux sont différents selon la forme de la fonction d'utilité multi-attributs retenue et peuvent, dans certains cas, ne pas faire intervenir un pari risqué. Ces méthodologies, pour chaque forme de fonction multi-attribut, figurent dans [Keeney et Raiffa, 1993]. Nous détaillerons dans le chapitre 2.2 les méthodes retenues pour l'elicitation des constantes d'échelle.

2.1.3.4 Mise en commun des résultats

Lors des élicitations des fonctions d'utilité, des constantes d'échelle ou lors des encodages des probabilités subjectives, il est courant de faire intervenir plusieurs experts, ceci afin de travailler à partir d'informations plus fiables. La question est alors de savoir comment concilier ces différentes estimations. Pour ce faire, trois méthodes sont possibles :

- La première consiste à effectuer des élicitations individuelles, puis regrouper les résultats à l'aide de moyennes linéaires ou logarithmique. [Fishburn, 1989, P.393] évoque le théorème d'Arrow pour souligner la pauvreté de cette façon de procéder. En effet, ce théorème met en question la possibilité de converger vers une fonction de préférence globale à partir de fonctions de préférences individuelles. Idéalement, la convergence doit donc se faire au sein du groupe d'expert, ce qui est proposé dans les 2 méthodes suivantes.

- Eliciter directement auprès du groupe, en demandant un consensus sur chaque choix. Non seulement cette méthode est laborieuse, car obtenir un consensus est souvent long et difficile, mais elle ne permet souvent pas d'intégrer au débat tout les arguments des experts. En effet, les opinions des personnes les plus influentes prendront le pas sur celles des personnes les plus réservées, qui hésiteront à exprimer leurs divergences de pensée. Ce problème trouve sa solution dans une troisième méthode, la méthode Delphi.

- Les élicitations sont effectuées individuellement auprès de chaque expert, puis les différents résultats, visibles par tout le groupe, sont discutés jusqu'à convergence des opinions. Ainsi, chaque expert, même le plus réservé, sera forcé d'exposer au groupe les raisons qui l'ont poussé à donner une valeur qui s'écarte de la moyenne du groupe. Ces raisons pourront alors être adoptées ou infirmées par le reste du groupe.

2.1.4 Etat des lieux concernant l'utilisation de la MAUT en entreprise.

Pour terminer cette présentation de la théorie de l'utilité, nous nous intéressons à son implémentation actuelle en entreprise. Avant d'exposer quelques exemples, nous verrons les conditions sous lesquelles la mise en place d'un tel outil en entreprise est justifiée. Nous étudierons ensuite, à l'inverse, les blocages existants dans l'industrie et leurs origines.

2.1.4.1 Conditions favorables pour l'application de la MAUT

B to B ou B to C

Etant donné que la performance du produit conçu sera vraisemblablement pris en compte dans l'évaluation, par la MAUT, de l'utilité globale du projet, la relation entre l'industrielle et son client est déterminante. En effet, il faut distinguer les contextes B to B (Business to Business), où des professionnels vendent à des professionnels, des contextes B to C (Business to Customer), où des professionnels vendent à des clients. Dans un contexte B to C, il y aura autant de préférences différentes, sur les performances du produit, que de clients sur le marché. L'encodage des fonctions d'utilité est par conséquent laborieux et complexe, nécessitant d'aller démarcher un grand nombre de clients avant de faire une synthèse. Dans un contexte B to B, par contre, les clients sont beaucoup moins nombreux et ont effectué la synthèse des préférences des clients en aval. La structure des préférences en est standardisée et nécessite, par conséquent, un nombre beaucoup moins important d'élicitations. Une relation B to B peut être illustrée, par exemple, par celle liant un industriel et un fournisseur, ou un industriel et un concessionnaire.

Complexité de la situation et enjeux

Un des principaux avantages de la MAUT, nous l'avons vu, est qu'elle permet d'aider le décideur à structurer ses préférences. Lorsque la situation d'un projet de développement est complexe et fait intervenir des objectifs antagonistes et de nature très différentes, les décideurs peuvent, à juste titre, se sentir dépassés par les enjeux des décisions qu'ils ont à prendre. Ils peuvent alors s'appuyer sur la réflexion structurée proposée par une analyse des risques et des opportunités sous la MAUT pour rationnaliser et/ou légitimer leurs décisions. Ce besoin est d'autant plus grand lorsque les conséquences potentielles induites par ces décisions sont importantes, d'un point de vue humain, environnemental ou encore financier.

2.1.4.2 Exemples d'applications

Les premières applications des fonctions d'utilité sont apparues dans le domaine de la finance. En effet, dans ce domaine, la gestion des portefeuilles de titres corrélés entre eux implique de ne pas traiter les risques individuellement. Ces dernières années, on constate un début de

démocratisation de la MAUT dans les entreprises appartenant à d'autres domaines d'activité, comme par exemple, ceux de l'énergie, du transport ou de la médecine.

A titre d'exemples, on trouve dans [Munier & Taverdet-Popiolek, 1998] une application de la MAUT aux choix stratégiques dans le transport d'énergie. L'accent y est mis sur l'évaluation d'une stratégie de renforcement de réseau du point de vue de ses aspects environnementaux. Dans [Tea, 2009], la MAUT est employée pour introduire des données subjectives dans le retour d'expérience de la SNCF. [Le Galès et al., 2001] l'applique dans le domaine de la santé pour modéliser le bien-être physique par 8 attributs et une fonction d'utilité multiplicative. On trouve également des applications dans le domaine du marketing/développement avec [Munier, Besse, Lassagne, 2006] et [Collardeau, Goncalves, 2007].

2.1.4.3 Origines des blocages en entreprise

Ces diverses applications ont permis de constituer un premier retour d'expérience du terrain, et notamment de dresser la liste des points bloquants qui freinent la démocratisation, en entreprise, des outils basés sur la MAUT. Parmi ces points bloquants, on trouve :

- La confidentialité et les limites qu'elle impose. En effet, étudier les paramètres stratégiques des projets de développement d'une entreprise industrielle n'est pas une activité que l'on souhaite déléguer à un doctorant ou un consultant, du fait de leurs statuts extérieurs à l'entreprise. Une solution pour lever ce frein pourrait être de proposer des formations à la méthode, « opérationnalisée » pour les industriels.

- Le manque de ressources disponibles, en termes de compétences, de temps et de financement.

- L'absence d'indicateur de rentabilité de la méthode. En effet, il est difficile d'estimer les conséquences qui seraient survenues sans une aide à la décision basée sur la MAUT. Il est toutefois possible, sous certaines conditions, d'appliquer la méthode de manière rétroactive à des projets passés, afin d'étudier la cohérence des décisions conseillées par rapport aux décisions qui ont été prises.

- Une finalité mal perçue lorsque les enjeux ne sont pas d'envergure. Une meilleure communication des objectifs de la démarche est alors nécessaire.

- L'opacité des méthodes basées sur la MAUT, dont les principes de fonctionnement peuvent prendre un aspect « boîte noire » pour les dirigeants de l'entreprise. Sur ce point, il est nécessaire de limiter au maximum la complexité de la modélisation retenue, en veillant toutefois à ce qu'elle puisse représenter tous les aspects de la stratégie de l'entreprise.

Ce thème est également développé dans [Moisdon, 1997].

Conclusion du chapitre 2.1

Dans sa forme multi-attribut, la théorie de l'utilité espérée subjective répond aux attentes, formulées dans la partie 1, pour évaluer, de façon rationnelle, les options d'un décideur lors d'un projet de développement.

Si les théories généralisées de l'UE, comme la CEU, la CPT et la RDU permettent au modèle de se prémunir contre certains biais d'encodage, nous n'envisageons de faire appel à elles que dans un second temps. En effet, les complexifications qu'elles impliquent ne favorisent non seulement pas leur implémentation en entreprise, mais affectent également la cohérence dynamique de l'aide à la décision proposée.

Nous allons voir à présent comment adapter la MAUT à la situation d'un projet de développement dans l'industrie mécanique.

CHAPITRE 2.2 : CONSTRUCTION D'UN OUTIL BASE SUR LA MAUT POUR REPONDRE AU PROBLEME POSE

Nous allons présenter et justifier, dans ce chapitre, la manière dont nous avons modélisé la situation d'un projet à l'aide d'une fonction d'utilité. Nous exposons ensuite, de la même façon, les méthodes retenues pour l'élicitation des différentes fonctions d'utilité et l'encodage des probabilités sur les évènements incertains.

La construction de cet outil a pour objectif d'être applicable à toute entreprise dans le secteur de l'industrie mécanique, et même, sous certaines conditions, à d'autres secteurs d'activité. Par ailleurs, le souci d'utiliser au maximum les connaissances présentes en interne dans une entreprise a été une préoccupation constante. De même, il était essentiel qu'une entreprise puisse utiliser ses propres indicateurs pour gérer les risques et les opportunités de ses projets de développement, c'est pourquoi sous la rigidité de la structure principale de la fonction d'utilité, nous allons voir que son utilisation est très flexible, s'adaptant à chaque entreprise.

2.2.1 La fonction d'utilité du projet : structure et justifications

Plutôt que de décrire le cheminement qui nous a conduits au résultat final, nous exposons directement la structure de la fonction d'utilité retenue, puis justifions tous les choix effectués pour atteindre ce résultat. Ceci permet au lecteur de se passer des justifications si elles ne présentent pas d'intérêts pour lui. La structure finale est donc la suivante :

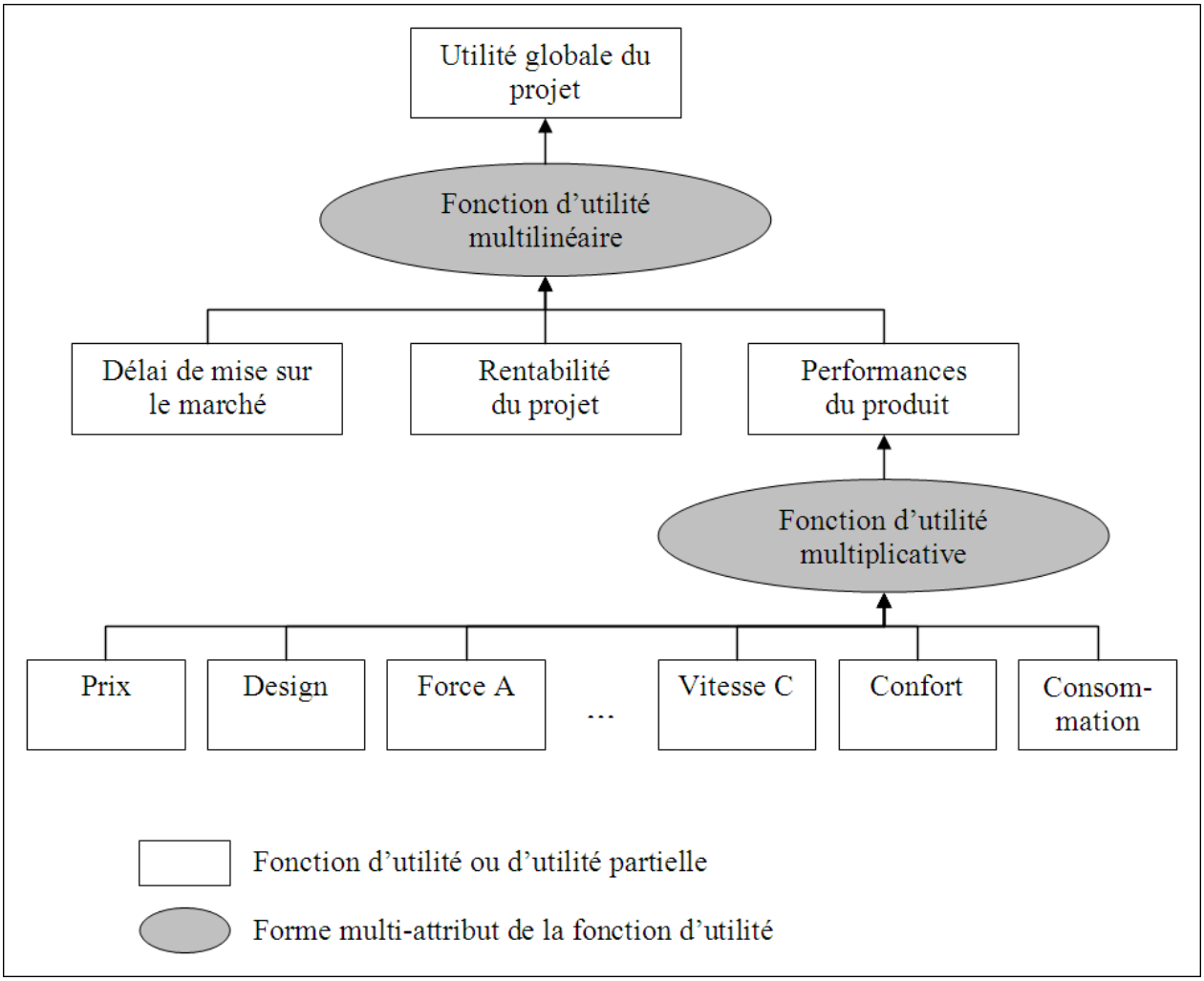


Figure 34 - Représentation de la structure de la fonction d'utilité retenue

Nous allons à présent argumenter cette structure retenue, à la fois pour le choix des utilités partielles et des formes des fonctions d'utilités multi-attributs.

2.2.1.1 Les indicateurs principaux d'un projet de développement

Keeney (1982) décrit l'analyse de la décision comme «*une procédure systématique pour transformer des problèmes de décisions opaques en problèmes de décisions transparents par une série d'étapes transparentes*». Dans notre situation, la première de ces étapes est de distinguer puis de relier entre eux les différents objectifs de l'entreprise pour un projet de développement. Comme nous l'avons évoqué à propos de la rationalité dans le paragraphe 1.2.2.2, la structuration de ces objectifs est plus aisée dans le cas d'une entreprise que dans celui d'un humain, dont les objectifs conscients et inconscients peuvent être complexes. Ici,

les objectifs du projet doivent être communiqués, communicables, ce qui implique qu'ils soient représentés par des indicateurs.

D'après le « Body of Knowledge » du Project Management Institut [PMI, 2004], on peut distinguer 4 grands indicateurs pour un projet : le délai, le coût, la performance et la qualité. La définition d'un indicateur de la qualité du produit est cependant délicate en cours de projet, étant donné qu'aucun retour d'expérience d'utilisation à long terme n'est disponible. Par conséquent, il est fréquent de considérer la dimension « qualité » comme un ensemble d'exigences contraignant la conception du produit. Le respect des critères de performance passe alors par la prise en compte de ces exigences, qui peuvent être des coefficients de sécurité, une durée de vie sous garantie, etc. On retrouve cette même idée dans l'ouvrage « Faire de la recherche en management de projet » [Garel et al, 2004], pour qui « *l'acte de naissance d'un projet se caractérise par l'explicitation d'un ensemble de spécifications, d'un budget et d'un délai* ». Toujours dans le même ouvrage [Garel et al, 2004] et dans le cadre du pilotage économique de l'avant-projet, on trouve un tableau récapitulant les différentes méthodologies d'aide à la conception. La première colonne de ce tableau, celle des variables du modèle d'évaluation économique, met en évidence 4 dimensions pour caractériser le projet : les dépenses, le coût de fabrication unitaire, les performances et le délai.

Variables du modèle d'évaluation économique	Décomposition des variables retenues	Méthodologies d'aide à la conception
Dépenses du projet	Dépenses de conception et de développement – Equipements spécifiques	- Techniques de contrôle de gestion des projets (budgets et contrôles budgétaire) - Estimation des coûts
Coût unitaire	Coût variable unitaire de production	- Conception pour un coût objectif ou coût-cible/estimation des coûts - Analyse de la valeur des composants achetés - DFM, standardisation, QFD (matrice de déploiement des composants, matrice de planification des processus et de la production)
	Charges indirectes, frais généraux de production et fonctions support	- DFM, standardisation, QFD (matrice de déploiement des composants, matrice de planification des processus et de la production)
Performance (spécifications fonctionnelles et techniques)	Quantités Prix unitaires	- QFD matrice de la qualité (lien entre spécifications fonctionnelles et spécifications techniques) - Analyse de la valeur (lien entre spécifications et coûts)
Délai	Durée du développement Date d'introduction Date de retrait du marché	- Techniques d'ordonnancement de projet

Tableau 6 - Liens entre les variables conditionnant la profitabilité d'un produit nouveau et les méthodologies d'aide à la conception.
Source : Gautier F. et Giard V., 2000

Etant donné que le but principal de tout projet de développement est d'être profitable à l'entreprise, la décomposition en sous-objectifs que propose ce tableau est particulièrement intéressante. Elle rejoint par ailleurs celle que nous avions déjà évoquée dans le paragraphe 1.1.2.1 de ce mémoire, où nous citions (Midler, 1996), qui considère que la principale caractéristique d'un projet est « *une démarche finalisée par un but et fortement contrainte, [qui] se définit d'abord par l'objectif à atteindre, décliné en termes de performance, de délai et de coût.* »

Ainsi, nous avons choisi les 3 indicateurs suivants pour modéliser la situation du projet, indicateurs qui représentent 3 sous-objectifs du projet :

- **Les délais** : date de mise en série du produit à laquelle on confronte les échéances extérieurs importantes pour le projet : salons, sortie de normes, concurrence, etc.

- **La rentabilité** : somme des coûts du projet (fixes et variables), auxquels on confronte les gains anticipés par les services marketing et financier.

- Les performances : ensemble des critères à l'origine de l'attirance du client pour le produit développé.

2.2.1.2 Indépendance des objectifs principaux et fonction multi-attributs

Indépendance des paramètres

Pour valider le choix de ces 3 paramètres, nous avons alors vérifié qu'ils étaient :

- Exhaustifs, dans le sens où ils doivent pouvoir décrire touts les enjeux stratégiques d'un projet de développement. La revue de littérature qui a conduit à leur choix est un gage sérieux d'exhaustivité.

- **Discriminants**, ce qui est vérifié étant donné que chacun de ces paramètres a un impact potentiel sur les bénéfices réalisés par l'entreprise, même si l'on ignore de quelle façon. Par conséquent, ils peuvent tous être utilisé comme critère de choix face à une décision dans le projet.

- Non-redondants, chacun couvrant une dimension propre de la situation. En effet, La rentabilité indique le bénéfice que l'entreprise pourra dégager par produit vendu une fois la fabrication en série lancée, la performance se focalise sur la satisfaction du client alors que le délai ne concerne que la date de mise en série. Ainsi, même si l'entreprise perd de l'argent car elle n'a pas mis en série un produit à temps, ce dernier peut très bien être rentable étant donné le rapport entre son prix de vente et son coût de fabrication.

L'indépendance de ces paramètres peut toutefois être remise en question sur quelques points. En effet, il est évident que la date de mise sur le marché, ou la satisfaction du client, auront un impact sur le niveau de la demande client du produit. Or une estimation de cette demande est un facteur nécessaire à l'évaluation de la rentabilité du projet car elle permet de répartir les frais fixes sur la totalité des produits vendus. Par conséquent, on pourrait penser que la

performance et les délais ont une influence directe sur la rentabilité, remettant ainsi en cause l'indépendance de ces 3 paramètres. Cependant, notre étude s'intéressant au cas de l'industrie mécanique, il est possible de donner les contre-arguments suivants :

- Etant donné le volume important des séries dans ce secteur, les charges fixes, en pourcentage du prix total de fabrication, sont relativement faibles. Par conséquent, l'impact du biais induit est insignifiant.

- Deuxièmement, les projets de développement « à caractère innovant » ne présentent pas, par définition, d'innovation de rupture par rapport au modèle précédent. Or les durées de vie des produits de ce secteur étant relativement importantes, on peut penser que la demande, au moins sur les premières années d'exploitation du nouveau produit, sera essentiellement conséquence de l'image de marque de l'entreprise, acquise sur le long terme avec les performances et la qualité relevée des anciennes versions du produit.

Forme de la fonction d'utilité multi-attributs

Pour des raisons de faisabilité, nous n'avons pas testé les hypothèses d'indépendance en utilité des différents paramètres ([Keeney & Raïffa, 1993, P.224]). En effet, la réalisation de ce test pour chaque projet dégraderait l'opérationalité de notre outil de manière significative. Nous laissons cette étude à de futurs travaux de recherche. Cependant, étant donné que nous ne sommes en présence que de 3 attributs, nous avons choisit la forme multi-attribut dont l'hypothèse d'indépendance en utilité est la moins restrictive de toutes, à savoir la forme multilinéaire. Sous cette forme, avec 3 attributs, on a :

$$U = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_3(x_3) + k_{12} u_1(x_1) u_2(x_2) + k_{13} u_1(x_1) u_3(x_3) + k_{23} u_2(x_2) u_3(x_3) + k_{123} u_1(x_1) u_2(x_2) u_3(x_3)$$

Où U est l'utilité globale du projet, x_i la valeur de l'attribut i, $u_i()$ les fonctions d'utilité partielles et k_i les constantes d'échelle de la fonction.

Elicitation des constantes d'échelle

L'utilité U est clairement celle de l'entreprise. Par conséquent, les constantes d'échelle doivent être élicitées en interne, au près de personnes ayant une connaissance de l'ensemble

des projets de développement, de leurs enjeux, et des directions stratégiques de l'entreprise. La direction générale de l'entreprise remplit idéalement ces conditions.

2.2.1.3 Utilité partielle sur les délais

L'utilité partielle sur les délais mesure, dans le risque, les préférences de l'entreprise sur les dates possibles de mise en série du produit développé. L'intervalle d'étude considéré va de la date la plus optimiste à la date la plus pessimiste.

Afin de réaliser son élicitation, il est nécessaire de prendre en compte tous les évènements, internes ou externes à l'entreprise, et qui ont une influence sur ces préférences. Ces évènements peuvent être :

- Des salons sur lesquels il est important de présenter à la clientèle son nouveau produit.

- Des dates d'entrée en vigueur de nouvelles normes ou réglementation dans un des pays dans lequel sera vendu le produit.

- La mise sur le marché, probable, d'un produit concurrent.

Par conséquent, l'élicitation de cette utilité partielle doit se faire auprès de personnes ayant connaissances de tous ces enjeux et ayant une vision globale sur la gestion des différents projets de développement de l'entreprise.

Si l'on appelle jalons (Ji) ces évènements ayant un impact sur les préférences de l'entreprise quant à la date de mise en série du produit, la fonction d'utilité partielle sera de la forme suivante :

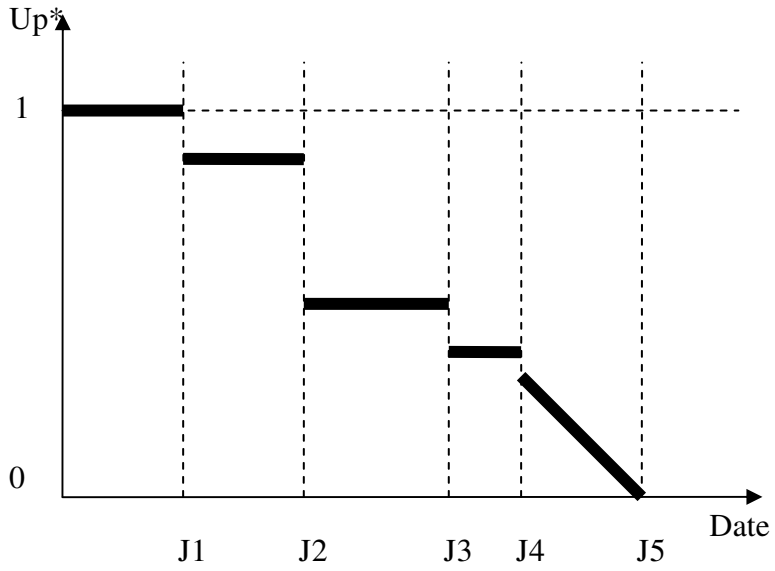


Figure 35 - Exemple de fonction d'utilité partielle sur les délais attendue
* Utilité partielle (voir liste des abréviations et notations en début de mémoire)

Les discontinuités de la fonction s'expliquent par la discontinuité des enjeux du type « Tant que la mise en série du produit est possible avant le Jalon 2, alors nous pouvons présenter le produit au Salon X ». De même, les pentes descendantes de la fonction correspondent à des enjeux du type « à partir du Jalon 4, plus nous attendons pour mettre en série le produit, plus la situation empire ».

Par conséquent, la forme globale de la fonction doit être définit avec l'expert avant la phase d'élicitation. Il suffit ensuite d'éliciter les différents niveaux d'utilité requis de façon qualitative. Par exemple : « utilité d'une mise en série après le Jalon 2 mais avant le Jalon 3 ».

2.2.1.4 Utilité partielle sur la rentabilité

L'utilité partielle sur la rentabilité mesure, dans le risque, les préférences de l'entreprise sur le niveau de rentabilité du produit lors de sa mise en série. Nous avons choisit d'exprimer ce niveau de rentabilité par le pourcentage de remboursement des frais fixes lors de la vente du produit.

Les **frais variables** de production rassemblent toutes les dépenses effectuées par l'entreprise, spécialement pour la fabrication du produit : coût de la matière première, ressources spécifiques à la fabrication de ce produit, etc.

Les **frais fixes** de production rassemblent toutes les dépenses que fait l'entreprise indépendamment de cette production : salaires, coût de fonctionnement des machines, loyer du site, etc.

On peut ramener ces deux coûts à la fabrication d'une unité produit. Ainsi, on peut comparer le prix de vente du produit à la somme de ses coûts fixes et variables de fabrication, afin d'estimer le bénéfice dégagé par l'entreprise lors de la vente d'une unité produit. L'indicateur que nous proposons peut donc se formaliser de la manière suivante :

$$\% \text{ Remboursement des frais fixes} = \frac{prix\,de\,vente - frais\,\text{var}iables}{frais\ fixes}$$

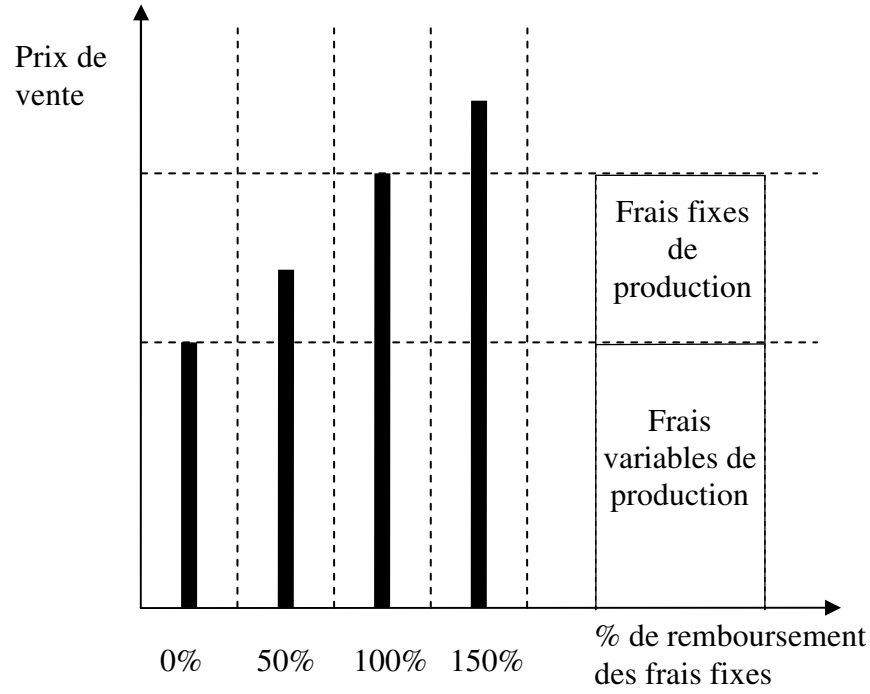


Figure 36 - % de remboursement des frais fixes de production en fonction du prix de vente

Dans le calcul de la rentabilité, peuvent ainsi être pris en compte :

- Les prévisions de vente et les estimations du prix de vente dans les différents pays concernés.
- Le taux de change des devises dans ces mêmes pays.
- Les coûts de développement : Marketing, Bureau d'Etude, Prototypes,…
- Le coût des installations spécifiques à la fabrication du produit.

- Le coût de la matière première et de main d'œuvre pour la fabrication du produit
- La prévision des coûts de garantie SAV.
- etc.

Autant de paramètres sujets à des incertitudes, sources de nombreux risques et opportunités. Plusieurs types de décision peuvent donc être prises, durant le projet, pour impacter sa rentabilité. On peut citer par exemple :

- Choix des fournisseurs pour diminuer les coûts fixes de fabrication.
- Choix de conception pour diminuer les coûts des demandes de garanties et les coûts fixes de fabrication.
- Choix marketing de positionnement prix.
- Choix marketing sur les marchés cibles en fonctions de leur rentabilité prévisionnelle.
- etc.

Pour des décisions à connotation stratégique, comme celle du dernier exemple cité, une vision globale sur les différents projets de développement de l'entreprise peut être nécessaire. En effet, à titre d'exemple, pénétrer un nouveau marché peut être intéressant pour l'entreprise à long termes, même si la rentabilité n'est pas au rendez-vous durant les premières années.

Idéalement, la fonction d'utilité partielle sur la rentabilité est à éliciter auprès d'une personne réalisant les estimations de rentabilité pour tous les projets de développement de l'entreprise. La signification, dans le contexte du projet, du pourcentage de remboursement des frais fixes n'en serait que plus parlante pour elle. Il appartient également à cet expert, avant l'élicitation, de fixer les niveaux maximum et minimum acceptable de ce pourcentage.

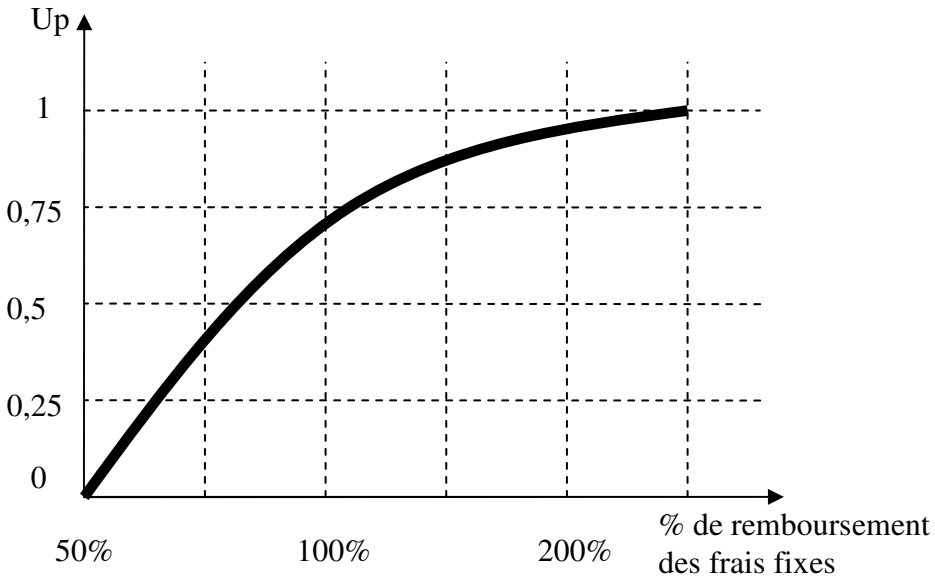


Figure 37 - Exemple de fonction d'utilité partielle sur la rentabilité attendue

Il faut noter que le pourcentage de remboursement des frais fixes n'est qu'un exemple d'indicateur de rentabilité du projet. Si le service « Contrôle de gestion » de l'entreprise utilise un autre type d'indicateur, il sera à privilégier.

2.2.1.5 Utilité partielle sur la performance

La performance du produit est un indicateur de la satisfaction du client. Elle est le lien entre les attentes du client et le résultat du projet de développement. Par conséquent, la fonction d'utilité sur les performances de la machine doit être élicitée par les clients, ou par des experts capables de se mettre à la place du client. En effet, il peut être intéressant de réaliser les interviews auprès de vendeurs, de membres du SAV, ou encore de démonstrateurs, et ce pour les raisons suivantes :

- Réaliser les interviews en interne permet de préserver la confidentialité des projets de développement et de ne pas solliciter le client de manière excessive.

- Le processus d'achat, dans le domaine de l'industrie mécanique, est souvent complexe et peut faire intervenir les opinions de plusieurs personnes chez le client. Il faudrait donc réaliser les interviews avec l'ensemble de ces personnes pour obtenir un résultat cohérent alors que le vendeur, de par son métier, a déjà à l'esprit la synthèse de ce processus de décision.

- Dans la même idée, le vendeur est capable de faire la synthèse des préférences de plusieurs de ses clients, ce qui enrichie la substance des interviews. Pour arriver à un résultat équivalent en interrogeant directement le client, il faudrait réaliser beaucoup plus d'interviews.

Estimer directement la performance d'un produit, sans aucune étape intermédiaire, n'est pas envisageable. En effet, cela impliquerait de réaliser des estimations tout au long du projet pour pouvoir suivre les évolutions de la performance. Il ne serait d'ailleurs pas possible de connaître les moyens d'améliorer cette performance : nous nous retrouverions face à un indicateur trouble, non significatif et dont la communication n'apporterait rien. Par conséquent, l'utilité partielle sur les performances doit être élicitée comme une fonction d'utilité multi-attributs. Ces différents attributs, qui prennent les valeurs des critères de performance du produit, sont déterminés à l'aide du service marketing.

Les critères de performance du produit

Etant donnée la diversité très importante des attentes des clients sur un produit, il est irréaliste de dresser une liste exhaustive des critères de performance. Si l'on peut trouver dans la littérature des travaux sur des démarches similaires (Cf. [Munier, Besse, Lassagne, 2006]), le choix de ces critères reste toutefois spécifique à chaque cas d'application. Par conséquent, il est nécessaire de se tourner vers le service marketing, dont les études en amont du projet permettent de mettre en avant les critères de performances les plus significatifs pour le client. Il appartient alors au gestionnaire des risques de choisir parmi ces critères, voire d'en ajouter, afin que leur ensemble soit le plus exhaustif possible. Ces critères de performance peuvent être, par exemple : une consommation, un niveau de bruit, de sécurité, un Design, un prix, une force, une vitesse, une qualité de prestation SAV, etc.

Pouvoir discriminant des critères

Il est souhaitable de sélectionner des critères ayant un pouvoir discriminant important sur les choix du client. Prenons l'exemple de la conception d'un véhicule qui doit pouvoir passer sous des ponts se situant à une hauteur x, hauteur normalisée dans la règlementation. Si le produit présente une hauteur supérieure à x, le client n'en voudra pas aux vues des complications que cela lui apporterait. Si le produit a une hauteur inférieure à x, le client devient alors indifférent à la valeur de cette hauteur. Dans ce cas, le paramètre « hauteur du véhicule », bien qu'il puisse influer fortement sur la satisfaction du client, ne doit pas être

considéré comme un critère de performance mais comme une contrainte de conception : la hauteur doit être inférieur à x.

Le cas du prix

Si on inclue le prix de vente dans les critères, la performance du produit n'est plus seulement un indicateur de la satisfaction du client, mais également de la compétitivité du produit sur le marché par rapport à ses concurrents directs. On peut également noter que le prix de vente est le seul critère qui sera commun à tout projet de développement, ce qui nous permet de nous appuyer dessus pour construire notre protocole expérimental.

Critères de performance et valeur pour le client

Afin d'éviter au maximum les interdépendances et les confusions, seuls les critères traduisant directement une valeur pour le client doivent être sélectionnés. Toujours dans le cas de la conception d'un véhicule, si l'on sélectionne, comme critères de performance, à la fois la puissance du moteur et le « 0-100 Km/h en secondes », une forte relation d'interdépendance viendrait perturber les résultats, bien que ces deux critères soit significatifs pour le client. Par conséquent, nous avons choisit de ne conserver que les critères les plus proches de l'utilisation faite par le client. Dans notre exemple, nous aurions sélectionné le « 0-100 Km/h en secondes » et la « vitesse maximum », par exemple, reléguant au rang de « choix de conception » les caractéristiques du moteur.

Prise en compte de l'innovation dans les critères de performance

La valeur pour le client, générée par chaque innovation du projet, doit pouvoir être évaluée à travers les critères de performance du produit. Ainsi, les apports de ces innovations seront directement évalués par rapport aux attentes du client. Prenons comme exemple un projet d'innovation sur un système d'injection qui permette de réduire la consommation d'un véhicule de x%. Pour évaluer la situation du projet de développement d'un véhicule intégrant les résultats de ce projet d'innovation, il sera alors indispensable d'inclure la consommation dans les critères de performance.

Critères de performance et image de marque

Nous avons choisi de ne pas inclure aux critères de performance les aspects liés à l'image de marque du produit (image de marque, côte de revente,…), et ce pour les raisons suivantes :

- Leur évolution n'est pas maîtrisable.

- La valeur de ces paramètres n'est pas liée au produit mis sur le marché mais aux précédents produits de l'entreprise. Par conséquent, les choix de conception du projet de développement n'auront aucune influence sur ces critères.

- Influencés par les autres critères de performance, ils seraient très difficiles à isoler psychologiquement lors des encodages.

- On peut considérer qu'ils sont déjà présents dans les évaluations subjectives des critères de performance.

Structure de la fonction d'utilité sur les performances

On peut raisonnablement estimer que le nombre de critères à utiliser pour décrire la performance d'un produit varie entre 10 et 20 dans l'industrie mécanique. Ce nombre dépend en effet de la complexité du produit et de la précision que l'on souhaite apporter à l'analyse. Nous avons vu dans le chapitre 2.1 que l'emploi de la forme multilinéaire pour une fonction d'utilité multi-attribut nécessite l'élicitation de 2^n-1 constantes d'échelle, n étant le nombre d'attributs. Dans le cas où nous avons 10 attributs pour notre fonction, nous devrions alors éliciter près d'un millier de constantes d'échelle par expert, ce qui n'est pas réalisable.

Pour conserver l'interdépendance entre les attributs dans la modélisation de la situation du projet, nous nous sommes donc tournés vers la forme multi-attributs multiplicative, dont nous rappelons ci-dessous la forme factorisée :

$$U(x) = \frac{1}{k}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[kk_i u_i(x_i)+1\right]-1\right]$$

La forme multiplicative de la fonction multi-attributs suppose l'indépendance mutuelle des attributs en utilité, comme l'explicite [Keeney & Raïffa, 1993, P.289]. La vérification de cette hypothèse, auprès des experts, nécessiterait à elle seule un minimum de 50 élicitations pour une dizaine d'attributs. Cette vérification, souhaitable dans le cas d'une application normative, n'est pas indispensable en vue d'une utilisation prescriptive des résultats. Afin d'éviter les biais liés à une charge cognitive[22] trop importante pour les experts, nous avons

[22] Risque que les experts se lassent face aux nombre de questions et répondent de façon incohérente.

donc choisi de ne pas effectuer cette vérification. Nous avons toutefois attaché une importance particulière à la non-redondance des critères. Pour ce faire, nous avons détecté et éliminé les interdépendances fonctionnelles, en regroupant les critères covariants du fait de contraintes de conception. Si l'on peut citer comme exemple celui de la puissance du moteur et de l'accélération d'un véhicule que nous citions plus haut, nous verrons dans la troisième partie, qui décrit le cadre expérimentale de la mise en application, un exemple concret de regroupement de critères de performance covariants.

Utilités partielles sur les critères de performance

Intégrer les valeurs de la concurrence aux informations dont dispose l'expert

Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe 1.2.2.2, la rationalité des décideurs dépend du contexte dans lequel ils font leurs choix. Ainsi, pour un critère de performance donné, la satisfaction du client dépend à la fois de sa valeur absolue, proposée par l'entreprise, mais également de sa comparaison relative avec les valeurs proposées par les entreprises concurrentes. Dans l'exemple d'un véhicule utilitaire, supposons que le client attende un volume minimum de stockage. Si le volume proposé par l'entreprise A est au-dessus de cette attente, on peut penser que l'utilité sera maximale pour le client. Mais si ce dernier ce rend compte, en étudiant les offres des concurrents, que ce volume, même suffisant, est le plus faible sur le marché, il déclassera alors sans doute l'offre A dans ses préférences par rapport à ce critère de performance.

Pour intégrer cet aspect dans nos élicitations, nous avons veillé à fournir à l'expert les valeurs proposés par tous les concurrents directs de l'entreprise, et ce pour chaque critère de performance sur lequel nous avons élicité une fonction d'utilité partielle. La veille technologique, permettant le recueil de ces données, est effectuée par le service marketing auprès duquel nous pouvons donc obtenir les informations nécessaires.

Critères qualitatifs et quantitatifs

Les attributs, paramètres de la fonction d'utilité prenant les valeurs des critères de performance, peuvent être qualitatifs ou quantitatifs, et c'est un des avantages de la théorie de l'utilité espérée que de pouvoir éliciter des fonctions d'utilité dans les deux cas. Nous avons ainsi distingué 4 types d'attributs :

- Les attributs **qualitatifs « purs », non-ordonnés** comme un Design ou un niveau de confort. Pour ces attributs, seule l'élicitation de l'utilité de chaque concept proposé permet d'obtenir une classification selon les préférences.

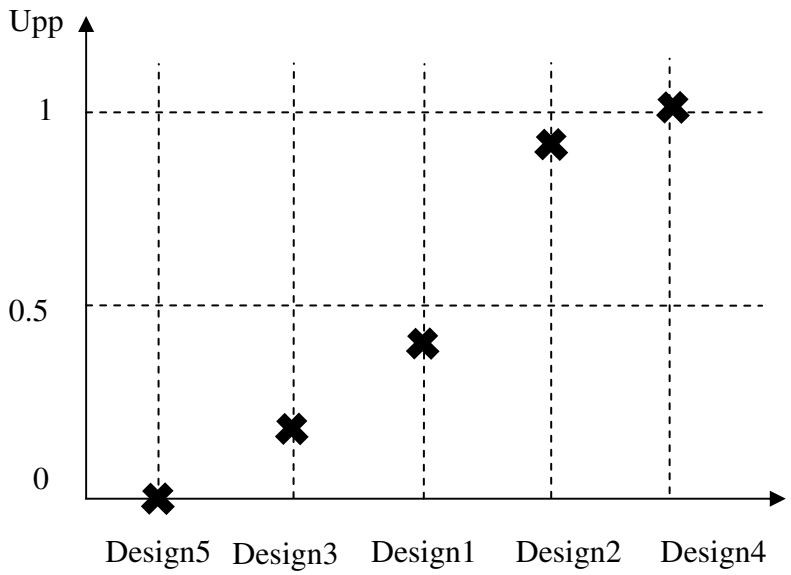


Figure 38 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut qualitatif "pur", non-ordonné

- Les attributs **qualitatifs ordonnés**, qui correspondent à des attributs quantitatifs que l'on refuse de quantifier. On peut citer l'exemple de la consommation, où si aucune mesure standardisée n'existe, l'échelle des valeurs de l'attribut sera du type : « Meilleure consommation du marché », « Consommation parmi les meilleurs du marché », « Consommation dans la moyenne », etc. Bien que les attributs soient de nature qualitative, on connaît par avance leur classification par ordre de préférence.

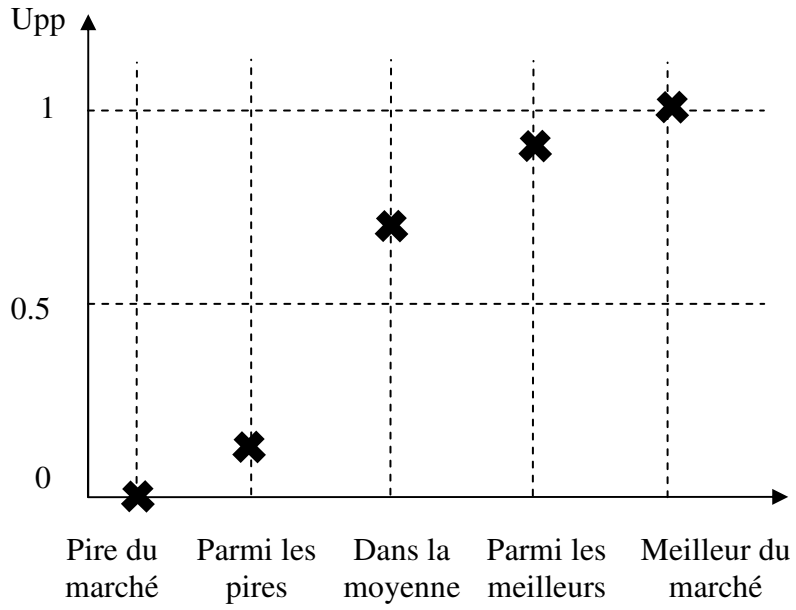


Figure 39 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut qualitatif "ordonné"

- Les attributs **quantitatifs ordonnés**. Cas de figure le plus courant en science de la décision, il s'agit d'une échelle de valeurs quantitatives sur laquelle l'utilité du décideur est monotone. Ainsi, les valeurs extrêmes correspondent aux valeurs que le décideur préfère le plus et le moins. C'est avec ce type d'attribut et uniquement celui-ci, comme le montre la figure ci-dessous, que nous pouvons nous permettre d'extrapoler une courbe modélisant la fonction d'utilité partielle.

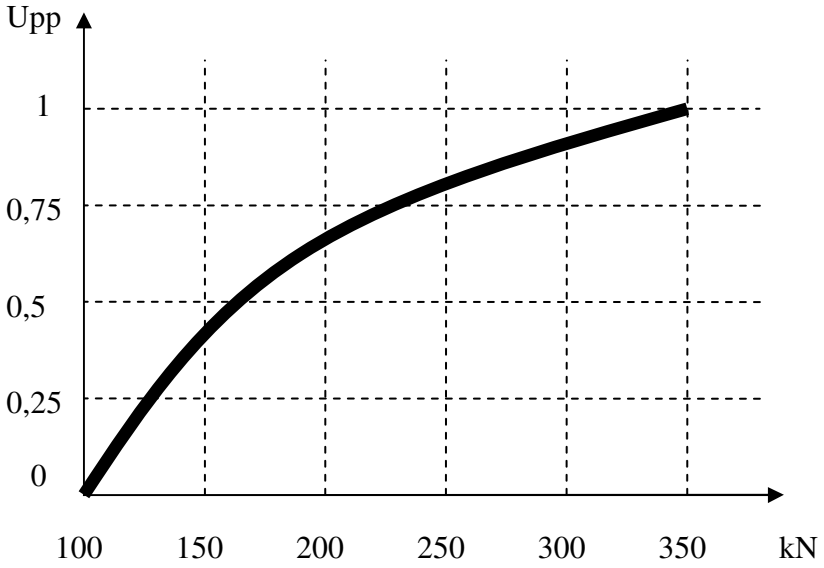


Figure 40 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut quantitatif "ordonné"

- Les attributs **quantitatifs non-ordonnés.** Il s'agit d'attributs dont les valeurs sont quantitatives mais pour lesquelles l'utilité du client ne varie pas de façon monotone. A titre d'illustration, nous pouvons évoquer la vitesse de déplacement de la souris sur un écran. Les attentes antagonistes en termes de rapidité et de précision font que l'utilité maximale sera atteinte pour une valeur intermédiaire. Une solution serait de considérer qu'il s'agit d'une fonction d'utilité multi-attributs dont les deux fonctions d'utilité partielles porteraient l'une sur la rapidité et l'autre sur la précision (Figure 41). On aurait ainsi deux courbes d'utilité partielles variant de façon monotone sur l'intervalle des valeurs proposées. Cette démarche, qui nous conduirait à un troisième niveau d'agrégation de la fonction d'utilité, s'inscrirait dans une description, toujours plus profonde, des attentes du client et de leurs explications. Pour ne pas complexifier d'avantage la modélisation et minimiser les durées des interviews, nous avons choisi d'éliciter ces attributs comme s'il s'agissait d'un attribut « qualitatif pur », laissant à la subjectivité du décideur le soin d'inclure dans ses réponses les motivations profondes de ses choix (Figure 42).

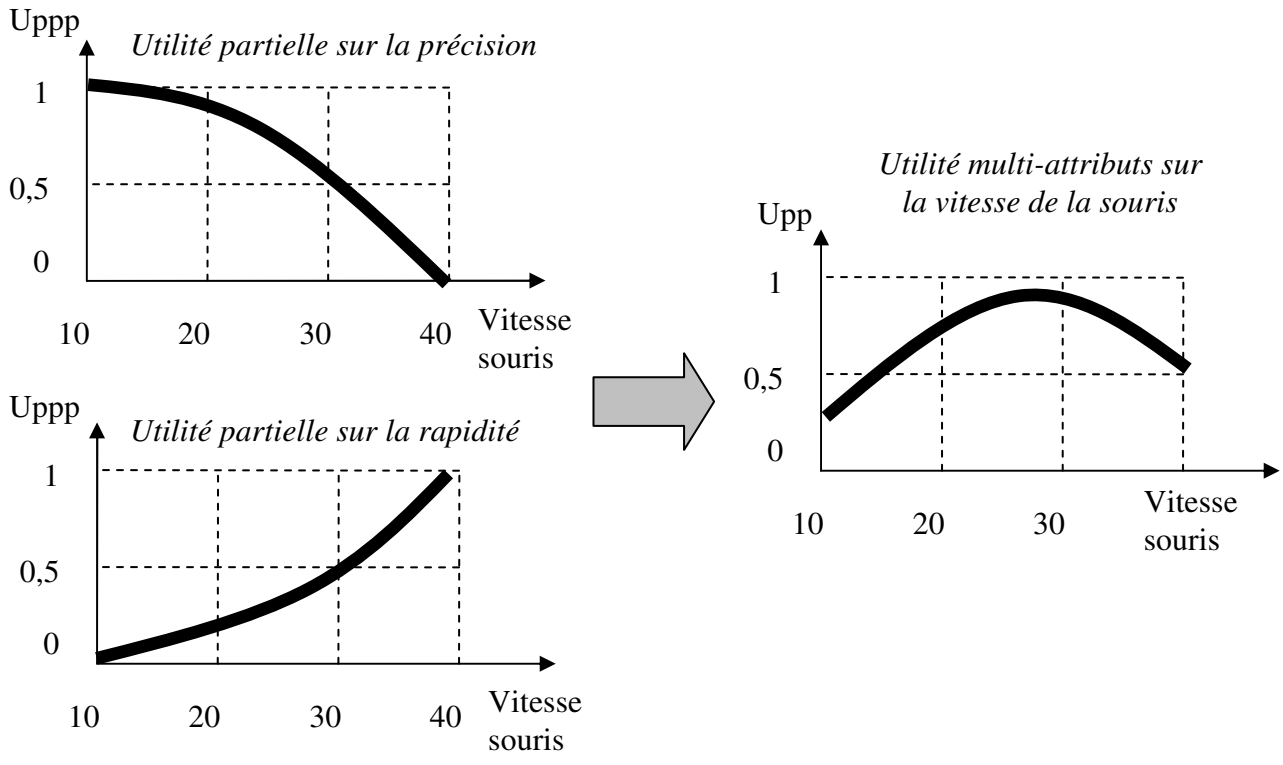


Figure 41 - Décomposition multi-attributs d'une fonction d'utilité partielle sur un critère de performance

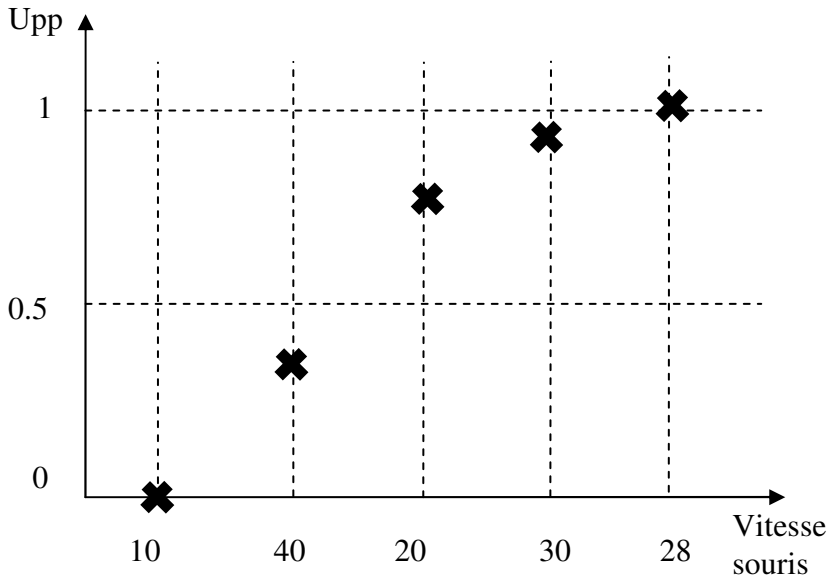


Figure 42 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut quantitatif "non-ordonné"

A noter que dans le cas de la Figure 41, la fonction d'utilité multiattribut aurait du être renormalisée par une transformation affine pour pouvoir être utilisé comme fonction d'utilité partielle sur les performances. On aurait alors fixé u(10) = 0 et u(28) = 1.

Délimiter des plages de valeurs sur lesquelles varient les attributs

Pour que les résultats des élicitations puissent être exploités de la façon la plus large possible, il est essentiel d'éliciter les fonctions d'utilité partielles de la performance sur des fourchettes de valeurs les plus larges possible. Ainsi :

- Pour les attributs qualitatifs, les valeurs extrêmes des échelles des attributs dépendent des préférences du client. Avant une interview, en concertation avec l'ensemble des experts, nous fixons donc la pire et la meilleure valeur au sens des préférences des clients, et leur attribuons respectivement une utilité normalisée de 0 et 1.

- Pour les attributs quantitatifs, nous avons sélectionné des échelles incluant toutes les valeurs des concurrents directes de l'entreprise au moment de la mise sur le marché du produit. La mise sur le marché pouvant avoir lieu, selon les produits, plusieurs années après le début du projet, nous avons donc extrapolé les courbes de progression des différents critères de performance des concurrents, afin de donner à nos échelles une plage de valeur suffisamment large.

On aurait pu être tenté, pour les attributs quantitatifs, de reprendre les fourchettes de valeurs imposées dans le cahier des charges marketing du projet. Cependant, cette fourchette étant déjà le résultat d'une évaluation des préférences du client, elle aurait faussé les données.

2.2.1.6 Justifier l'intervention de différents experts[23]

Etant donné que l'on se dirige vers le développement d'un outil permettant de récolter, à moindre frais, l'information présente dans l'entreprise, le choix des experts est une étape capitale. Si la littérature a des difficultés à s'accorder sur la définition d'un expert, elle permet cependant de nous donner des éléments de réponse. Ainsi, un expert est :

- Au cœur du réseau d'informations sur la problématique pour laquelle une estimation doit être donnée.

- Une personne d'expérience ayant développé une mémoire contextuelle.

Récapitulons donc, aux vues des exigences listées dans les chapitres précédents, les personnes que nous avons considérées comme expertes pour l'élicitation :

- des constantes d'échelle de l'utilité globale multilinéaire : la direction générale ou toute autre personne possédant une vision globale de l'ensemble des projets, de leurs interactions, ainsi qu'une connaissance précise de la stratégie de l'entreprise.

- de la fonction d'utilité partielle sur les délais : un responsable de la gestion des projets, ou toute autre personne ayant connaissance des enjeux reposants sur la date de mise en série des différents produits en cours de développement.

- de la fonction d'utilité partielle sur la rentabilité : responsable du contrôle de gestion ou toute autre personne étant à l'origine du calcul de rentabilité des différents projets de l'entreprise.

- de la fonction d'utilité multi-attributs multiplicative sur les performances : un ou plusieurs vendeurs, ayant une expérience de vente sur un produit similaire à celui qui est en cours de développement. Il est également envisageable de mener les élicitations auprès de membres du SAV, eux-mêmes en contact avec les clients. Pour des aspects techniques que seule une

[23] Le terme d'expert est généralement utilisé dans le cadre des encodages des probabilités. Dans ce mémoire, nous étendons l'usage du terme à l'élicitation des préférences.

grande expérience de l'utilisation du produit permet d'évaluer, il est possible d'interroger, toujours en interne, un démonstrateur, également en contact avec le client.

On compte donc 4 types d'experts différents qui ne communiquent pas entre eux à propos des estimations qu'ils ont données. Si cela n'est pas dérangeant dans la mesure où chaque expert est compétent dans son domaine, il faut être très vigilant lors de l'élicitation des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire. En effet, lors de cette élicitation, l'expert est amené à prendre des décisions décrites par des attributs dont les fonctions d'utilité partielles ont déjà été élicitées. Ainsi, l'expert doit faire confiance à ses prédécesseurs en se fiant uniquement à l'utilité que représentent les valeurs des attributs. Pour faciliter ce raisonnement, dans le logiciel que nous avons développé (Cf. chapitre 2.3), nous avons mis en évidence l'utilité relative aux valeurs des attributs que nous proposons. Ainsi, par exemple, lorsqu'un niveau de rentabilité en % est proposé lors de l'élicitation des constantes d'échelle, l'utilité partielle associée à ce niveau, élicitée dans une précédente interview, est communiquée visuellement à l'expert.

2.2.2 Méthodologies d'encodage des fonctions d'utilité

Après avoir exposé ce que nous attendons en termes de fonctions d'utilité, nous allons à présent expliquer le « comment », à travers les choix effectués sur les méthodologies d'élicitation retenues.

2.2.2.1 Elicitation des fonctions d'utilités partielles

Choix de la méthode d'élicitation

Nous avons retenu la méthode des **loteries équivalentes** (LE) (Cf. paragraphe 2.1.3.1) pour toutes les élicitations des fonctions d'utilité. Voici le cheminement des réflexions qui nous a conduits à ce choix.

Prise en compte des domaines de gain et de perte

Etant donnée la nature des attributs que nous avons déterminés, il aurait été naturel de tenir compte d'un domaine de gain et d'un domaine de perte, comme le fait la Prospect Theory (Cf. paragraphe 2.1.1.4). En effet :

- pour **les délais**, les domaines de gain et de perte se dessinent naturellement suivant que le projet est en avance ou en retard par rapport aux objectifs fixés en début de projet.

- pour **la rentabilité**, également, un point d'ancrage peut être défini. Il correspondrait au seuil où le bénéfice de l'entreprise est nul sur le projet. On délimiterait ainsi une zone de bénéfice et une zone de perte.

- pour **la performance,** de même, on pourrait considérer un niveau moyen de la concurrence par rapport auquel on se réfère pour chaque critère. Un leader sur le marché prendra sans doute moins de risques pour augmenter la valeur de ses performances que ne le ferait un challenger, qui pourrait engager plus de moyens pour se sortir d'une situation qui ne lui convient pas. La prise en compte de l'aversion au risque dans le domaine des gains et de la risquophilie dans le domaine des pertes permettrait de modéliser cette tendance.

Si l'emploi de la Prospect Theory permettrait de réduire les biais liés aux transformations des probabilités selon que l'on se trouve dans le domaine des gains ou des pertes, elle présente cependant de gros inconvénients :

- Dans le cas des performances, trouver un point d'ancrage par rapport aux valeurs de la concurrence s'avère extrêmement subjectif et difficilement conciliable avec la stratégie marketing. Le problème se complique encore d'avantage lorsque nous avons à faire avec un attribut qualitatif.

- Toujours dans le cas des performances, si la notion de domaine de gain et de perte est significative pour l'entreprise, elle ne l'est pas pour le client. Or c'est l'utilité du produit pour l'entreprise que nous voulons éliciter à travers les yeux du client.

- Dans tous les cas, la faisabilité des élicitations en serait fortement dégradée étant donné que 15 équivalences au minimum sont nécessaires par expert pour éliciter une fonction d'utilité partielle, d'après [Abdellaoui, Bleichrodt, Paraschiv, 2007]. Notre structure comportant environ 15 utilités partielles, si nous voulons prendre l'avis de 3 experts, en estimant à 5

minutes environ la convergence vers une équivalence, cela prendrait alors 60 heures d'interview par projet, en comptant le temps d'élicitation des constantes d'échelle. Sachant que notre outil se veut opérationnel et que les experts en entreprise sont une ressource très limitée, il est impensable d'employer cette méthode.

Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre 3.3 « Discussions ».

Minimiser les biais

La méthode des Trade-Offs (TO) et celle des loteries équivalentes (LE) (Cf. paragraphe 2.1.3.1) s'imposent alors comme étant les plus robustes par rapport aux biais induits par l'aversion aux pertes. Comme nous l'avons vu, la méthode TO a cependant l'avantage d'être plus robuste que LE par rapport aux biais induits par les transformations des probabilités. La méthode TO présente néanmoins l'inconvénient de ne pas être applicable à un critère qualitatif, ce qui n'est pas le cas de LE. En effet, dans la méthode TO, il s'agit de faire varier finement la valeur de l'attribut jusqu'à trouver l'équivalence entre les deux loteries proposées pour passer à l'étape suivante. Si ce procédé est possible avec un attribut « quantitatif ordonné », il devient inadapté pour du « qualitatif ordonné » et infaisable pour du « qualitatif pure » ou du « quantitatif non ordonné ». Employer la méthode des TO signifierait donc l'emploi d'au moins 2 méthodes différentes pour éliciter toutes les utilités partielles, ce qui induirait plus de biais que ceux induits par la méthode des LE. En effet, si la méthode LE permet de réduire les biais du chaînage et de l'équivalent certain (paradoxe d'Allais), son seul point faible est la transformation des probabilités effectuée par les experts lors des élicitations. Or [Munier, Abdellaoui, 1998] montrent que ces transformations de probabilité ont essentiellement 2 origines :

- Un fort degré d'incertitude sur les probabilités.

- Des différences importantes entre deux probabilités.

Les auteurs concluent alors que si l'on travail dans un domaine où les conséquences ne sont pas abyssales et les probabilités restent comprises entre 0.2 et 0.8, alors l'influence des transformations de probabilité est minimale.

Pour toutes ces raisons, nous retiendrons la méthode LE comme unique méthode pour les élicitations des fonctions d'utilité partielles et utiliserons des probabilités comprises entre 0.2 et 0.8 pour paramétrer les analyses.

Pour tester la robustesse de notre raisonnement, nous avons également décidé, sur un attribut, d'employer à la fois la méthode LE puis celle des TO afin de comparer les résultats. Les résultats de cette comparaison figurent dans le chapitre 3.2.

Concernant la variante (Cf. paragraphe 2.1.3.1) de la méthode LE, nous avons opté pour la seconde. En effet, si l'on traduit ces variantes dans le domaine de la conception, on obtient :

- Variante 1 : « Dans une situation où je suis sûr d'obtenir au moins la valeur x pour mon attribut (loterie2), je suis prêt à prendre un risque (loterie 1) pour avoir plus de chance d'atteindre la valeur idéale. »

- Variante 2 : « Dans une situation où je peux avoir au mieux la valeur x pour cet attribut (loterie 2), je suis prêt à prendre plus de risque pour espérer optenir la valeur idéale. »

Etant donné que la prise de risque est une démarche plus naturelle dans une situation inconfortable, le scénario de la variante 2 nous paraît le plus vraisemblable. Cette vraisemblance ayant une importance fondamentale dans la justesse des résultats obtenus, nous avons opté pour cette variante que nous rappelons sur la figure ci-dessous.



Figure 43 - Méthode LE retenue pour l'élicitation des fonctions d'utilité

Déroulement des interviews

Sans présenter ici un protocole expérimental précis, nous explicitons les aspects fondamentaux de la mise en pratique de notre outil. Nous présentons dans un premier temps les généralités à prendre en compte lors de toutes les élicitations ou encodages auprès des experts, puis apportons des précisions sur les élicitations des différentes utilités partielles.

Généralités

Pour minimiser les biais liés à la charge cognitive des experts, les interviews ne devaient pas excéder 2 heures. L'expert doit être dans les meilleures conditions possibles pour ne pas que le stress, la fatigue, etc. n'influencent ses réponses. Les situations de choix qui lui sont soumises doivent être présentées clairement, sans données parasites. Pour représenter une loterie probabilisée à plusieurs issues, la forme dite « du camembert » (Figure 44) est reconnue comme étant la plus explicite. En parallèle, les scénarios correspondant à ces situations doivent être exposées clairement, à l'orale de préférence. Il est alors nécessaire de s'assurer que l'expert a parfaitement compris le choix qui lui est proposé. Pour ce faire, une question « à blanc » peut être traitée en début d'interview sur un sujet sans enjeux, comme une destination de voyage, le prix d'un billet de train, etc.

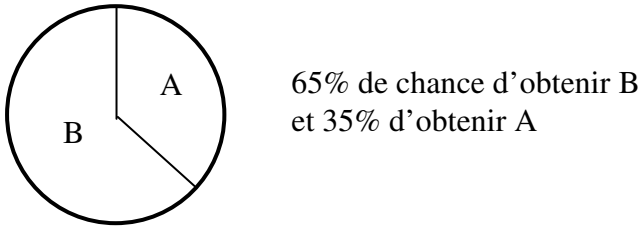


Figure 44 - Exemple de représentation sous forme de « camembert »

En début d'interview, il est également nécessaire de préciser à l'expert qu'il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses, que seuls ses choix, dûment pesés et effectués sans calculs, importent.

En fin d'interview, en remerciant les participants, il peut être intéressant de leur présenter des exemples d'application des résultats obtenus. A ce moment, il est également nécessaire de définir avec l'expert quelle est le domaine de validité des réponses qu'il vient de donner. Cela permet de :

- regrouper les évaluations de paramètres, communs à plusieurs projets, pour diminuer le nombre d'interviews.

- connaître la fréquence nécessaire de rafraîchissement des données.

Utilité partielle sur la rentabilité : précisions

L'indicateur de valeur est à définir avant l'interview (Cf. 2.2.1.4) avec l'expert. En début d'interview, on fixe avec lui les niveaux minimum et maximum, au sens des préférences, pour

cet indicateur. Les résultats obtenus lors des interviews peuvent devoir être validés par la direction financière.

Utilité partielle sur les délais : précisions

L'indicateur, également à définir avant l'interview, peut être une date, un nombre de semaines de retard, etc. (Cf. 2.2.1.3). En début d'interview, la forme de la fonction d'utilité partielle est à définir avec le(s) expert(s). On en déduit ensuite le nombre de points dont il faut éliciter l'utilité et leur signification précise. Une fois ces préparatifs effectués, l'élicitation à proprement dite de la fonction d'utilité partielle peut commencer.

Utilité partielle sur les critères de performance : précisions

Dans ce cas, en début d'interview, il est nécessaire de s'assurer que :

- L'expert a l'expérience suffisante pour considérer les valeurs des attributs avec les yeux d'un client.

- Les différents indicateurs sur lesquels on souhaite éliciter une fonction d'utilité partielle sont significatifs pour lui et qu'il est capable de traduire ces valeurs en conséquences réelles.

- L'expert se focalise uniquement sur le critère de performance concerné, oubliant tous les autres dans son jugement.

Dans le cas d'un Design, par exemple, il peut être opportun de montrer à l'expert des photos des différents Designs évoqués.

Dans le cas d'un attribut qualitatif « ordonné », on donne une utilité de 0 à la pire des conséquences (connue) et une utilité de 1 à la meilleure. On élicite ensuite une par une les utilités des conséquences dont on souhaite connaître l'utilité.

Pour un attribut qualitatif « pur » ou quantitatif « non-ordonné », il est nécessaire, dans un premier temps, en concertation avec l'ensemble des experts interrogés, de déterminer la meilleure et la pire des conséquences au sens des préférences du client. Ces bornes, nous le verrons dans le paragraphe 2.2.2.2, sont également nécessaires à l'élicitation des constantes d'échelle multiplicatives. Une fois cette étape réalisée, on se ramène à la procédure des attributs qualitatifs « ordonnés ».

Enfin, pour les attributs quantitatifs ordonnés, on élicite l'utilité de 3 valeurs intermédiaires. Ces points, ajoutés aux 2 extrêmes, forment un ensemble de 5 points à partir desquels on est capable d'extrapoler une courbe représentant la fonction d'utilité partielle sur l'ensemble des valeurs de l'attribut.

Pour obtenir des résultats significatifs, il est opportun d'éliciter ces fonctions auprès de plusieurs experts différents, puis de confronter les résultats, en groupe. Au cours de cette confrontation, un compromis argumenté est trouvé sur les valeurs litigieuses. (Cf. paragraphe 2.1.3.4.)

2.2.2.2 Elicitation des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multiplicative sur les performances

Pour la compréhension des équations figurant dans cette partie, le lecteur peut se référer à la partie « Notations et abréviations », rubrique « Utilité multi-attributs ».

Le concept de désutilité

Pour le calcul de l'utilité globale sur les performances, nous avons choisi d'employer le concept de désutilité. Nous allons donc le présenter rapidement à travers ses origines et ses apports, puis exposer la manière dont nous allons l'intégrer dans notre démarche.

Origines et apports du concept de désutilité

[Le Galès et al., 2001] mettent en application la théorie de l'utilité multi-attributs dans le domaine de la médecine. Ils modélisent l'état de santé d'un individu par une fonction multi-attributs multiplicative faisant intervenir 8 attributs. Ces attributs représentent alors la vue, la respiration, l'équilibre, etc. Au lieu de raisonner sur des utilités (u), les auteurs ont préféré parler de désutilité (û), définissant le concept avec l'équation suivante :

$$\hat{u} = 1 - u$$

Ils justifient ce choix par la simplification que cela apporte aux calculs dans les situations de mise en application. En effet, la fonction de désutilité multi-attributs multiplicative se factorise de la manière suivante[24] :

$$\hat{U} = \frac{1}{C}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[Cc_i\hat{u}_i(x_i)+1\right]-1\right]$$

Dans une situation réelle, quand un individu n'est pas en pleine santé, le cas le plus courant est qu'il ait un « manque » pour un des critères. Un aveugle, par exemple, peut avoir toutes ses facultés exceptée la vue. Si l'on prend l'attribut x_1 pour modéliser la faculté visuelle, on modélise l'état de santé d'un homme sain par :

$$(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$$

Et celui de l'aveugle par :

$$(x_1^0,...,x_i^*,...,x_n^*)$$

Ainsi, l'utilité de la situation de l'aveugle s'écrit :

$$U(aveugle) = \frac{1}{k}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[kk_iu_i(x_i)+1\right]-1\right] = \frac{1}{k}\left[\prod_{i=2}^{n}\left[kk_i+1\right]-1\right]$$

Quand à la désutilité de la situation, elle s'écrit :

$$\hat{U}(aveugle) = \frac{1}{C}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[Cc_i\hat{u}_i(x_i)+1\right]-1\right] = c_1$$

Il nous a paru opportun d'employer également le concept de désutilité étant donné que sur le marché, la performance d'un produit s'apparente beaucoup à un état de santé humain. En effet, rares sont les produits qui cumulent les plus faibles valeurs par rapport à leur concurrents direct ; ces produits sont vite éliminés par la loi du marché. On rencontre plus communément le cas de produits performants dans la majorité des domaines, mais qui

[24] A noter que les constantes d'échelle C, C1, …, Cn sont différentes des constante K, K1, …, Kn que l'on aurait trouvé dans le cas d'une fonction d'utilité multiplicative.

présentent une faiblesse sur un critère de performance, que ce soit un Design, le Prix, une vitesse, etc.

C'est donc par souci de vraisemblance par rapport aux situations réelles et de simplification des calculs, que nous adoptons ce concept pour la fonction multi-attributs sur les performances.

Principe d'intégration dans la fonction d'utilité globale

Si l'intégration du concept de désutilité dans une structure basée sur la notion d'utilité peut ne pas paraître évidente, elle se fait très simplement en pratique. Le schéma ci-dessous montre comment calculer une utilité globale à partir d'utilité partielles agrégées par une fonction de désutilité multi-attributs :

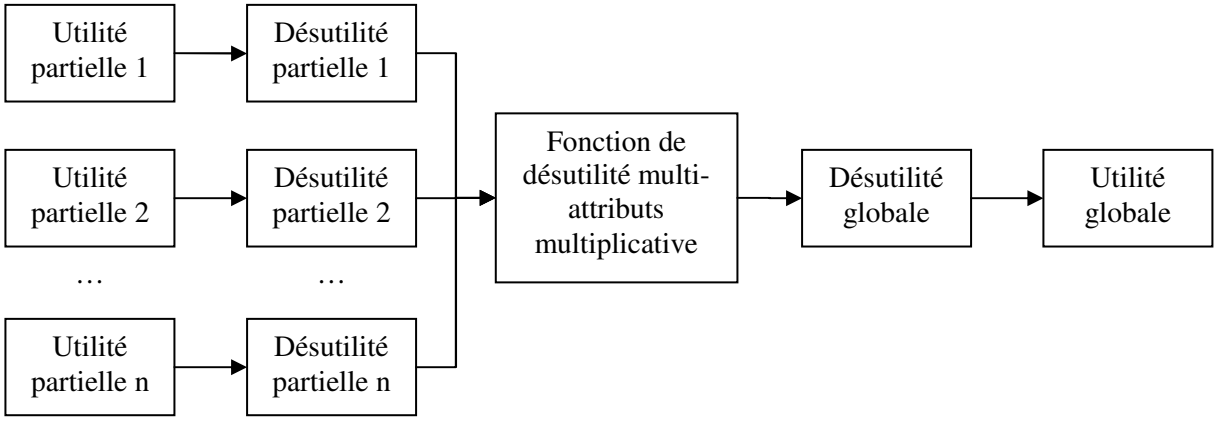


Figure 45 - Intégration du concept de désutilité dans notre structure

En traduisant par une équation ce schéma, on obtient :

$$U = 1 - \frac{1}{C}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[Cc_i\ (1-u_i(x_i))+1\right]-1\right]$$

Si les constantes d'échelle de la fonction de désutilité multi-attributs (C, C1, etc.) sont différentes des constantes d'échelle que l'on aurait trouvé dans le cas de l'utilité multi-attributs (K, K1, etc.), elles peuvent néanmoins être élicitées de la même manière. Ainsi, pour simplifier la compréhension de la suite de notre exposé, nous raisonnerons en termes d'utilité multi-attributs pour présenter la méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle.

Méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle

Après avoir brièvement exposé la méthodologie proposée par [Keeney & Raïffa, 1993], nous décrirons, en les justifiant, les choix que nous avons faits sur les paramétrages de l'élicitation.

Méthodologie proposée par Keeney et Raïffa

Rappelons que la fonction d'utilité multi-attributs multiplicative à n attributs peut s'écrire sous la forme :

$$U(x_1 \ldots x_n) = \frac{1}{k}\left[\prod_{i=1}^{n}\left(1 + kk_i u_i(x_i)\right) - 1\right]$$

Elle est normalisée avec l'équation de contrainte suivante, qui permet de faire en sorte que $U(x_1^* \ldots x_n^*) = 1$:

$$k = \left[\prod_{i=1}^{n}\left(1 + kk_i\right) - 1\right]$$

Pour trouver les constantes d'échelle (k, k1, etc.), Kenney et Raïffa (93) nous suggèrent de procéder de la manière suivante :

1) Déterminer l'attribut dont la constante d'échelle est la plus grande[25]. Notons-le x_1.

2) Etablir (n-1) équations entre les différentes constantes d'échelle en trouvant, pour tout i différent de 1, l'équivalence entre les 2 situations suivantes auprès d'un expert:

$$\forall i \neq 1, \exists x_1^i \text{ Tel que } (x_1^0, \ldots, x_i^*, \ldots, x_n^0) \approx (x_1^i, \ldots, x_i^0, \ldots, x_n^0)$$

En égalisant les utilités des deux situations, on peut alors écrire :

$$k_i = k_1 u_1(x_1^i)$$

[25] Ce qui n'est pas à confondre avec l'attribut le plus important, comme nous l'avons souligné dans le paragraphe 2.1.2.1.

3) Eliciter directement la valeur de k1 en trouvant p tel que l'expert soit équivalent entre les 2 situations suivantes :

$$(x_1^*,...,x_i^0,...,x_n^0) \quad \sim \quad \begin{cases} p & (x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*) \\ 1\text{-}p & (x_1^0,...,x_i^0,...,x_n^0) \end{cases}$$

On a alors directement :

$$k_1 = p$$

4) Calculer K en résolvant l'équation de contrainte :

$$k+1 = \prod_{i=1}^{n}(1+kk_i)$$

Si l'on enlève le cas k=0[26], il s'agit d'une équation polynomiale de degré (i-1) en k. Keeney et Raïffa démontrent alors qu'à cette équation correspond une unique solution à rechercher sur l'intervalle :

$$\begin{cases}]0;+\infty[\ si \ \sum_{i=1}^{n} k_i < 1 \\ ]-1;0[\ si \ \sum_{i=1}^{n} k_i > 1 \end{cases}$$

En pratique, il suffit donc de faire un test sur la somme des ki puis de chercher la valeur de k par dichotomie sur l'intervalle considéré.

Choix sur les paramétrages

« Une manière de traiter les déviations des décideurs par rapport à un modèle rationnel est de les éviter en construisant avec prudence le scénario d'encodage (stimuli) (Payne, 1999) ou en utilisant des procédures d'élicitations qui ne sont pas affectées par ces déviations. » [Bleichrodt, Pinto & Wakker, 2001, P. 1509]

[26] Cas correspondant à une fonction d'utilité multi-attributs additive

Pour adapter la méthodologie de Keeney&Raïffa à notre situation, nous considérons que la constante d'échelle la plus grande est celle relative à l'attribut représentant le prix du produit. Nous le justifions de la manière suivante :

- Le prix est le seul critère de performance qui sera commun à tous les produits développés par une entreprise, ce qui facilite la création d'un outil pouvant s'adapter à tout type de produit.

- En ajustant le prix maximum et le prix minimum, il sera toujours possible de faire en sorte que C1 soit la constante d'échelle la plus grande. En effet, nous rappelons que sa valeur croît en fonction de la largeur de l'intervalle sur lequel varie son attribut.

- En résonnant en termes de désutilité, les recherches d'équivalence de l'étape 2) de la méthode de Keeney et Raïffa donneront lieu à des scénarios du type : $(x_1^*,...,x_i^0,...,x_n^*) \sim (x_1^i,...,x_i^*,...,x_n^*)$. Ainsi, si x_1 représente le prix, la traduction de la situation dans le réel correspond à une négociation sur le prix : « Si vous payer le prix le plus bas, vous avez un produit dont l'un des critères de performance est le moins bon du marché, tous les autres étant au top. Combien êtes-vous alors prêts à payer en plus pour avoir un produit dont tous les critères de performance sont au top ? ». On obtient alors ce prix équivalent en proposant des choix binaires successifs convergents. Les experts répondant à ces interviews étant des vendeurs, les scénarios d'encodage deviennent alors parlants, ce qui favorise la rapidité et la justesse des élicitations réalisées.

Amélioration de la méthodologie d'élicitation

Toujours dans le souci d'améliorer la vraisemblance des scénarios d'élicitation proposés aux experts, nous avons modifié l'étape 3) de la méthodologie de Keeney et Raïffa en modifiant l'équivalence à éliciter. Nous rappelons cette équivalence ci-dessous :

$$(x_1^*,...,x_i^0,...,x_n^0) \quad \sim \quad \begin{array}{ll} \xrightarrow{p} & (x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*) \\ \xrightarrow{1-p} & (x_1^0,...,x_i^0,...,x_n^0) \end{array}$$

Si l'on traduit ce choix en intégrant le fait que X_1 représente le prix et en résonnant avec le concept de désutilité[27], on obtient : « Dans le premier cas, vous avez de façon certaine un produit cher, avec des caractéristiques de performance maximales. Dans le deuxième cas, vous avez soit un produit pas cher avec une performance maximale (1-p), soit un produit cher avec une performance médiocre (p). ». Or en situation réelle, la deuxième situation est improbable. En effet, lors d'un processus d'achat, le prix est généralement un paramètre certain.

Pour rendre le scénario vraisemblable, nous avons alors proposé l'équivalence suivante :

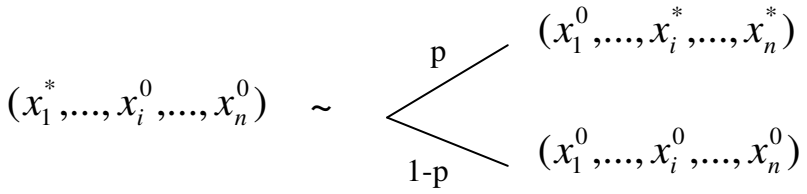
$$(x_1^*,...,x_i^0,...,x_n^0) \sim \begin{cases} p & (x_1^0,...,x_i^*,...,x_n^*) \\ 1\text{-}p & (x_1^0,...,x_i^0,...,x_n^0) \end{cases}$$

Le client a ici le choix entre un produit cher mais dont les caractéristiques de performances sont hautes, et une situation où il paie moins pour avoir les mêmes caractéristiques, avec un risque de se retrouver avec un produit dont la performance est médiocre. Le scénario pourrait alors correspondre à l'arrivé d'un nouveau concurrent sur le marché, qui proposerait un produit moins cher avec les même caractéristiques de performance (maximales). Etant donné que le client n'a pas d'expérience avec ce fournisseur, il estime qu'il a un risque (avec p % de chance), que la performance du produit ne corresponde pas avec ce qu'avait annoncé la publicité. Sous cette forme, le scénario est alors crédible et les experts seront prêts à y répondre.

Pour valider et utiliser cette équivalence dans le processus d'élicitation, nous avons alors établi le théorème suivant :

Théorème : Si le nombre d'attributs est supérieur à 2 et si l'expert préfère la situation $(x_1^0,..., x_i^*,..., x_n^*)$ à $(x_1^*,..., x_i^0,..., x_n^0)$[28], alors il est possible de trouver une solution unique, pour les constantes d'échelle multiplicatives, en remplaçant l'équivalence de la troisième étape de la méthodologie de Keeney&Raïffa par la suivante :

[27] Les conséquences maximales deviennent alors minimales et inversement.
[28] Si tel n'était pas le cas, il est possible de modifier le prix maximum et/ou minimum pour forcer cette préférence.



La démonstration mathématique de ce théorème a été faite et se trouve en annexe A. En effet, si la modification apportée à la méthodologie peut paraître faible, elle complexifie néanmoins beaucoup le système d'équation à résoudre.

Cette modification de la méthodologie a également fait l'objet d'une validation expérimentale dont nous présentons les résultats dans le chapitre 3.2.

Déroulement des interviews

Les généralités, listées dans le paragraphe2.2.2.1., sont également valables pour l'élicitation des constantes d'échelle multiplicatives.

D'un point de vue du séquencement des opérations, même s'il n'est pas obligatoire d'avoir les fonctions d'utilité partielles sur les performances avant l'élicitation des constantes d'échelle, il est néanmoins nécessaire de connaître :

- Les critères de performance et les attributs qui leur sont associés.

- Les valeurs minimum et maximum, au sens des préférences du client, pour chaque attribut.

- La fourchette de variation du prix, déterminée de façon à ce que :

    - X1 ait la constante d'échelle la plus élevée.
    - Le client préfère $(x_1^0,..., x_i^*,..., x_n^*)$ à $(x_1^*,..., x_i^0,..., x_n^0)$, c.à.d. qu'il préfère un produit de très bonne qualité avec le prix maximum, à un produit de très mauvaise qualité avec le prix minimum.

Nous avons choisi de réaliser ces interviews auprès de trois experts différents, pour chaque projet, puis d'organiser une réunion de concertation. Lors de cette réunion, les experts doivent trouver un compromis sur chaque valeur à travers une concertation argumentée. Les experts possèdent alors comme support un graphique comparatif de leurs résultats.

2.2.2.3 Elicitation des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multilinéaire globale

Méthodologie d'encodage et algorithmisation

Toujours dans leur œuvre référence de la MAUT, [Keeney & Raïffa, 1993] nous disent que l'élicitation des constantes d'échelle d'une fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire peut se faire dans le certain, c.à.d. sans proposer à l'expert de choix risqués. En effet, le principe est de déterminer des équivalences sur chaque « coin » de la fonction, c.à.d. sur toutes les combinaisons possibles maximum/minimum des attributs. Dans notre cas, pour 3 attributs, nous avons donc 2^3 (i.e. 8) coins auxquels il faut retrancher les deux situations dont l'utilité est normalisée et connue, à savoir (x_1^*, x_2^*, x_3^*) dont l'utilité vaut 1, et (x_1^0, x_2^0, x_3^0) dont l'utilité vaut 0. Ces 6 équations auxquelles on ajoute l'équation de contrainte permettent alors de déterminer les 7 constantes d'échelle de la fonction d'utilité multi-attributs dont nous rappelons ici la forme dans le cas n = 3 :

$$U = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_3(x_3) + k_{12} u_1(x_1) u_2(x_2) + k_{13} u_1(x_1) u_3(x_3) + k_{23} u_2(x_2) u_3(x_3) + k_{123} u_1(x_1) u_2(x_2) u_3(x_3)$$

Equation de contrainte :

$$k_1 + k_2 + k_3 + k_{12} + k_{13} + k_{23} + k_{123} = 1$$

La plupart des algorithmes à la base des logiciels d'élicitation, que nous détaillerons dans le chapitre 2.3, nécessitent un classement préalable des constantes d'échelle par l'expert afin de séquencer les élicitations. Nous avons donc défini un algorithme prenant en compte tous les cas de figures sur la grandeur des constantes d'échelle, permettant ainsi de ne pas demander à l'expert un tel classement en début d'analyse. On peut ainsi attribuer arbitrairement les attributs sur les délais, la rentabilité et les performances à x_1, x_2 et x_3, l'ordre n'ayant aucune importance.

Description de l'algorithme d'encodage

Une situation étant décrite par les valeurs des 3 attributs x_1, x_2 et x_3, nous utilisons 3 symboles pour la décrire. Les symboles sont :

- Un trait vertical pour désigner le niveau maximal, au sens des préférences, de l'attribut.

- Un tiret horizontal pour désigner le niveau minimal, au sens des préférences, de l'attribut.

- Une lettre pour désigner un niveau intermédiaire de la valeur de l'attribut.

Ainsi, par exemple, les symboles « II- » désignent la situation (x_1^*, x_2^*, x_3^0)

L'élicitation se déroule en 6 étapes, correspondant chacune à un « coin » de la fonction. Ces coins sont, dans l'ordre : I-- ; -I- ; --I ; II- ; -II ; I-I. Comme le résume le tableau ci-dessous, pour chaque étape, 0, 1 ou 2 choix préalables sont nécessaires pour déterminer quel type d'équivalence sera proposé à l'expert.

	1er Choix		2nd Choix		Equivalence*
1	I-- vs -I- A B	A	I-- vs II- C D	C	I-- = IIa
				D	I-- = aI-
		B			I-- = -a-
2	-I- vs --I A B	A	-I- vs -II C D	C	-I- = bII
				D	-I- = -bI
		B			-I- = --b
3	--I vs I-- A B	A	--I vs I-I C D	C	--I = IcI
				D	--I = I-c
		B			--I = c--
4	II- vs I-I A B	A			II- = IdI
		B	II- vs I-- C D	C	II- = I-d
				D	II- = d--
5	-II vs II- A B	A			-II = IIe
		B	-II vs -I- C D	C	-II = eI-
				D	-II = -e-
6	I-I vs -II A B	A			I-I = fII
		B	I-I vs --I C D	C	I-I = -fI
				D	I-I = --f

Tableau 7 - Résumé de l'algorithme d'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires

Prenons un exemple pour expliciter ce tableau. L'élicitation démarre avec l'étape 1 qui correspond à la première ligne. On demande alors à l'expert (1^{er} choix) s'il préfère (x_1^*, x_2^0, x_3^0) (A) ou (x_1^0, x_2^*, x_3^0) (B). Supposons qu'il réponde A. D'après le tableau, un second choix est alors nécessaire. On demande ainsi à l'expert s'il préfère (x_1^*, x_2^0, x_3^0) (C) ou (x_1^*, x_2^*, x_3^0) (D). Supposons qu'il réponde C. Il ne reste alors plus qu'à éliciter, par dichotomie, la valeur « a » de x_3 pour laquelle l'expert est indifférent entre (x_1^*, x_2^0, x_3^0) et (x_1^*, x_2^*, x_3^a). Ainsi, si pour chaque étape, 3 équivalences sont possibles, 1 seule est proposée

à l'expert. Ce sont les questions préalables (1er et 2nd choix) qui nous permettent de déterminer laquelle. Ces choix ont pour but de s'assurer que l'expert convergera bien vers une équivalence à chaque étape.

Remarque : Les cases jaune sur le tableau indiquent que les choix ne sont pas forcément nécessaires. En effet, si le choix A a été fait lors des 2 premières étapes, pour des raisons évidentes de cohérence, le premier choix de l'étape 3 sera nécessairement B, et inversement. Ce raisonnement est également valable pour l'étape 6. Les cases vertes indiquent quant à elles que les résultats des choix effectués dans les étapes 1, 2 et 3 peuvent être réutilisés dans les étapes 4, 5 et 6. Cependant, ces choix peuvent ne pas avoir été faits. Le logiciel que nous avons conçu à partir de cet algorithme (Cf. chapitre 2.3) tient compte de tous ces cas de figure.

Chaque équivalence nous donne donc une équation reliant les différentes constantes d'échelle. Dans notre exemple, l'équivalence obtenue à l'étape 1 nous permet d'écrire :

$$\begin{aligned} & U(x_1^*, x_2^0, x_3^0) = U(x_1^*, x_2^*, x_3^a) \\ \Leftrightarrow\ & k_1 = k_1 + k_2 + k_3 u_3\left(x_3^a\right) + k_{12} + k_{13} u_3\left(x_3^a\right) + k_{23} u_3\left(x_3^a\right) + k_{123} u_3\left(x_3^a\right) \end{aligned}$$

Les fonctions d'utilité partielles étant connues, on simplifie les notations en symbolisant par « a » la valeur de $u_3\left(x_3^a\right)$. On obtient donc l'équation suivante :

$$\begin{aligned} & k_1 = k_1 + k_2 + k_3 a + k_{12} + k_{13} a + k_{23} a + k_{123} a \\ \Leftrightarrow\ & k_2 + k_3 a + k_{12} + k_{13} a + k_{23} a + k_{123} a = 0 \end{aligned}$$

Déduction des constantes d'échelle

Concrètement, pour trouver les valeurs des constantes d'échelle partir des 7 équations générées, nous procédons de façon matricielle en résolvant l'équation suivante :

$$\begin{bmatrix} & & \\ & M & \\ & & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} k_1 \\ \dots \\ k_{123} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix}$$

Dans notre exemple, la première ligne de la matrice M serait $\begin{bmatrix} 0 & 1 & a & 1 & a & a & a \end{bmatrix}$. De façon générale, le tableau suivant récapitule les équations et les coefficients de la matrice M en fonction de l'équivalence trouvée auprès de l'expert. Notre exemple correspond toujours à la première ligne.

	Equation générée	Matrice d'équation M						
		k1	k2	k3	k12	k13	k23	k123
1	k1=k1+k2+ak3+k12+ak13+ak23+ak123	0	1	a	1	a	a	a
	k1=ak1+k2+aK12	a-1	1	0	a	0	0	0
	k1=ak2	-1	a	0	0	0	0	0
2	k2=bk1+k2+k3+bk12+bk13+k23+bk123	b	0	1	b	b	1	b
	k2=bk2+k3+bK23	0	b-1	1	0	0	b	0
	k2=bk3	0	-1	b	0	0	0	0
3	k3=k1+ck2+k3+ck12+k13+ck23+ck123	1	c	0	c	1	c	c
	k3=k1+ck3+cK13	1	0	c-1	0	c	0	0
	k3=ck1	c	0	-1	0	0	0	0
4	k1+k2+k12=k1+dk2+k3+dk12+k13+dk23+dk123	0	d-1	1	d-1	1	d	d
	k1+k2+k12=k1+dk3+dk13	0	-1	d	-1	d	0	0
	k1+k2+k12=dk1	d-1	-1	0	-1	0	0	0
5	k2+k3+k23=k1+k2+ek3+k12+ek13+ek23+ek123	1	0	e-1	1	e	e-1	e
	k2+k3+k23=ek1+k2+ek12	e	0	-1	e	0	-1	0
	k2+k3+k23=ek2	0	e-1	-1	0	0	-1	0
6	k1+k3+k13=fk1+k2+k3+fk12+fk13+k23+fk123	f-1	1	0	f	f-1	1	f
	k1+k3+k13=fk2+k3+fk23	-1	f	0	0	-1	f	0
	k1+k3+k13=fk3	-1	0	f-1	0	-1	0	0
7	k1+k2+k3+k12+k13+k23+k123=1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 8 - Tableau récapitulatif des équations générées par l'algorithme d'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires

Les constantes d'échelle se retrouvent alors dans la dernière colonne de la matrice M inversée:

$$\begin{bmatrix} k_1 \\ \dots \\ k_{123} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & M^{-1} & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix}$$

Déroulement des interviews

Les généralités du paragraphe 2.2.2.1 sont également valables pour l'élicitation des constantes d'échelle. Nous ajoutons cependant que :

- Comme nous l'avons sous-entendu dans la partie précédente, les 3 fonctions d'utilité partielles sur les délais, la rentabilité et la performance devront avoir été élicité préalablement.

- Pour les raisons que nous avons invoquées à la fin du paragraphe 2.2.1.6, les niveaux d'utilité des conséquences devront apparaître clairement à l'expert lorsque lui sera présentée une situation de choix.

- Avant l'interview, une explication détaillée de la signification des différents indicateurs doit être fournie à l'expert. Ainsi, dans le cas de l'utilité sur les performances, par exemple, il est indispensable de montrer à l'expert :

- Les critères de performances prix en compte

- La signification de l'utilité pour le client

- L'utilité sur les performances calculée sur des produits concurrents, afin de déduire de la valeur de l'utilité une notion de compétitivité sur le marché.

2.2.3 Probabilités : cibler et encoder

Une fois la fonction d'utilité élicitée dans son ensemble, les scénarios de risques et d'opportunités pourront être analysés durant toute la durée du projet. Pour ce faire, des probabilités devront être associées aux conséquences de ces scénarios afin de pouvoir calculer l'utilité espérée de chaque choix qui s'offre aux décideurs de l'entreprise.

2.2.3.1 Choix des experts

Au même titre que les experts retenus pour éliciter les fonctions d'utilité, ceux auprès de qui nous encoderons les probabilités devront :

- Avoir le maximum d'expérience, de connaissances et d'informations récentes sur la problématique.

- Avoir développé une « mémoire contextuelle ».

- Ne pas être personnellement engagés par la décision.

- Etre familier des notions de probabilités et de distributions de probabilités.

2.2.3.2 Méthodologie d'encodage

Dans le cas des probabilités sur des **évènements discrets**, il est également possible d'employer la méthode des loteries équivalentes. En effet, on propose à l'expert la situation illustrée par la figure ci-dessous : « Préférez-vous gagner 100 € si A se réalise et rien sinon, ou jouer à une loterie gratuite pour laquelle vous avez P% de chance de gagner 100€ ? ». En faisant alors varier P jusqu'à équivalence, on obtient la probabilité subjective de réalisation de l'évènement A, P_{eq}.

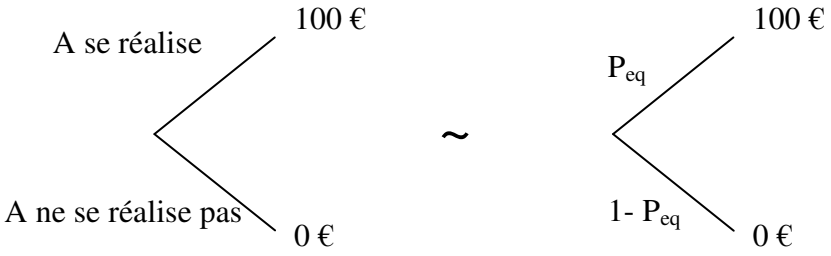


Figure 46 - Méthode LE retenue pour l'encodage des probabilités discrètes

Dans le cas des probabilités sur des **évènements continus**, les points de la fonction de répartition des probabilités, f, peuvent également se déterminer à l'aide de la méthode des loteries équivalentes. En effet, si l'on prend le cas d'une variable X, le point X_{10} correspondant à $f(X_{10}) = 10\%$, peut être obtenu en faisant varier X_{10} dans la situation suivante jusqu'à l'équivalence: « Préférez-vous gagner 100 € si X s'avère être inférieur à X_{10}, et rien sinon, ou jouer à une loterie gratuite pour laquelle vous avez 10% de chance de gagner 100€ ? »

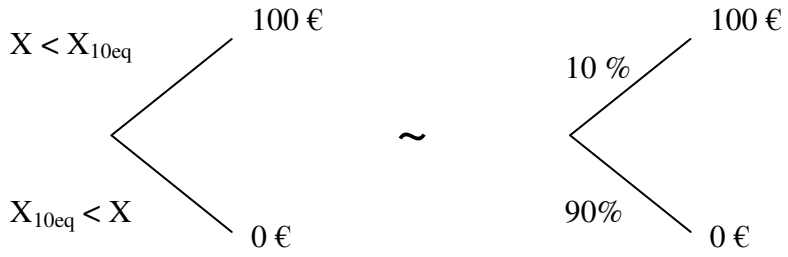


Figure 47 - Méthode LE retenue pour l'encodage des probabilités continues

2.2.4 Calcul de l'utilité globale d'une option dans un scénario risqué

Le critère de préférence qui nous permet de trancher entre 2 situations risquées est le critère de l'utilité espéré. Dans un contexte multi-attributs, on détermine l'espérance d'utilité sur l'ensemble des états de la nature possibles de la manière suivante :

Soient :

U = U(x1, x2, x3), une fonction d'utilité multi-attributs

S : l'ensemble des états de la nature possible

Alors $E(U) = \int_S U\left[x_1(S), x_2(S), x_3(S)\right] p(S) dS$

Conclusion du chapitre 2.2:

Tous les éléments méthodologiques décrits dans ce chapitre ont alors été inclus dans le « cahier des charges » d'un logiciel dont nous allons décrire la conception et le fonctionnement dans le chapitre 2.3

CHAPITRE 2.3 : METHODE EXPERIMENTALE : MISE EN ŒUVRE D'UN LOGICIEL

« Utiliser MAUT fréquemment implique de disposer d'un logiciel convivial aidant l'opérateur à définir les fonctions d'utilité pour chaque nouvelle décision. Les méthodes mises au point pour assister le décideur dans l'encodage des fonctions d'utilité sont ici d'une grande importance. » [Munier & Taverdet-Popiolek, 1998, P. 24]

Comme le souligne Bertrand Munier, un logiciel opérationnel permettant d'éliciter les fonctions d'utilité multi-attributs et de stocker leurs résultats est indispensable dans la démarche que nous proposons. Nous faisons donc dans ce chapitre une revue de littérature sur les logiciels existants, avant de proposer un nouvel outil, développé dans le cadre de cette thèse, permettant de répondre aux besoins formulés dans les chapitres précédents.

2.3.1 Logiciels d'élicitation de fonctions d'utilité multi-attributs existants

Avec la démocratisation de l'outil informatique, de nombreux logiciels d'application de la MAUT sont apparus à partir des années 80. On peut ainsi citer les contributions de : Jacquet-Lagreze et Siskos (1982) avec la méthode UTA (Utility Theory Additive) ; Forman, Saaty, Selly and Waldron (1983) avec le logiciel Expert Choice ; Jacquet-Lagreze (1984) avec PREFCALC ; Jacquet-Lagreze, Meziani, R. Slowinski (1987) ou encore Wakker (1995).

Nous ne nous sommes cependant intéressés qu'aux logiciels récents permettant l'élicitation des fonctions d'utilités multi-attributs. Nous avons ainsi sélectionné, dans le cadre de cette revue de littérature, 4 logiciels très différents dont nous allons analyser les forces et les faiblesses. Il s'agit de LDW, SERUM, ASSESS et MADE.

2.3.1.1 LDW

Le logiciel Logical Decision for Windows (LDW) est un logiciel complet et largement diffusé d'aide à la décision multi-attributs. Nous avons pu tester sa version 6.2 (2006).

Le logiciel LDW classe par ordre préférentiel les différents choix qui s'offrent à un décideur. Ces choix peuvent être évalués à travers différents critères, aussi bien qualitatifs que quantitatifs. Il est possible de structurer hiérarchiquement ces différents critères sur plusieurs niveaux d'agrégation, comme nous l'avons fait dans le cadre de cette thèse. Cette structuration est rapide et modifiable. Les méthodes d'évaluation proposées sont alors extrêmement variés, la théorie de l'utilité n'étant qu'une d'entre elles. LDW propose également une analyse de sensibilité, c.à.d. l'étude de la stabilité du résultat délivré si les paramètres du problème venaient à être modifiés.

Néanmoins, nous n'avons retenu LDW comme support de nos analyses pour les raisons suivantes :

- Etant donné que la structuration des attributs que nous proposons est fixe et se veut universelle pour tout projet de développement, l'adaptabilité de LDW n'est pas exploitable dans notre cas.

- Si le logiciel propose d'évaluer les différents attributs à l'aide de fonctions d'utilité, cela ne représente qu'une infime partie du logiciel. Par conséquent, les méthodes d'élicitations perdent en rigueur. On peut citer par exemple les fonctions d'utilité partielles modélisées à partir d'un point placé manuellement sur le graphique.

- Les interdépendances entre les critères ne sont possibles que 2 à 2 à partir d'une fonction d'utilité multi-attributs additive.

- Si les aspects modélisation de la situation, des choix possibles et l'analyse de la sensibilité sont intéressants, ils sont également présents dans les diagrammes d'influences. Nous verrons ainsi en 2.3.3 comment nous pourrons exploiter nos résultats à l'aide du logiciel DPL.

Nous allons à présent nous intéresser à des logiciels centrés sur l'élicitation des fonctions d'utilité multi-attributs dans le risque.

2.3.1.2 S.E.R.U.M. (2001)

S.E.R.U.M. signifie Système d'Estimation dans le Risque des Utilités Multi-attributs. Ce logiciel a été créé en 2001 par B. Munier (GRID), F. Beaudoin (EDF) et Y. Serquin (GRID/EDF) dans le cadre d'une collaboration entre le GRID et EDF. Basé sur la théorie de l'utilité à dépendance de rang (RDU), ce logiciel intègre donc la généralisation de la théorie de l'utilité multi-attributs (GeMAUT) en prenant en compte, dans les élicitations, les transformations de probabilités effectuées par le décideur.

L'élicitation de la fonction d'utilité multi-attributs sous SERUM se déroule donc en 5 temps :

- Paramétrage du logiciel : Renseignement des différents attributs, de leurs bornes de variations ; choix de la forme de la fonction d'utilité multi-attributs.

- Elicitation des fonctions de transformation des probabilités par la méthode des jumeaux.

- Elicitation des utilités partielles par la méthode des loteries équivalentes.

- Elicitation des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multi-attributs.

- Génération des résultats sous forme de graphiques pour les utilités partielles et la transformation des probabilités et communication de la valeur des différentes constantes d'échelle.

Détermination de la fonction de transformation des probabilités

Comme le montre la figure ci-dessous, la méthode des jumeaux, proposée dans le cadre de ce logiciel, demande à l'expert de donner sa préférence entre deux améliorations différentes.

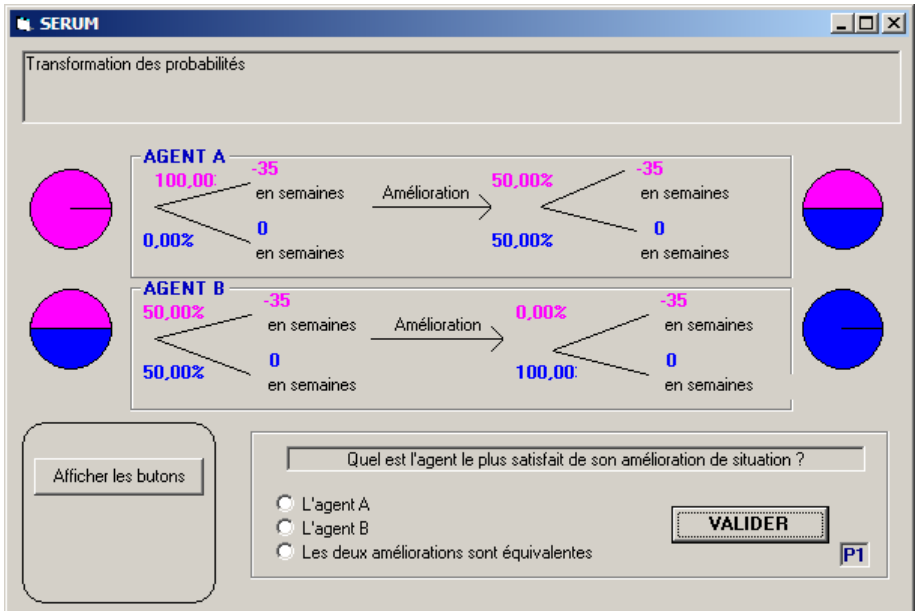


Figure 48 - Interface SERUM pour l'encodage des fonctions de transformation des probabilités

On note la représentation sous forme de « camembert » des probabilités, ainsi que l'explicitation de la question à laquelle doit répondre l'expert interrogé. Cela permet une meilleure compréhension de l'exercice pour l'expert, étant même indispensable dans le cas où il répond sans assistance au questionnaire.

Elicitation des utilités partielles

Comme le montre la Figure 49, la méthode des loteries équivalentes est utilisée pour éliciter successivement les différentes utilités partielles. On notera P et Q les probabilités les plus fortes des options respectives 1 et 2. Ces probabilités sont paramétrables en début d'interview.

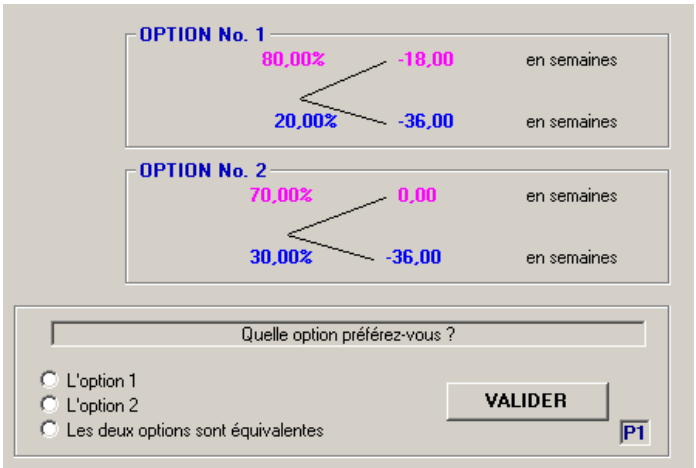


Figure 49 - Interface SERUM pour l'élicitation des fonctions d'utilité partielles

SERUM détermine 4 points de la fonction d'utilité (X, Y, Z, T) de la manière suivante :

Etape	Point déterminé	Equivalence
1	X	(X ; P ; X°) ~ (X* ; Q ; X°)
2	Y	(Y ; P ; X°) ~ (X ; Q ; X°)
3	Z	(Z ; P ; X) ~ (X* ; Q ; X)
4	T	(T ; P ; Z) ~ (X*; Q ; Z)

Tableau 9 - Méthodologie d'élicitation des fonctions d'utilités partielles sous SERUM

Pour chaque point, la valeur à déterminer est tout d'abord proposée « au milieu » de l'intervalle sur lequel elle peut varier, puis, par dichotomie sur les choix de l'expert, elle converge vers la valeur à l'équivalence. Le seuil de résolution en %, c.à.d. la précision avec laquelle est déterminée cette équivalence, est également paramétrable en début d'interview.

Elicitation des constantes d'échelle multi-attributs

Les méthodologies d'encodage, que nous ne pouvons décrire toutes ici, dépendent de la forme de la fonction multi-attributs choisie. Elles commencent cependant toutes par un classement des attributs par ordre d'importance. La figure ci-dessous illustre la méthode de l'équivalent certain employée par SERUM dans un contexte multi-attributs.

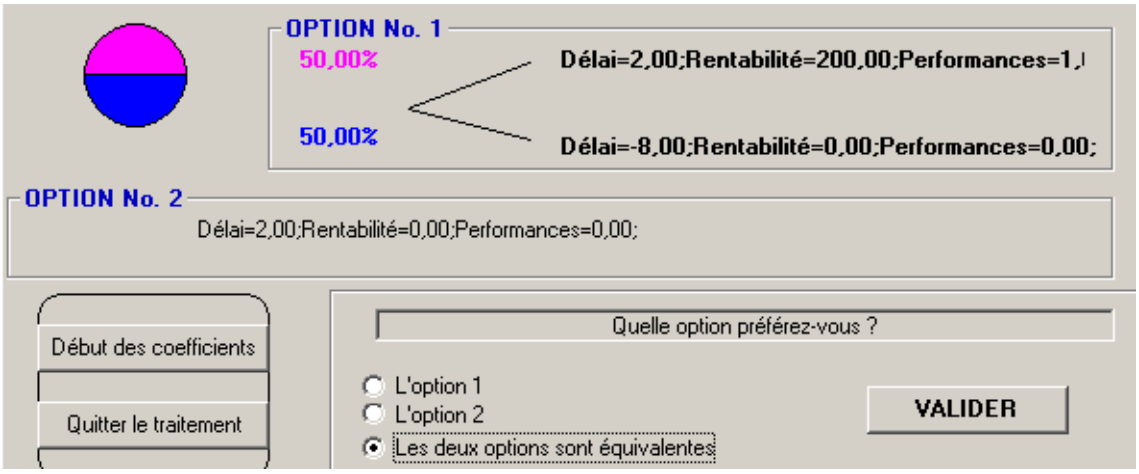


Figure 50 - Interface SERUM pour l'élicitation des constantes d'échelle

Génération des résultats

Une fois l'interview terminée, SERUM nous fournit les fonctions d'utilités partielles et de transformation des probabilités pour chaque attribut, ainsi que la valeur des différentes constantes d'échelle.

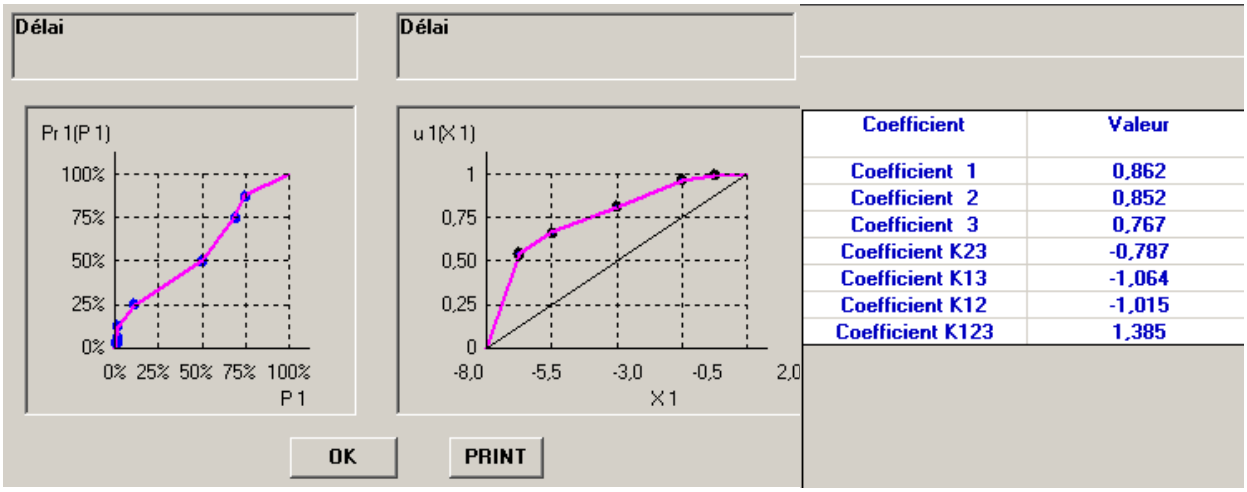


Figure 51 - Génération des résultats avec SERUM

Bilan sur SERUM

SERUM est un logiciel opérationnel, dont la base théorique sous-jacente à la méthodologie d'élicitation qu'il déploie est rigoureuse et avant-gardiste. Certains aspects de son interface, comme la représentation par « camembert » de la répartition des probabilités, sont intéressantes. Nous notons cependant certains aspects qui font que nous n'avons pas pu utiliser SERUM dans le cadre de cette thèse :

- Les fonctions d'utilités multi-attributs, quelque soit leur forme, sont limitées à 10 attributs.

- Le paramétrage des attributs se fait exclusivement de manière quantitative, ce qui implique de passer par une échelle de valeur pour un paramètre qualitatif.

- Le classement des attributs par ordre « d'importance » est difficile étant donné que les constantes d'échelle ne représentent pas forcément l'importance des attributs pour le décideur.

2.3.1.3 ASSESS (2003)

Ce logiciel d'élicitation des fonctions multi-attributs a été développé par P. Delquié en 2001. L'auteur le met d'ailleurs gratuitement à disposition sur son site Internet. ASSESS vient de l'anglais « assessment », qui signifie « élicitation » en français.

Comparaison avec SERUM

Contrairement à SERUM, ASSESS permet uniquement l'élicitation des constantes d'échelle multi-attributs sous une forme multiplicative, et ne tient par ailleurs pas compte de la transformation des probabilités effectuée par l'expert.

Par contre, le nombre d'attributs est illimité et ASSESS propose 4 méthodes différentes pour l'élicitation des fonctions d'utilités partielles (Cf. chapitre 2.1):
- Méthode des équivalents certains avec probabilité constante.
- Méthode des équivalents certains avec probabilité variable.
- Méthode des probabilités équivalentes.
- Méthodes des loteries équivalentes.

Description de l'interface d'ASSESS

Si la représentation des distributions de probabilités est moins claire que celle que propose SERUM (Figure 52), ASSESS présente une méthodologie intéressante de convergence vers l'équivalence. En effet, après une approche classique par dichotomie, ASSESS propose à l'expert de donner directement une valeur pour le paramètre recherché. Si l'intervalle des possibles, réduit par ses réponses précédentes, est indiqué à l'expert, celui-ci est toutefois libre d'indiquer une valeur en dehors de cet intervalle.

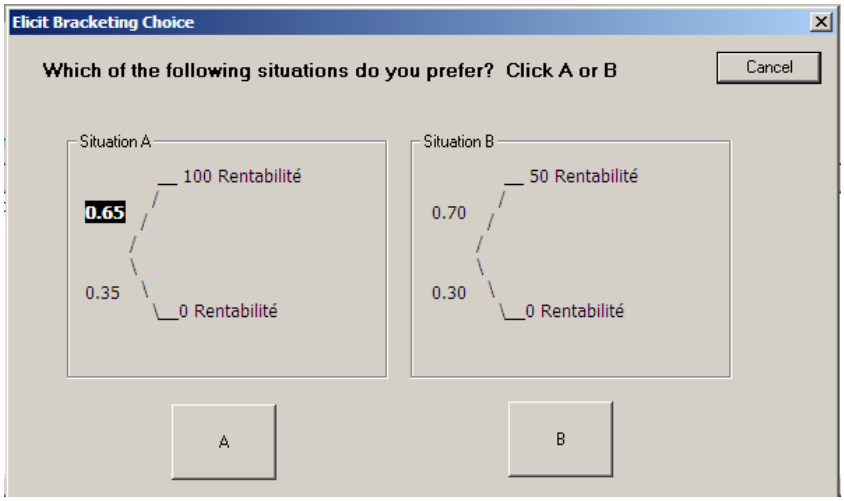


Figure 52 - Interface ASSESS pour l'élicitation des fonctions d'utilité partielles par la méthode des loteries équivalentes

Lors des élicitations des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multi-attributs multiplicative (Figure 53), on note également une interface moins parlante que celle proposée par SERUM pour la même étape.

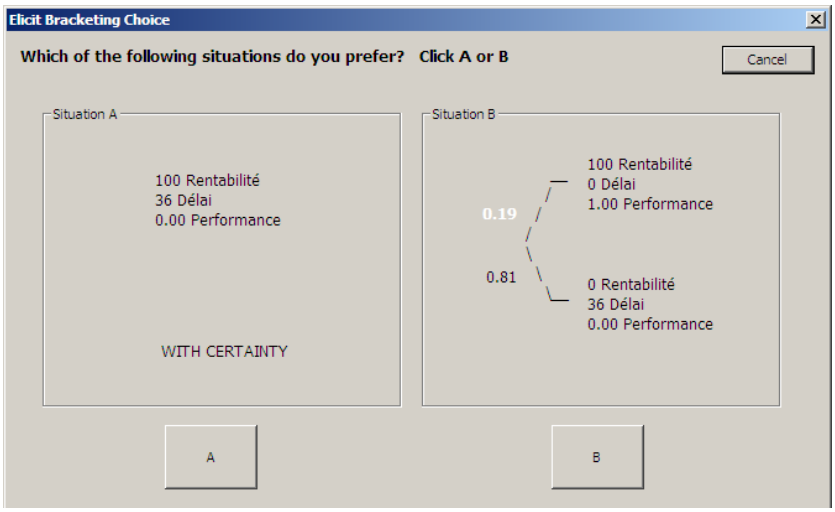


Figure 53 - Interface ASSESS pour l'élicitation des constantes d'échelle par la méthode des probabilités équivalentes

Bilan sur ASSESS

Bien que moins rigoureux que SERUM sur le plan théorique, ASSESS élargit le domaine d'application ne limitant pas le nombre d'attributs. Le prix de ce choix est de ne pouvoir proposer qu'une seule forme d'utilité multi-attributs pour modéliser les préférences. Ceci, combiné au fait qu'ASSESS présente les mêmes lacunes que SERUM pour les attributs qualitatifs, fait que nous n'avons pas utilisé ASSESS dans le cadre de notre thèse.

2.3.1.4 MADE (2007)

MADE signifie « Méthode d'Aide à la Décision avec Excel ». Comme son nom l'indique, ce logiciel a été programmé sous Excel en 2007 par M. Collardeau et F.Goncalves dans le cadre de leur mémoire de recherche du Master SDMR (Science de la Décision et Management des Risques) au GRID [Collardeau, Goncalves, 2007]. Ce projet avait pour but la mise en application de la théorie MAUT pour apporter une aide à la décision à une entreprise souhaitant investir dans un outil d'usinage à grande vitesse.

Les auteurs ont retenus pour ce projet :
- 1 fonction d'utilité multiplicative à 3 attributs pour décrire les préférences du décideur sur la situation.
- 2 choix possibles pour le décideur : investir ou ne pas investir.
- 1 paramètre incertain dans la description de la situation, paramètre sur lequel on élicite une distribution de probabilité.

L'analyse de la rentabilité de l'investissement se déroule donc en 4 temps avec MADE :
- Elicitation de la distribution de probabilité sur le paramètre incertain.
- Elicitation des fonctions d'utilité partielles sur les 3 attributs.
- Elicitation des constantes d'échelle.
- Calcul des utilités espérées de chaque option de choix.

Elicitation des croyances

Le paramètre incertain étant une variable du type «continue », MADE permet d'éliciter de manière « directe », c.à.d. en les demandant directement à l'expert, 5 points de la courbe de distribution de probabilité. On demande ainsi à l'expert : « Selon vous, quelle est la valeur X que vous pensez au moins obtenir avec 90% de chance ? »

Elicitation des fonctions d'utilités partielles

MADE utilise pour cela une méthodologie d'application de l'utilité à dépendance de rang, développée en 2007 par [Abdellaoui, Bleichrodt & Paraschiv, 2007]. Cette méthodologie étant ici exclusivement utilisée dans le domaine des gains, l'élicitation des fonctions d'utilités partielles ne nécessite que 6 équivalences : 2 du type « loteries équivalentes », 1 du type « probabilité équivalente » et 3 du type « équivalent certain ».

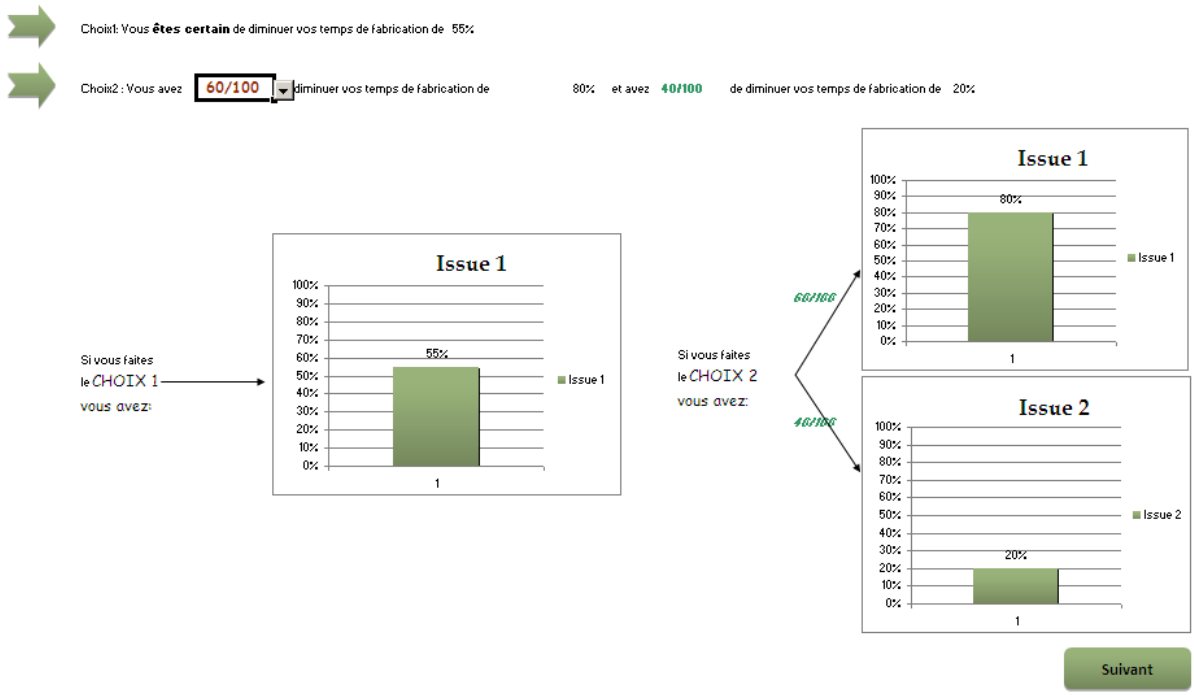


Figure 54 - Interface MADE pour l'élicitation des fonctions d'utilités partielles

Elicitation des constantes d'échelle

Pour éliciter les constantes d'échelle de la fonction d'utilité multi-attributs multiplicative, MADE utilise la méthodologie classique décrite dans [Keeney & Raïffa, 1993] (Chapitre 2.2). On peut en outre regretter, comme pour SERUM, que la méthodologie proposée par MADE implique un classement préalable des différents attributs selon la grandeur de leurs constantes d'échelle.

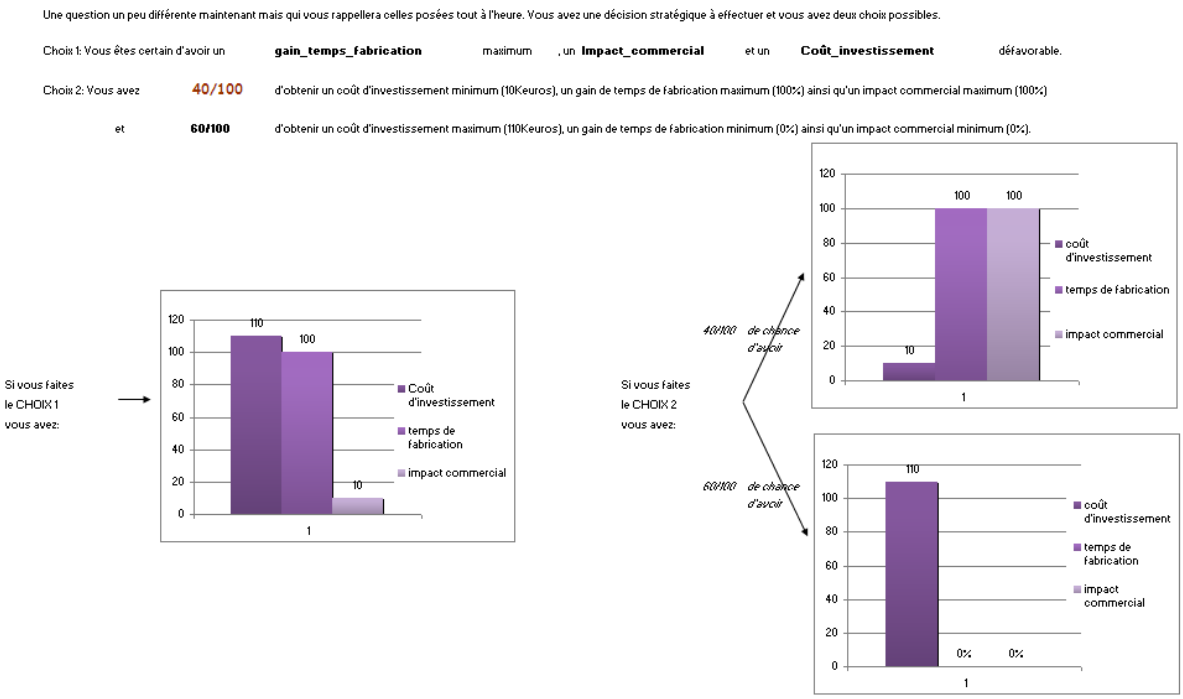


Figure 55 - Interface MADE pour l'élicitation de la constante d'échelle K2

A noter que MADE n'automatise pas, contrairement à SERUM et ASSESS, la recherche par dichotomie de l'équivalence en fonction des choix des experts. Cela s'explique par le temps très court qu'avaient les auteurs pour développer ce logiciel.

Calcul des utilités espérées

Une fois les étapes précédentes validées, MADE est capable de calculer l'utilité, pour l'investisseur potentiel, des 2 options qui s'offrent à lui, apportant ainsi concrètement une aide à la décision. Pour ce faire, MADE calcul l'utilité multi-attributs à partir des espérances en utilité des 3 attributs pour chaque option.

Bilan sur MADE

Le contexte dans lequel a été développé MADE n'a certes pas permis d'en faire un logiciel complet et convivial. Cependant, on note que :

- Le logiciel va jusqu'au bout de la démarche et fournit une réelle aide à la décision.

- La démarche peut être très intéressante d'un point de vue publicité/marketing : nous y reviendrons dans les discussions (Chapitre 3.3).

- L'interface présentant les niveaux des attributs sur un graphique est très intéressante et constitue un réel apport par rapport à SERUM et ASSES. Nous avons repris ce concept au maximum pour la conception de notre logiciel.

- Ce type de programmation, sur Excel, à la manière d'un prototypage, permet de :

- Rendre transparents les rouages de l'outil pour partager sa conception avant qu'elle ne soit définitive.

- Rester flexible et pouvoir modifier facilement un ou plusieurs aspect(s) du logiciel.

- Construire, pas à pas le logiciel au fur et à mesure des expériences rencontrées lors des tests.

Pour ces 3 dernières raisons, nous avons également choisi de développer expérimentalement notre logiciel, module après module, sous Excel. L'ambition finale est alors de n'avoir plus qu'un fichier pour réaliser toutes des étapes de la gestion des risques et des opportunités des projets. Le fichier ainsi créé sera alors encodable dans une application, et aura l'avantage d'avoir déjà été largement testé.

2.3.2 Description du logiciel développé : E.U.R.O.P.I.

E.U.R.O.P.I. est le nom que nous avons choisi pour désigner l'outil final que nous avons conçu. Cet acronyme signifie « Evaluation par l'Utilité des Risques et Opportunités des Projets Innovants ». Nous décrivons dans ce chapitre son fonctionnement. Nous n'avons pas jugé nécessaire d'exposer les étapes successives de son développement. Cependant, une vérification expérimentale du fonctionnement a été réalisée. Ses conclusions figurent dans le chapitre 3.2.

Sur le schéma ci-dessous sont représentées les différentes étapes à réaliser avec E.U.R.O.P.I. pour déterminer la fonction d'utilité globale du projet. La représentation comporte une séparation (trait en pointillé) : on trouve à gauche les étapes qui concernent la fonction d'utilité multiplicative sur les performances, et à droite celles qui permettent de trouver la fonction d'utilité multilinéaire globale. Les chiffres entourés correspondent au paragraphe du mode d'emploi dans lequel la réalisation de cette étape est explicitée.

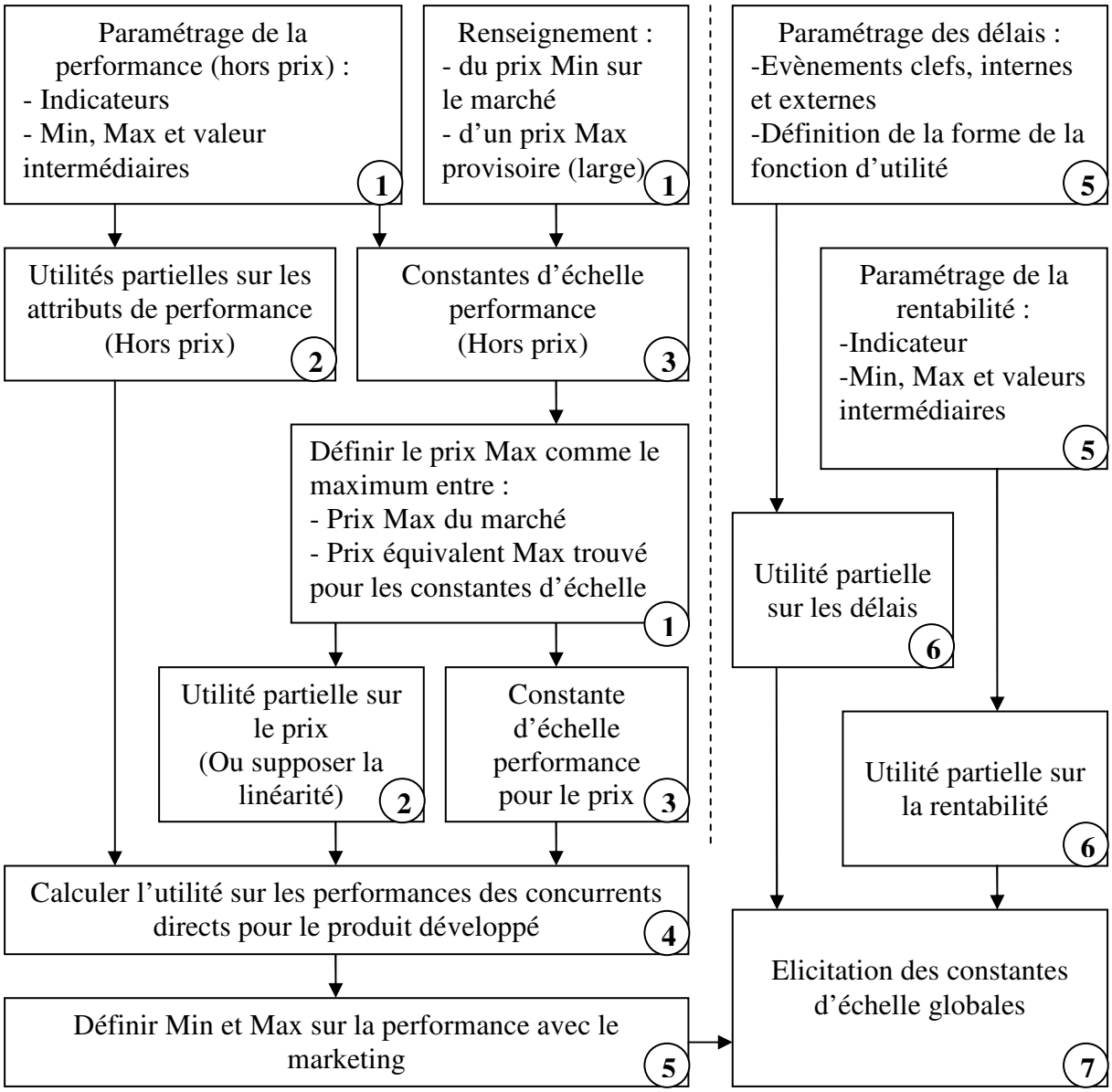


Figure 56 - Diagramme de séquençage pour l'utilisation d'E.U.R.O.P.I.

Les flèches ont une signification très importante : une étape A qui pointe sur une étape B signifie qu'il n'est pas possible de réaliser B avant d'avoir obtenu le résultat de A. En tenant compte de cette règle, tous les séquençages sont néanmoins possibles. Par exemple, l'utilité partielle sur les délais peut très bien être déterminée avec le paramétrage de la performance. Il faut également noter que nous n'avons représenté sur ce schéma que les tâches concernant l'utilisation du logiciel. D'autres tâches, non représentées, en découlent logiquement, comme :

- L'organisation des interviews, le choix des experts (Cf. chapitre 2.2)
- Le recensement des données de la concurrence pour paramétrer les indicateurs de performance,
- etc.

Nous allons à présent décrire le fonctionnement précis d'E.U.R.O.P.I., description illustrée faisant office de « mode d'emploi ». Ce mode d'emploi est relié au diagramme d'utilisation du logiciel ci-dessus par les numéros figurant sur le diagramme. On distingue ainsi les explications suivantes:

1) Paramétrage des indicateurs de performance
2) Elicitation des utilités partielles pour la performance
3) Elicitation des constantes d'échelle pour la performance
4) Calcul de l'utilité sur les performances
5) Paramétrage des indicateurs de la situation globale du projet
6) Elicitation des utilités partielles pour la situation globale du projet
7) Elicitation des constantes d'échelle pour la situation globale du projet

Remarques préliminaires

- Les cellules à renseigner par l'utilisateur sont celles de **couleur blanche**. Les autres ne doivent pas être modifiées pour le bon fonctionnement de l'outil.

- Il est important de respecter la largeur des cellules allouées pour les titres ou les valeurs, ceci afin de ne pas déformer les tableaux générés par la suite.

- Si les macros de fonctionnent pas, il est possible que votre niveau de sécurité dans Outils/Macros soit trop élevé.

- En cas d'erreur de manipulation, un message vous en donnera la cause.

- Le produit retenu à titre d'exemple est celui de la conception d'un nouveau modèle d'utilitaire, de type « Fourgon ». Pour évaluer la performance du produit, les critères suivants ont été retenus : le prix, la puissance, la consommation, le volume de chargement, la longueur de chargement, les rejets échappement, l'ergonomie d'ouverture, le confort, la qualité du réseau SAV, la sécurité, la fiabilité et le Design. Soit une fonction d'utilité à 13 attributs sur les performances.

1) Paramétrage des indicateurs de performance

Cette étape se déroule dans l'onglet « Echelles ». L'image ci-dessous représente une « échelle-attribut » qu'il faut renseigner pour chaque attribut de la fonction d'utilité multi-

attributs sur les performances. Il est possible de renseigner jusqu'à 20 échelles, c.à.d. de retenir jusqu'à 20 critères de performance.

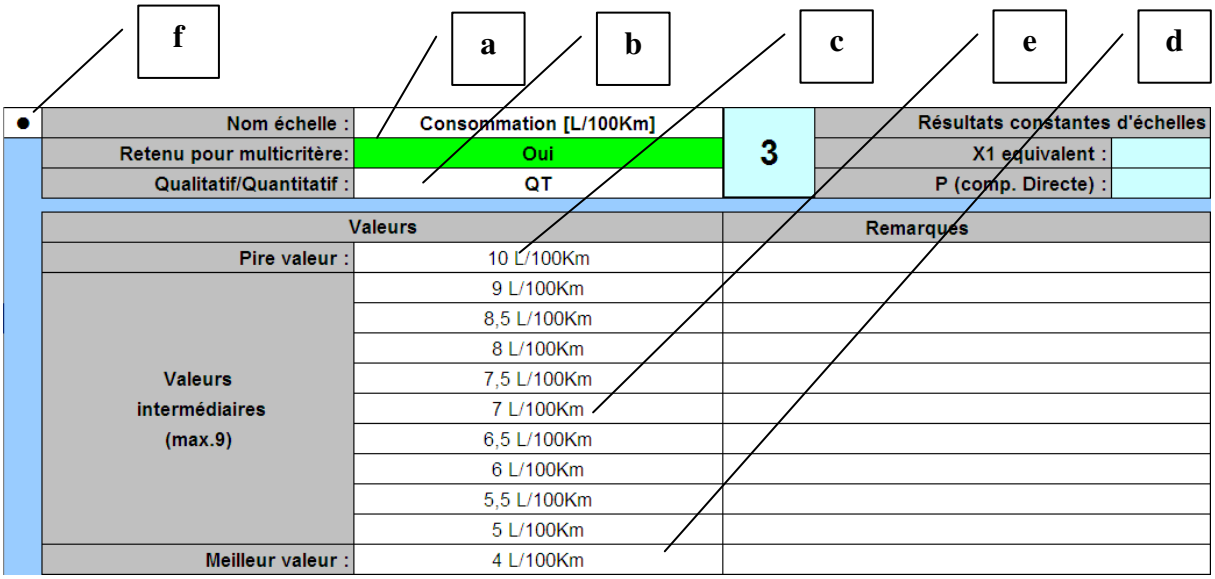


Figure 57 - Echelle à renseigner pour chaque attribut (E.U.R.O.P.I.)

Pour paramétrer une échelle, il faut :

- Indiquer le nom de l'attribut (Figure 57 - a) et si l'on souhaite le retenir dans la fonction d'utilité multi-attributs (oui/non). Ceci permet de préparer « en réserve » des échelles d'attributs même si l'on ne souhaite pas les intégrer pour le moment dans la fonction.

- Indiquer le type de d'attribut (Figure 57 - b) représenté par l'échelle : « QT » pour quantitatif et « QL » pour Qualitatif.

- Renseigner la pire (Figure 57 - c) et la meilleure (Figure 57 - d) des valeurs, **au sens des préférences**, ainsi que 9 valeurs intermédiaires (Figure 57 - e). Comme l'illustre notre exemple, dans le cas d'un attribut quantitatif, il est possible d'ajouter une unité à la valeur numérique, à condition que celle-ci soit séparée d'un espace. Il est par ailleurs nécessaire que toutes les 9 valeurs intermédiaires soient renseignées pour que les calculs puissent se faire.

- Dans la colonne « Remarques », il est possible de donner de courtes précisions sur les conséquences. Ces précisions seront disponibles dans la colonne « description », lors de l'élicitation de la fonction d'utilité partielle. Exemple de remarque : « Valeur du produit X du constructeur A ».

- Il est également possible, dans une zone réservée aux « Commentaires » située sous cette échelle, de préciser la signification précise de l'attribut et ce qu'il comprend.

A titre d'exemple, voici les commentaires laissés pour :

- la consommation [l/100Km] ; consommation en cycle mixte, c.à.d. urbain et semi-urbain.

- le confort ; sont compris dans le confort : l'accessibilité des points de maintenance régulière, le confort de l'habitacle et son ergonomie, ses couleurs, les textures et les aspects des finitions, les bruits et les odeurs en fonctionnement; le confort de conduite qui inclut le régulateur de vitesse, l'aide au démarrage en côte, etc.

2) Elicitation des utilités partielles pour la performance

Toujours dans l'onglet « Echelles » :

- Renseigner le cartouche de titre avec les noms des experts interrogés, la date de l'interview et le nom du projet concerné (Figure 58 - a)

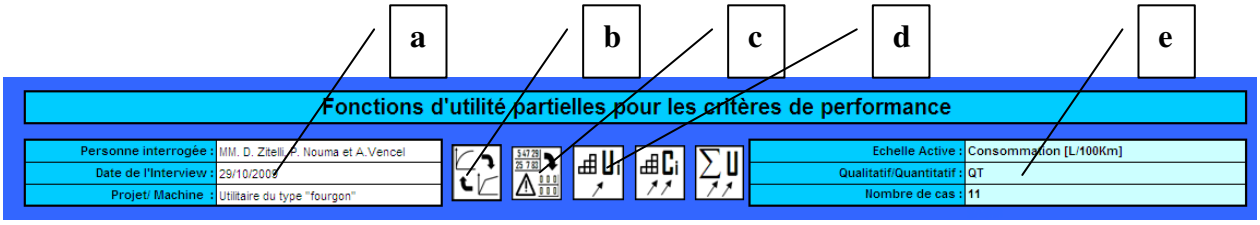


Figure 58 - Cartouche titre de l'onglet "Echelles" (E.U.R.O.P.I.)

Ensuite, pour chaque fonction d'utilité partielle à éliciter, il faut :

- Sélectionner une échelle en cliquant sur la case (Figure 57 - f) à gauche du nom de l'échelle correspondante. Le nom, le type et le nombre de cas de l'échelle ainsi activée s'affichent alors dans le cartouche titre (Figure 58 - e).

- On peut alors cliquer sur le bouton de remise à zéro des résultats (Figure 58 - c) pour effacer les résultats précédents, mais cela est optionnel.

- Cliquer sur le bouton « construire une fonction d'utilité partielle » (Figure 58 - d) pour lancer l'analyse : l'onglet « Choix » s'affiche alors avec la structure des loteries équivalentes.

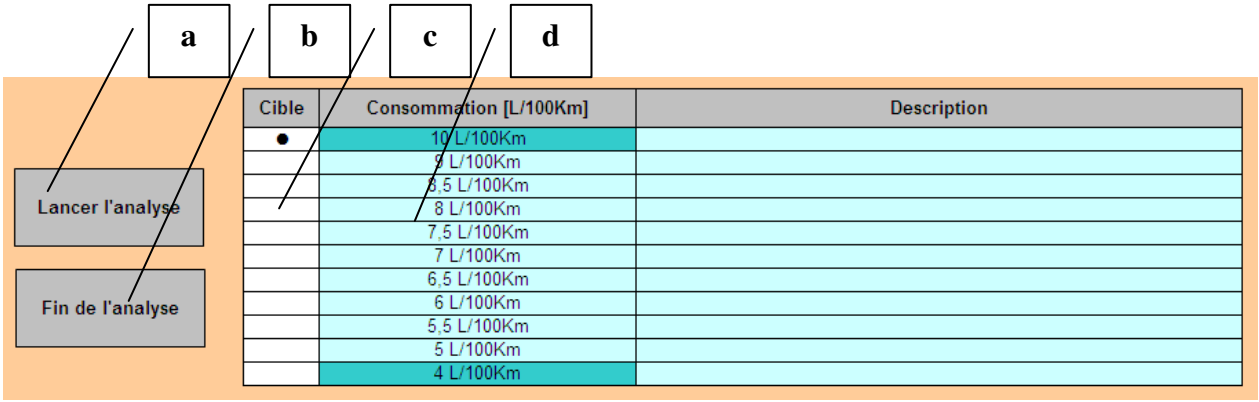


Figure 59 - Liste des conséquences pour l'élicitation des utilités partielles sur la performance (E.U.R.O.P.I.)

- Dans la colonne « Cible », cliquer alors en face de la conséquence dont on veut connaître l'utilité (Figure 59 - c). Un point noir se place alors automatiquement dans la cellule cible. Les conséquences pour lesquelles l'utilité est déjà connue s'affichent en bleu turquoise, de même pour les conséquences extrêmes (Figure 59).

- Cliquer alors sur le bouton « Lancer l'analyse » (Figure 59 - a).

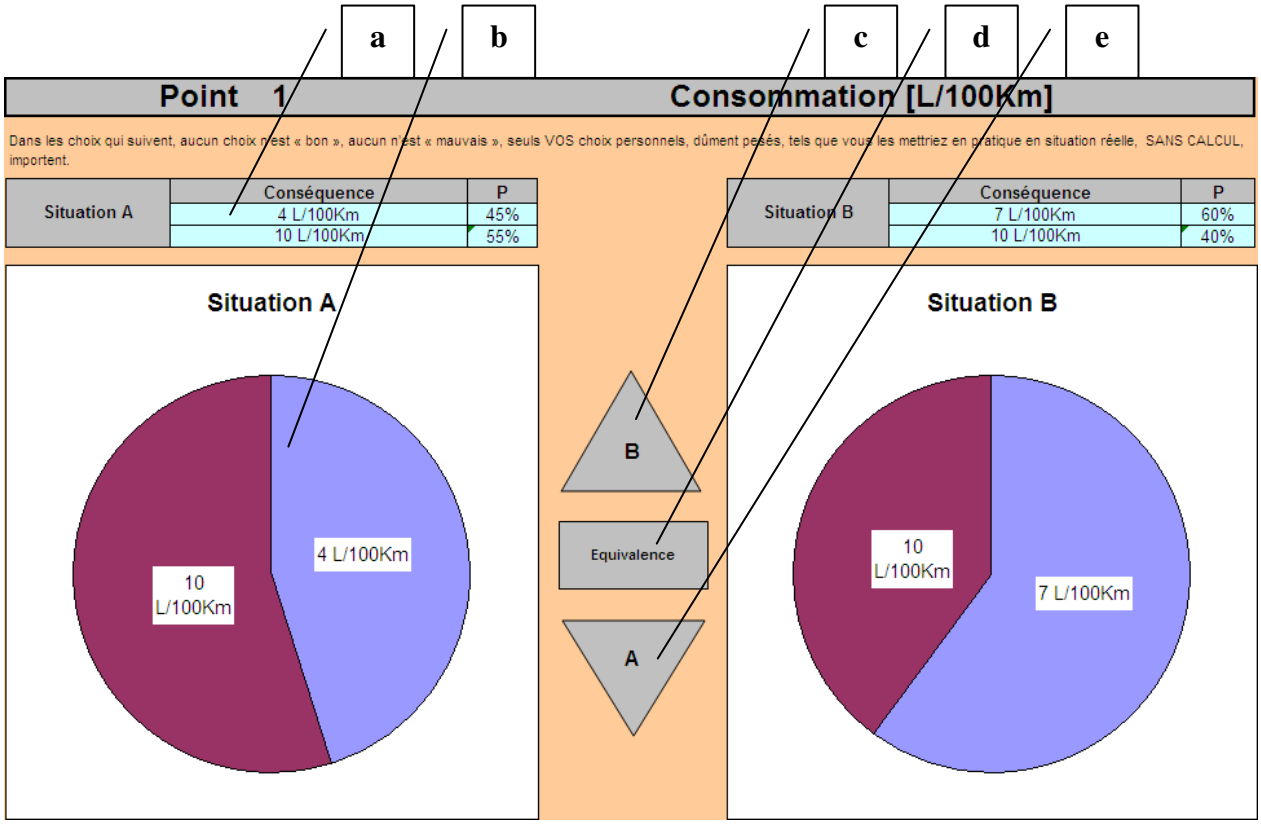


Figure 60 - Loteries pour l'élicitation des utilités partielles (E.U.R.O.P.I.)

- Exposer alors à l'expert la situation représentée par les loteries (Figure 60 - b). Pour cela, le cadre (Figure 60 - a) peut être utile. Dans l'exemple ci-dessous, on pourrait dire : « Dans la situation A, vous avez 45% de chance d'avoir un fourgon qui consomme 4 L/100Km (le mieux) et 55% de chance de consommer 10 L/100Km (le pire). Dans la situation B, vous avez 40% de chance d'avoir un véhicule qui consomme 10L/100Km (le pire), mais également 60% de chance de consommer 7 L/100Km. Dans quelle situation préfèreriez-vous être ? ». A noter que l'expert ne doit pas regarder les chiffres du cadre (Figure 60 - a) pour ne pas être tenté de faire son choix par calcul : il est alors possible de masquer ce cadre en réduisant la hauteur des cellules à 0.

- L'expert peut alors donner 3 réponses possibles : Situation A, Situation B, ou « les 2 options sont équivalentes pour moi ». Il faut alors cliquer respectivement sur « A » (Figure 60 - e), « B » (Figure 60 - c) ou « Equivalence » (Figure 60 - d). Les loteries sont alors modifiées et la procédure se répète jusqu'à équivalence.

- L'équivalence est atteinte lorsque les choix sont équivalents pour l'expert ou lorsque l'intervalle des possibles a atteint le seuil de résolution (fixé à 3% pour les probabilités). Un message « Fin de l'analyse de ce point » apparaît alors.

- Répéter la procédure autant de fois que souhaité mais il n'est pas nécessaire de trouver l'utilité de toutes les conséquences de la liste : 3 suffisent largement. Il est également possible d'éliciter l'utilité d'un point déjà traité si l'expert souhaite le refaire. Dans ce cas, un message d'alerte vous préviendra que les résultats seront écrasés.

- Cliquer ensuite sur « Fin de l'analyse » (Figure 59 - b) pour revenir sur l'onglet « Echelles ».

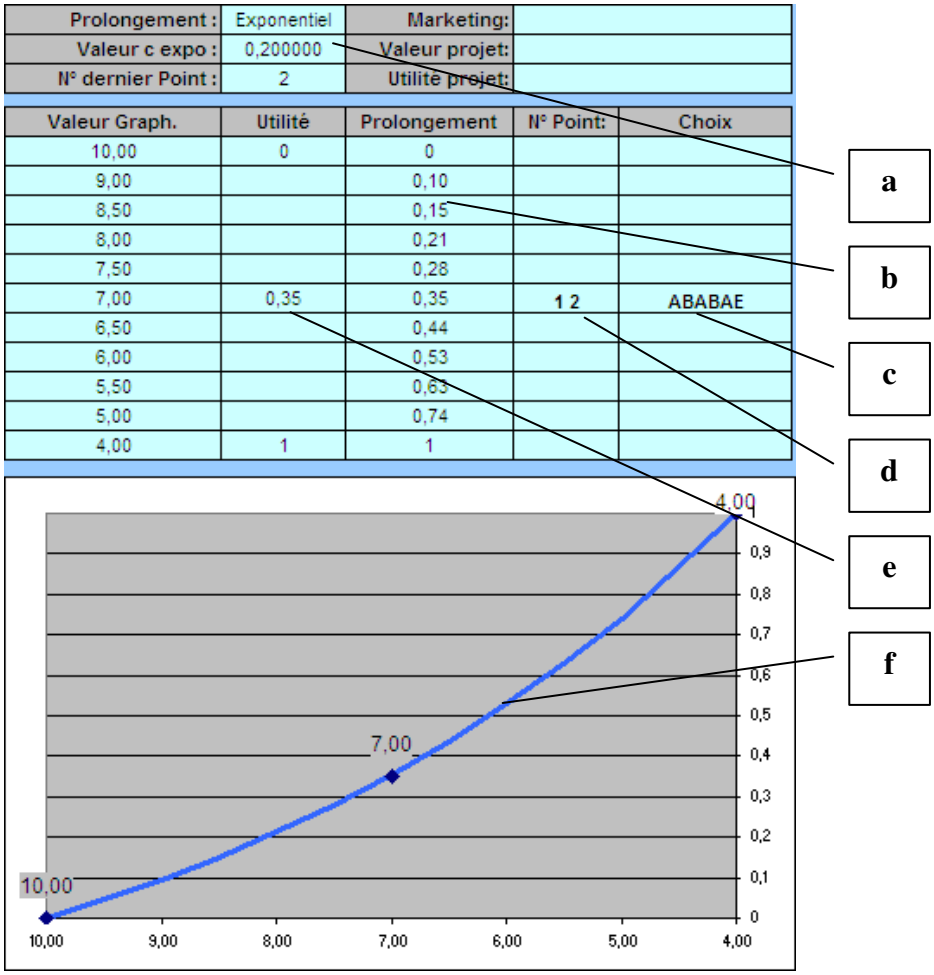


Figure 61 - Représentation de la fonction d'utilité partielle sur les performances (E.U.R.O.P.I.)

On constate alors que les utilités élicitées (une seule sur l'exemple ci-dessus) ont été reportées dans le tableau de droite (Figure 61 - e). Dans la colonne « N° Point » se trouvent le(s) numéro(s) des points qui ont été trouvés (Figure 61 - d). Cela permet de mémoriser l'ordre dans lequel ont été trouvées les utilités des différents points, et de savoir si certains ont du être « refaits ». Dans notre exemple, (Figure 61 - d), on voit que l'utilité de la valeur 7 a été trouvée pour les points 1 et 2, c.à.d. qu'elle a dû être refaite. Figure également dans le tableau la séquence des réponses données par l'expert qui a conduit à cette utilité (Figure 61 - c): « E » signifie Equivalence.

- Après s'être assuré que l'échelle concernée était bien active, (point noir à gauche du nom de l'échelle), cliquer sur le bouton « Traçage de la courbe » (Figure 58 - b). La colonne prolongement se remplie alors automatiquement (Figure 61 - b) et la courbe se trace (Figure 61 - f). Nous avons choisi 2 modes de modélisation de la fonction d'utilité :

- La forme linéaire, qui relie par des droites les différents points entre eux.

- La forme exponentielle, définie de la manière suivante si les points obtenus s'y prêtent :

$$Uth(X) = \frac{e^{-cX} - e^{-cX^\circ}}{e^{-cX^*} - e^{-cX^\circ}} \qquad \text{Avec C tel que} \quad \begin{cases} C \neq 0 \\ C \text{ minimise } \sum_{k=1}^{n} \left[Uth(Xk) - U(Xk)\right]^2 \end{cases}$$

Le type de modélisation retenu figure dans le cadre (Figure 61 - a). Dans le cas d'une modélisation exponentielle, on y trouve également la valeur de C, calculée automatiquement par dichotomie sur un intervalle choisi en fonction de la valeur des conséquences extrêmes. (Voir les explications à l'intérieur des macros pour plus de précisions).

- On passe d'un type de modélisation à l'autre en cliquant sur « Traçage de la courbe » (Figure 58 - b). La modélisation exponentielle ne peut cependant pas être réalisée si moins de 3 points (en comptant les valeurs extrêmes), ont été déterminés.

- Répéter à tout moment la procédure ci-dessus pour trouver un point supplémentaire de la fonction d'utilité partielle de n'importe quel attribut.

3) Elicitation des constantes d'échelle pour la performance

Dans l'onglet « Echelles » :

- Vérifier que tous les attributs retenus pour la fonction d'utilité multi-attributs ont bien été cochés à « Oui » dans la case correspondante (Figure 57 - a). Vérifier également, pour ces attributs, que les 2 valeurs extrêmes ont bien été renseignées.

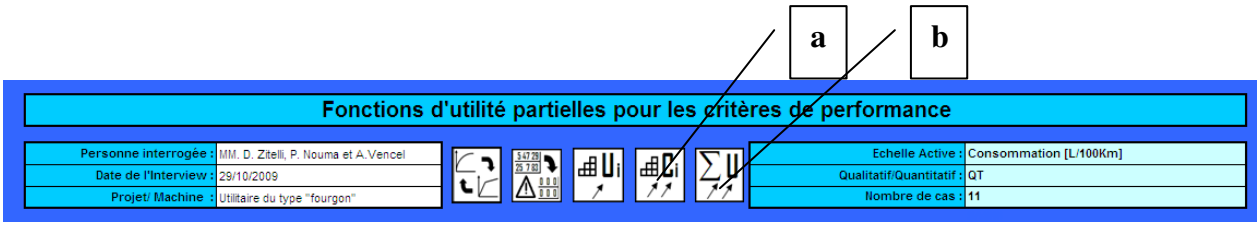
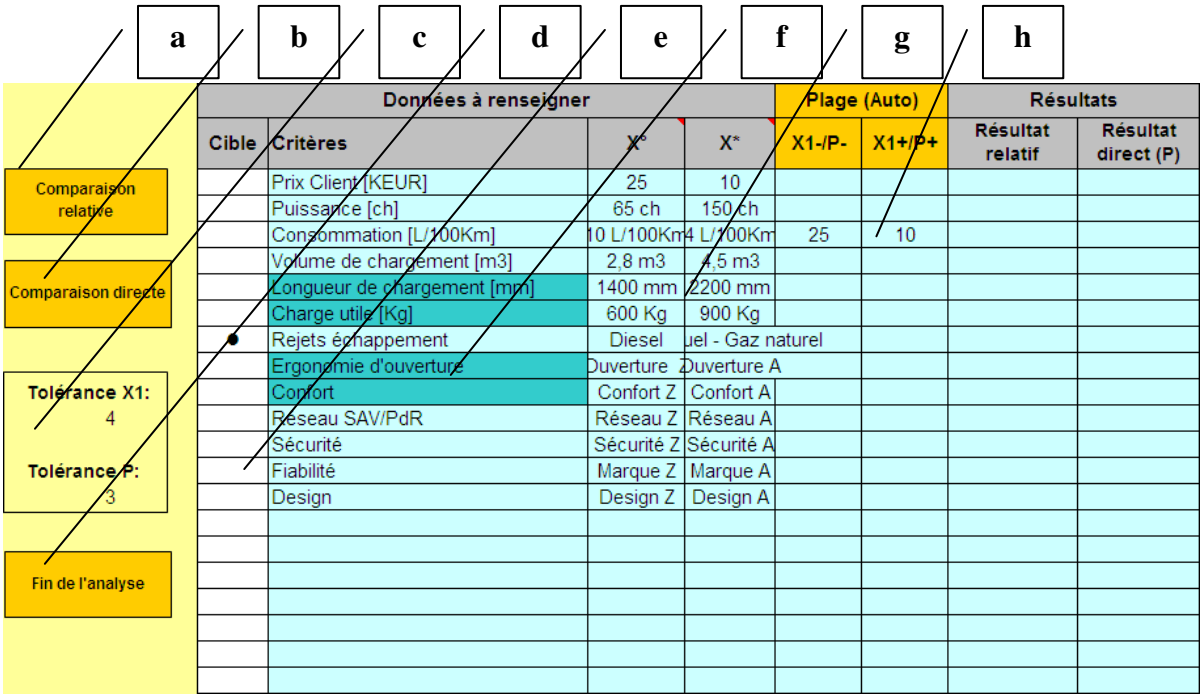


Figure 62 - Cartouche titre de l'onglet "Echelles" (E.U.R.O.P.I.)

- Cliquer alors sur le bouton « Elicitation des constantes d'échelle » (Figure 62 - a) : l'onglet « Constantes échelle » s'affiche alors à l'écran avec la liste des attributs et leurs valeurs extrêmes (Figure 63 - g). Les attributs surlignés en turquoise (Figure 63 - f) sont ceux pour lesquels une constante d'échelle a déjà été trouvée, ce qui n'empêche pas de la ré-éliciter.



	Données à renseigner			Plage (Auto)		Résultats	
Cible	Critères	X°	X*	X1-/P-	X1+/P+	Résultat relatif	Résultat direct (P)
	Prix Client [KEUR]	25	10				
	Puissance [ch]	65 ch	150 ch				
	Consommation [L/100Km]	10 L/100Km	4 L/100Km	25	10		
	Volume de chargement [m3]	2,8 m3	4,5 m3				
	Longueur de chargement [mm]	1400 mm	2200 mm				
	Charge utile [Kg]	600 Kg	900 Kg				
	Rejets échappement	Diesel	uel - Gaz naturel				
	Ergonomie d'ouverture	Ouverture	Ouverture A				
	Confort	Confort Z	Confort A				
	Réseau SAV/PdR	Réseau Z	Réseau A				
	Sécurité	Sécurité Z	Sécurité A				
	Fiabilité	Marque Z	Marque A				
	Design	Design Z	Design A				

Figure 63 - Liste attributs pour l'élicitation des constantes d'échelle sur la performance (E.U.R.O.P.I.)

Il est nécessaire de calculer la constante d'échelle pour tous les attributs. Pour ce faire :

- Cliquer dans la colonne cible (Figure 63 - e), à gauche de l'attribut dont vous voulez éliciter la constante d'échelle.

- Si l'attribut cible est le prix, cliquer alors sur « Comparaison directe » (Figure 63 - b) pour lancer l'élicitation. Sinon, cliquer sur « Comparaison relative » (Figure 63 - a). S'offre alors à l'expert une situation de choix dans laquelle chaque graphique (Figure 64 - e) représente une configuration du produit : le prix est représenté en violet et tous les autres attributs sont

représentés en bleu. Pour ces derniers, une barre pleine signifie que la valeur de l'attribut est la meilleure (au sens des préférences), alors que l'absence de barre bleue signifie qu'elle est la pire. Dans le cas de l'élicitation de la constante d'échelle du prix, le risque de la situation B est représenté par une loterie (Figure 64 - d).

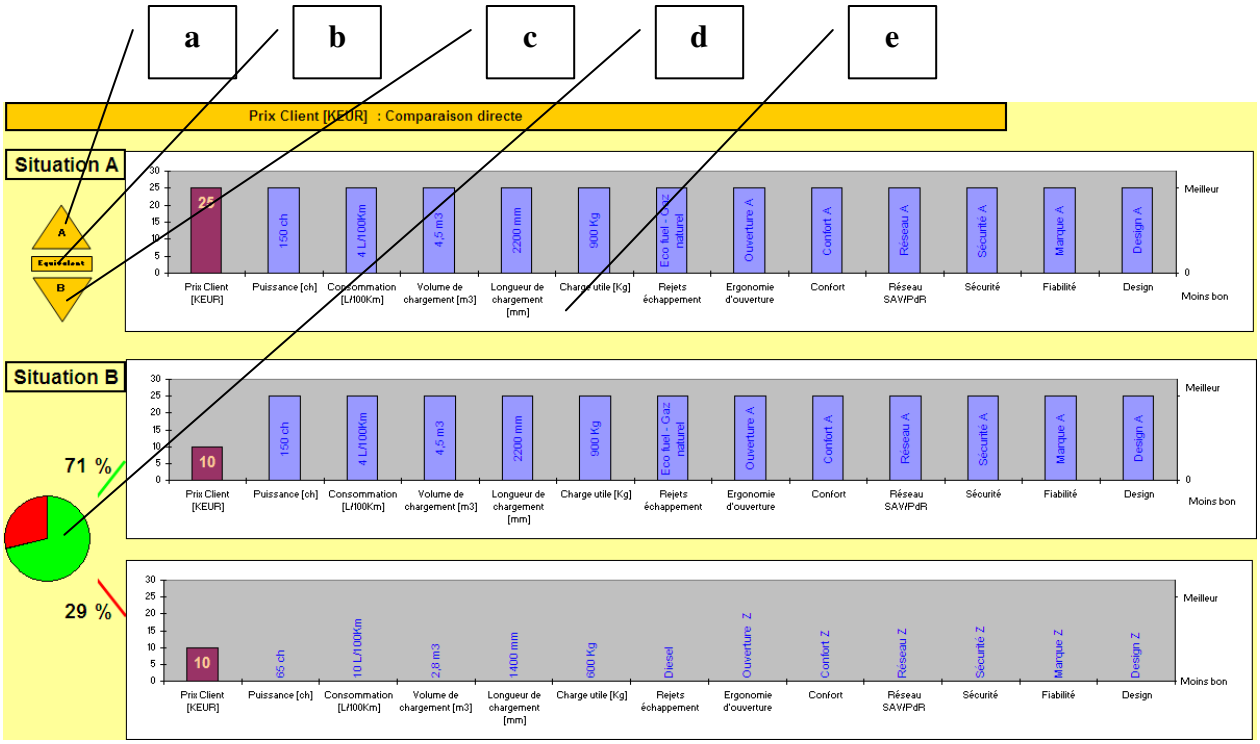


Figure 64 - Situation de choix pour l'élicitation de la constante d'échelle relative au prix (E.U.R.O.P.I.)

- Expliciter à l'expert les scénarios[29] liés aux situations A et B, avant de lui demander, comme pour l'élicitation des utilités partielles, dans laquelle il préfèrerait se trouver, ou si elles lui sont indifférentes. Suite à ce choix, cliquer alors respectivement sur le bouton « A » (Figure 64 - a), « B » (Figure 64 - c) ou « Equivalence » (Figure 64 - b).

- Répéter cette étape jusqu'à équivalence, c.à.d. jusqu'à ce que l'expert soit équivalent entre les situations A et B, ou jusqu'à ce que la largeur de l'intervalle des possibles atteigne le seuil de résolution. Ce seuil, paramétré initialement à 3% pour les probabilités (cas du prix) et à 1 unité pour le prix (cas des autres attributs), peut être modifié dans le cadre (Figure 63 - c).

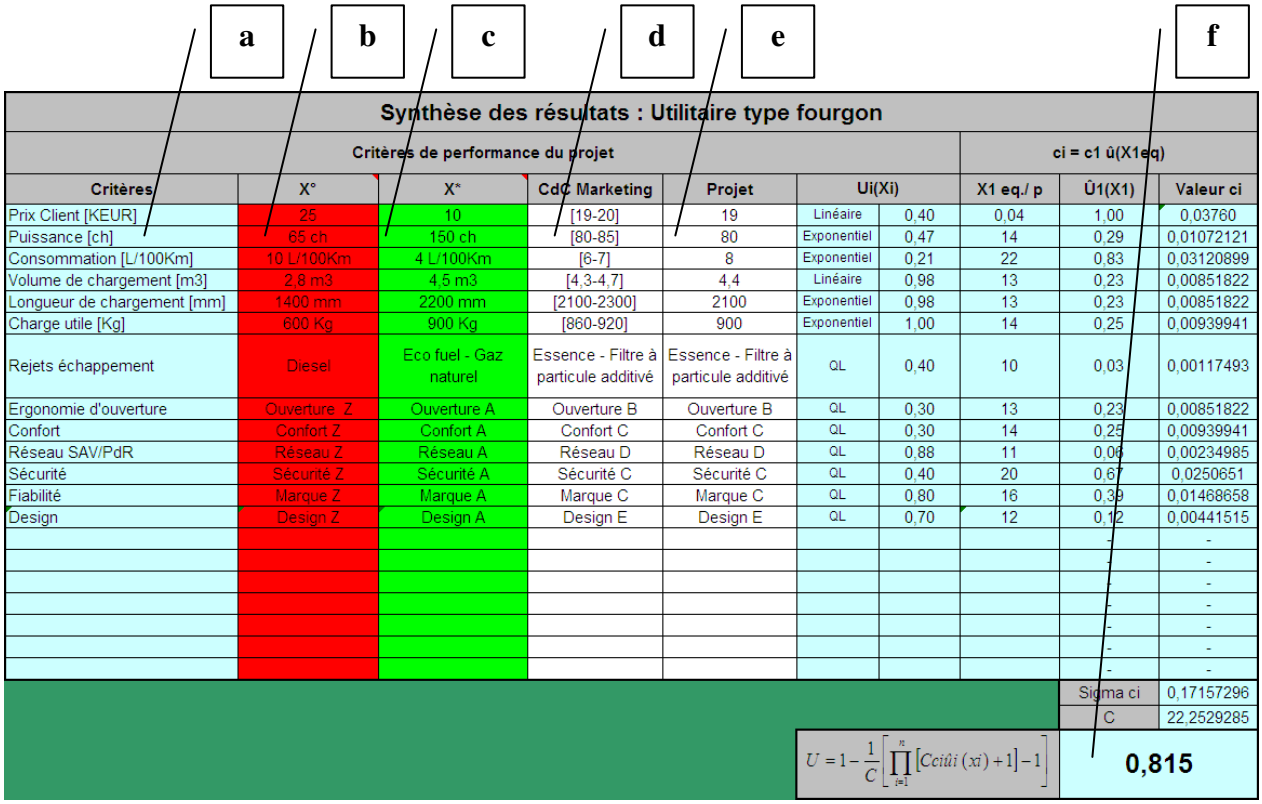
- L'obtention de l'équivalence est annoncée par un message. Elle engendre le report des résultats dans la feuille « échelles ». Ainsi, même si toutes les constantes d'échelle n'ont pas

[29] Se référer au chapitre 2.2 pour le scénario relatif à l'élicitation de la constante d'échelle du prix, ainsi que pour celui de l'élicitation des autres constantes d'échelle.

été élicitées, il est possible de revenir à l'onglet « Echelles » en cliquant sur « Fin de l'analyse » (Figure 63 - d) : les résultats sont sauvegardés.

4) Calcul de l'utilité sur les performances

- Une fois que toutes les constantes d'échelle nécessaires sont élicitées, dans l'onglet « Echelles », cliquer sur le bouton «Utilité sur les performances » (Figure 62 - b). S'ouvre alors l'onglet « Synthèse » dont le tableau Figure 65 récapitule les différents attributs (Figure 65 - a) ainsi que leurs meilleures (Figure 65 - c) et pires (Figure 65 - b) valeurs.



Synthèse des résultats : Utilitaire type fourgon

Critères de performance du projet							ci = c1 û(X1eq)		
Critères	X°	X*	CdC Marketing	Projet	Ui(Xi)		X1 eq./ p	Û1(X1)	Valeur ci
Prix Client [KEUR]	25	10	[19-20]	19	Linéaire	0,40	0,04	1,00	0,03760
Puissance [ch]	65 ch	150 ch	[80-85]	80	Exponentiel	0,47	14	0,29	0,01072121
Consommation [L/100Km]	10 L/100Km	4 L/100Km	[6-7]	8	Exponentiel	0,21	22	0,83	0,03120899
Volume de chargement [m3]	2,8 m3	4,5 m3	[4,3-4,7]	4,4	Linéaire	0,98	13	0,23	0,00851822
Longueur de chargement [mm]	1400 mm	2200 mm	[2100-2300]	2100	Exponentiel	0,98	13	0,23	0,00851822
Charge utile [Kg]	600 Kg	900 Kg	[860-920]	900	Exponentiel	1,00	14	0,25	0,00939941
Rejets échappement	Diesel	Eco fuel - Gaz naturel	Essence - Filtre à particule additivé	Essence - Filtre à particule additivé	QL	0,40	10	0,03	0,00117493
Ergonomie d'ouverture	Ouverture Z	Ouverture A	Ouverture B	Ouverture B	QL	0,30	13	0,23	0,00851822
Confort	Confort Z	Confort A	Confort C	Confort C	QL	0,30	14	0,25	0,00939941
Réseau SAV/PdR	Réseau Z	Réseau A	Réseau D	Réseau D	QL	0,88	11	0,06	0,00234985
Sécurité	Sécurité Z	Sécurité A	Sécurité C	Sécurité C	QL	0,40	20	0,67	0,0250651
Fiabilité	Marque Z	Marque A	Marque C	Marque C	QL	0,80	16	0,39	0,01468658
Design	Design Z	Design A	Design E	Design E	QL	0,70	12	0,12	0,00441515
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								Sigma ci	0,17157296
								C	22,2529285
						$U = 1 - \frac{1}{C}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[Cci\hat{u}i\,(xi)+1\right]-1\right]$			0,815

Figure 65 - Tableau de synthèse pour le calcul de l'utilité sur les performances (E.U.R.O.P.I.)

- On peut alors renseigner la colonne CdC Marketing (Cahier des Charges) avec les exigences du marketing, pour chaque critère de performance, sous forme de fourchette de valeur par exemple (Figure 65 - d). Cette étape est facultative.

- Pour calculer l'utilité sur les performances d'une configuration de produit, il suffit alors de rentrer les valeurs correspondant à cette configuration pour les différents attributs, dans la colonne projet (Figure 65 - e). Il faut toutefois veiller :

- pour les attributs quantitatifs, à rester dans les bornes mini/maxi définies.

- pour les attributs qualitatifs, à indiquer une valeur dont l'utilité est connue. Pour ce faire, une liste déroulante est proposée à l'expérimentateur.

Une fois toutes les valeurs renseignées, la constante C et l'utilité globale du projet s'affichent automatiquement en (Figure 65 - f).

Est également présent à titre informatif, sur cet onglet, le graphique (Figure 66) récapitulatif des différentes constantes d'échelle. Il faut cependant rester vigilant quant à son interprétation, car comme nous l'avons vu, la valeur de la constante d'échelle n'est pas toujours significative de l'importance du critère de performance pour le client.

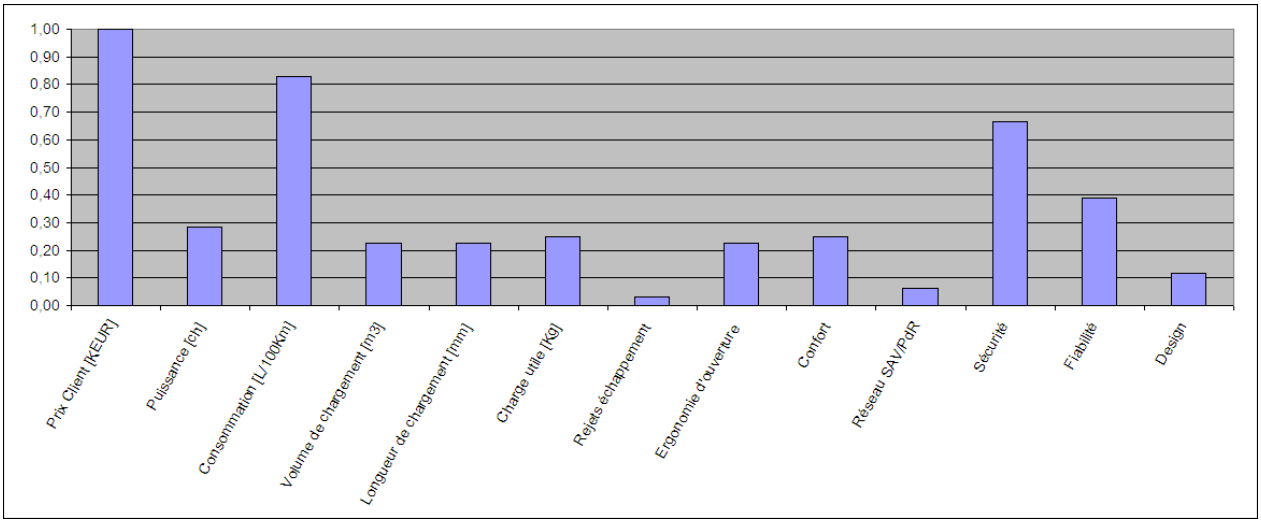


Figure 66 - Représentation graphique des constantes d'échelle (E.U.R.O.P.I.)

E.U.R.O.P.I. propose ensuite, dans l'onglet « Courbes2 », de tracer les courbes d'indifférence sur un graphique à deux dimension : prix / critère de performance. Nous reviendrons dans la partie « Résultats » sur l'exploitation de ces graphiques. Pour générer ce graphique, il faut :

- Sélectionner un critère de performance, qu'il soit qualitatif ou quantitatif, dans la liste déroulante (Figure 67 - a).

- Appuyer sur le bouton « Traçage des courbes d'indifférences » (Figure 67 - b) : le graphique est alors automatiquement généré dans la zone (Figure 67 - c).

- Il est possible de paramétrer l'écartement des courbes d'indifférences en renseignant les cases blanches du tableau (Figure 67 - d) : si la courbe jaune (au milieu) représente l'utilité des caractéristiques actuelles du projet, les 4 autres courbes représente cette utilité +/- X%. C'est ce paramètre X qu'il est possible de renseigner à l'aide d'une liste déroulante.

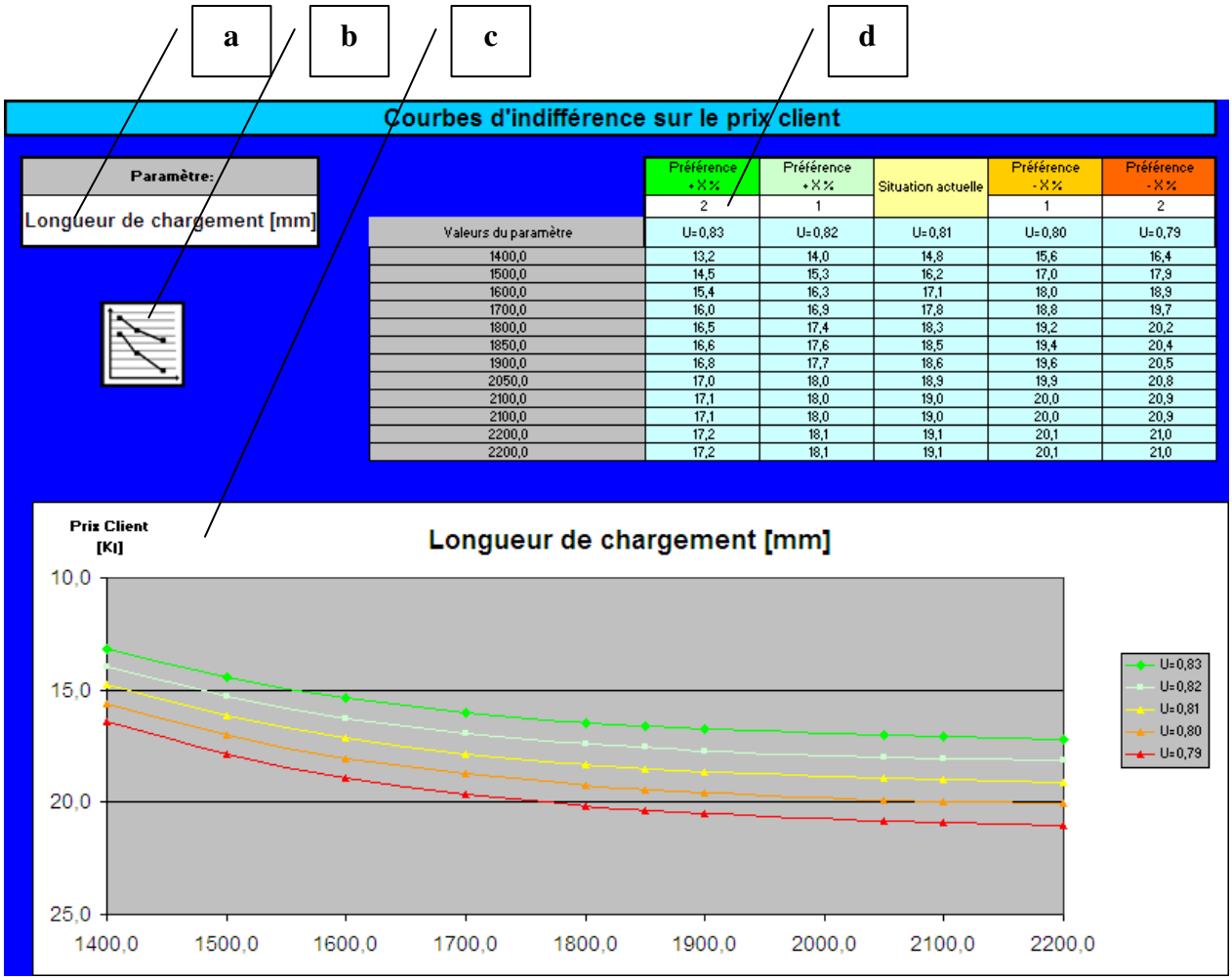


Figure 67 - Génération des courbes d'indifférences avec E.U.R.O.P.I.

5) Paramétrage des indicateurs de la situation globale du projet

Le paramétrage des 3 attributs de la fonction d'utilité multilinéaire décrivant la situation globale du projet se fait dans l'onglet « Echelles Projet ». Son fonctionnement est très similaire à l'onglet « Echelle » que nous avons décrit précédemment. Par conséquent, nous n'insistons ici que sur les aspects divergents, laissant au lecteur le soin de se référer aux paragraphes ci-dessus pour les points déjà abordés.

Les 3 attributs Délai/Rentabilité/Performance doivent être de nature quantitative. Le paramétrage de l'attribut sur la rentabilité est similaire aux cas précédents. Pour l'attribut sur

la performance l'indicateur est l'utilité multi-attributs sur la performance du projet. Pour son paramétrage, il faut donc renseigner la valeur idéale (Figure 68 - c) et la valeur en-dessous de laquelle le projet est inacceptable pour l'entreprise (Figure 68 - b). Ces 2 valeurs peuvent se déterminer en calculant et comparant entre elles les utilités de performance des produits concurrents (Figure 68 - a). La fonction d'utilité (Figure 68 - d) est générée automatiquement, sans élicitations, puisque l'indicateur est déjà une utilité.

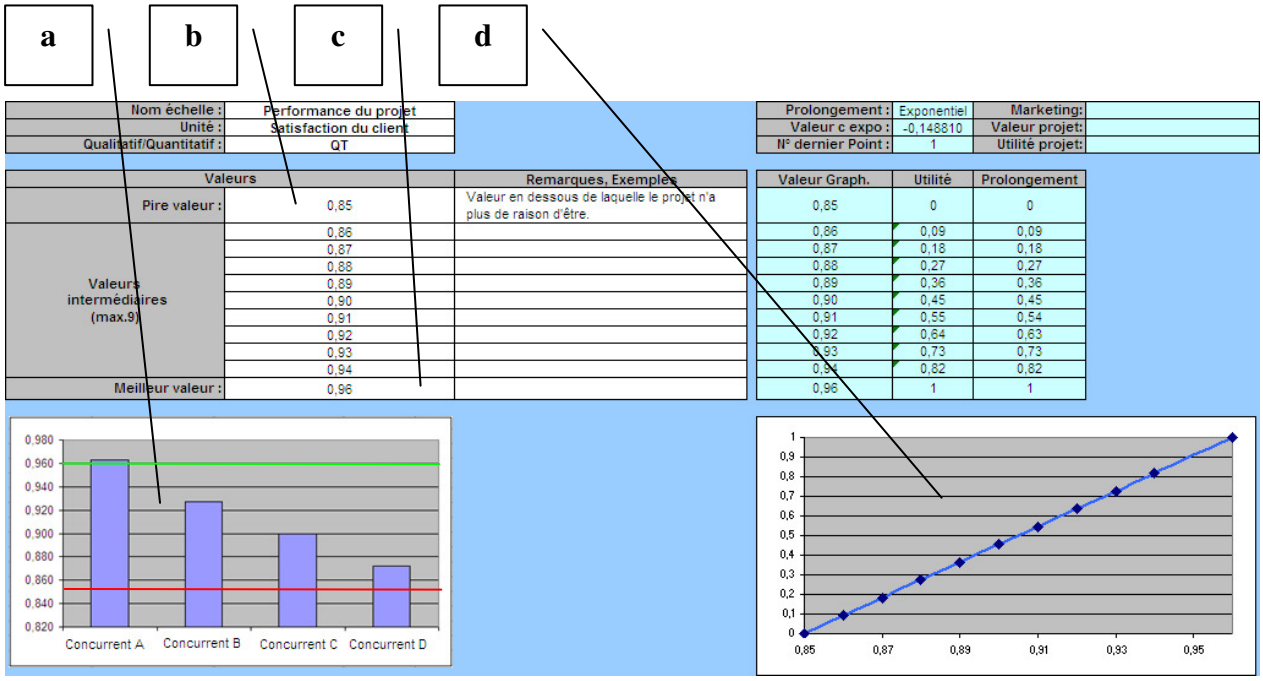


Figure 68 - Paramétrage de l'attribut performance avec E.U.R.O.P.I.

Pour l'attribut sur les délais, le paramétrage doit se faire avec l'expert, en début d'interview. Les étapes sont un peu différentes :

- Renseigner tout d'abord la date « objectif » de mise en série du produit (date de fin de projet planifiée) (Figure 69 - b).

- Recenser alors les jalons importants pour le projet, que ce soit des évènements internes ou externes importants. On peut les identifier, comme dans notre exemple, en nombre de semaines après la fin planifiée du projet (Figure 69 - a). Le logiciel les convertit alors automatiquement en date de fin du projet (Figure 69 - c).

- Pour chacun de ces jalons, décrire les conséquences, pour l'entreprise, si le projet finissait avant (Figure 69 - d) ou après (Figure 69 - e). Ces descriptions seront communiquées par le

logiciel à l'expert qui élicitera les constantes d'échelle multi-attributs. Cela permet de donner un maximum de signification aux chiffres pour améliorer la justesse des résultats.

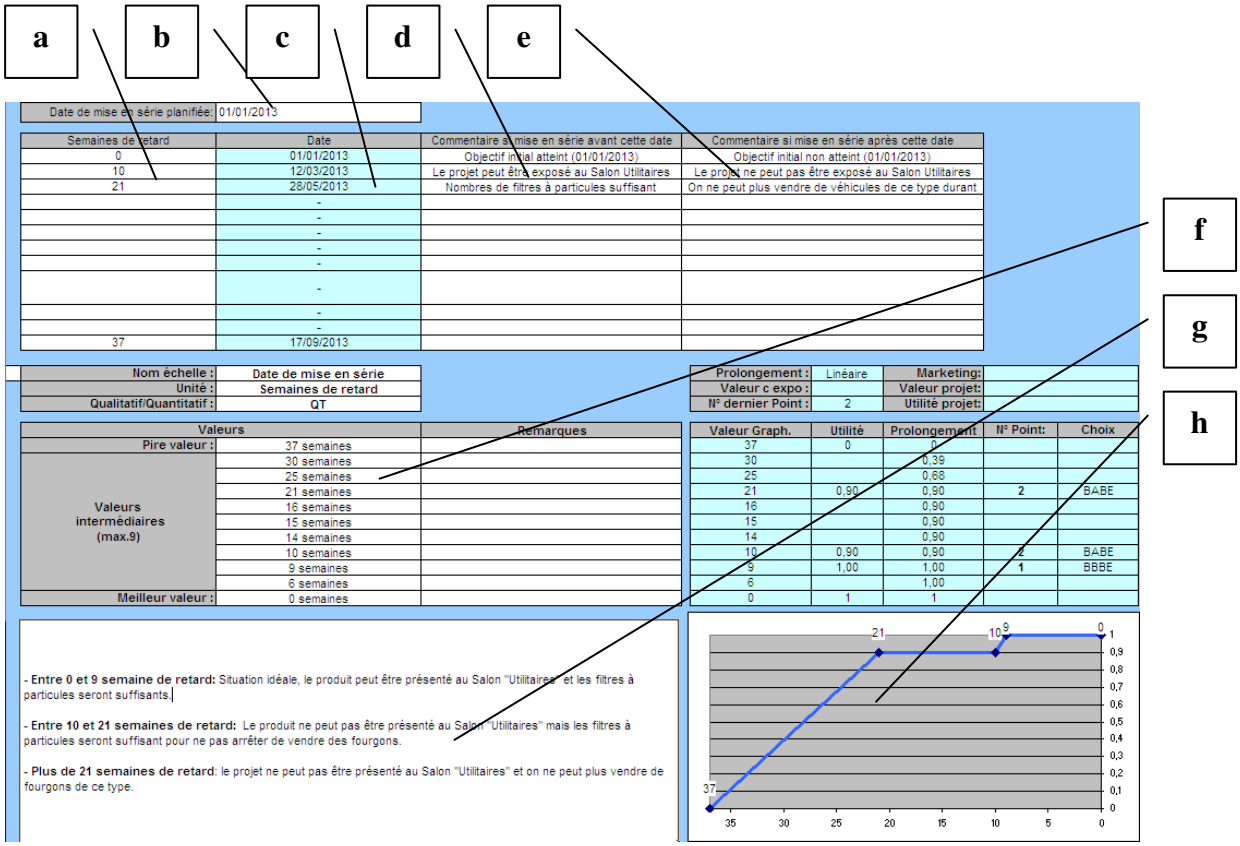


Figure 69 - Paramétrage de l'attribut délais avec E.U.R.O.P.I.

- Rentrer ensuite la pire et la meilleure valeur, pour le nombre de semaines de retard (Figure 69 - f).

- Rajouter à l'échelle les 9 valeurs intermédiaires qui incluent les jalons définis précédemment (Figure 69 - f).

- Définir théoriquement (sans la tracer), la forme de la fonction d'utilité sur les délais (Figure 69 - h), la justifier dans le cadre (Figure 69 - g) et en déduire les points dont l'élicitation sera nécessaire. Dans notre exemple (factice), la description en (Figure 69 - g) est la suivante :

  - Entre 0 et 9 semaines de retard : Situation idéale, le produit peut être présenté au Salon "Utilitaires" et les filtres à particules seront suffisants.

  - Entre 10 et 21 semaines de retard : Le produit ne peut pas être présenté au salon "Utilitaires" mais les filtres à particules seront suffisants pour ne pas arrêter de vendre des fourgons.

  - Plus de 21 semaines de retard: le projet ne peut pas être présenté au Salon

"Utilitaires" et on ne peut plus vendre de fourgons de ce type durant X-21 semaines, où X est le nombre de semaine de retard du projet

On en déduit la forme de la fonction d'utilité (Figure 69 - h) ainsi que les points dont il faut éliciter l'utilité :

- Un point entre 10 et 21 semaines de retard.
- 2 points, par exemples, entre 21 et 37 semaines de retard pour voir comment décroit la fonction d'utilité en fonction du nombre de semaines passées sans pouvoir vendre de produit.

6) Elicitation des utilités partielles pour la situation globale du projet

Cette étape n'est nécessaire que pour les attributs rentabilité et délais. Elle s'effectue de façon similaire aux élicitations des utilités partielles sur les performances (Cf. **2**)).

7) Elicitation des constantes d'échelle pour la situation globale du projet

Une fois les étapes précédentes réalisées, il suffit de cliquer sur le bouton « élicitation des constantes d'échelle multilinéaires » (Figure 70 - a).

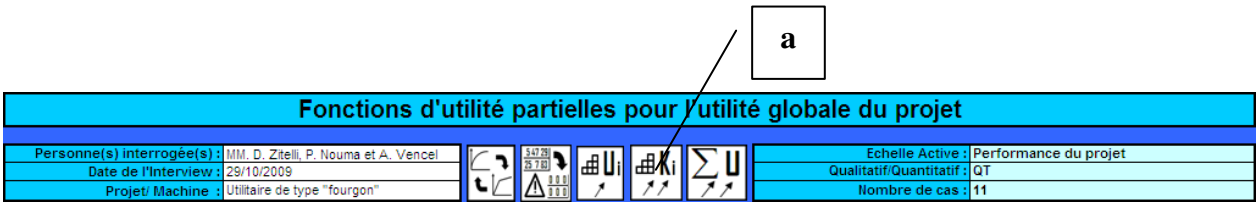


Figure 70 - Cartouche titre de l'onglet "Echelles Projet" (E.U.R.O.P.I.)

L'onglet « Constantes échelle Projet » apparaît à l'écran. Il suffit alors d'appuyer sur le bouton « Commencer l'analyse » (Figure 71 - i) pour lancer la première des 6 étapes d'élicitations. (Cf. au paragraphe 2.2.2.3. pour la description de l'algorithme.).

Deux situations du projet, A et B, sont alors présentées à l'expert. Elles se différencient par les valeurs des trois attributs Rentabilité/Délai/Performance (Figure 71 - a). Jusqu'à la fin de l'analyse, il suffit à l'expert d'indiquer quelle situation il préfère pour le projet (A ou B), ou si les 2 propositions lui semble équivalentes. L'expérimentateur validera alors ce choix en cliquant respectivement sur « A » (Figure 71 - d), « B » (Figure 71 - f) ou Equivalent (Figure 71 - e).

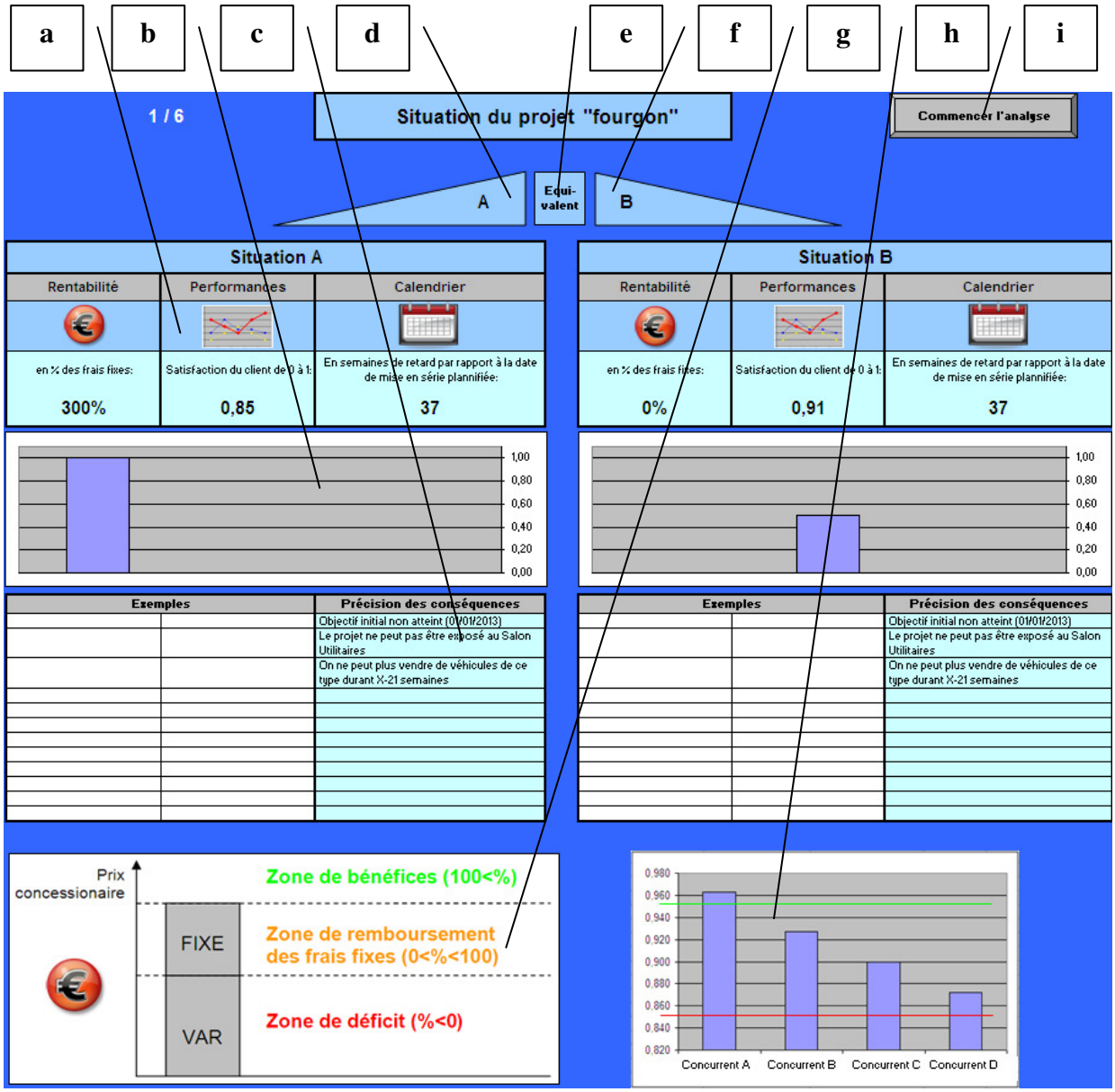


Figure 71 - Interface E.U.R.O.P.I. pour l'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires

Pour que les données soient les plus explicites possible aux yeux de l'expert, l'expérimentateur, dans ses explications, pourra s'appuyer sur :

- L'utilité partielle que représente chaque valeur des attributs. Cette utilité est représentée sous forme de graphique (Figure 71 - b).

- Le rappel de la signification de l'indice de rentabilité (Figure 71 - g).

- Le niveau d'utilité partielle sur les performances des concurrents directs (Figure 71 - h).

- L'explication des conséquences liées à la date de fin de projet affichée (Figure 71 - c).

							Matrice d'équations							Matrice inverse						Solutions	
Etape	1er	2nd	(R,P,C)	Eq	U(Eq)	(1,2,3)	k1	k2	k3	k12	k13	k23	k123								
1	A	D	R	1,1016	0,9537	2	-0,05	1	0	0,95	0	0	0	-1,02	-0,06	-0,04	-0,98	-0,02	-0,7	0,98	k1
2	A	D	P	0,8784	0,2562	2	0	-0,74	1	0	0	0,26	0	-0,36	-1,2	-0,89	-0,47	-0,31	-0,34	0,47	k2
3	B	-	R	0,1875	0,407	3	0,41	0	-1	0	0	0	0	-0,41	-0,02	-1,02	-0,4	-0,01	-0,29	0,4	k3
4	A	-	P	0,8809	0,2796	1	0	-0,72	1	-0,72	1	0,28	0,28	1,38	1,25	0,93	0,45	0,32	0,32	-0,45	k12
5	B	C	R	0,1875	0,407	2	0,41	0	-1	0,41	0	-1	0	1,43	0,08	1,06	1,37	0,02	-0,01	-0,37	k13
6	A	-	R	2,25	0,9983	1	-0	1	0	1	-0	1	1	0,56	0,51	1,38	0,18	-0,87	0,13	-0,18	k23
-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-1,58	-0,56	-1,42	-0,16	0,86	0,89	0,16	k123

Figure 72 - Résultats pour les constantes d'échelle multilinéaires (E.U.R.O.P.I.)

A la fin de l'interview, les résultats, ainsi que le récapitulatif de toutes les réponses données par l'expert, apparaissent dans le tableau[30] situé à droite de l'écran (Figure 72). On peut y lire les valeurs des différentes constantes d'échelle dans l'avant-dernière colonne. Les résultats peuvent être sauvegardés par un « Copier-coller » vers les emplacements prévus à cet effet, en bas à droite de l'écran.

Une fois cette dernière étape effectuée, nous sommes capables de déterminer l'utilité de la situation globale du projet de développement si les valeurs des différents indicateurs sont connues.

Pour évaluer une situation complexe présentant différentes options de choix pour l'entreprise, nous nous sommes alors appuyés sur une modélisation sous forme de diagramme d'influence (Cf. Chapitre 1.2). En effet, si une situation de choix simple peut s'évaluer sans difficultés à l'aide d'Excel (Cf. [Collardeau, Goncalves, 2007]), une situation complexe nécessite une modélisation des décisions et loteries possibles par un diagramme d'influence.

2.3.3 DPL pour la modélisation de la situation de choix

Nous avons choisi le logiciel DPL pour construire les diagrammes d'influence, ce logiciel étant couramment utilisé par notre laboratoire de recherche. Pour l'utilisation à proprement dite du logiciel, nous conférons aux modes d'emploi existants, ainsi qu'à un article de référence sur les diagrammes d'influence : [Schachter, 1986].

2.3.3.1 Traduction des résultats obtenus avec E.U.R.O.P.I. dans DPL

La Figure 73 illustre comment nous avons modélisé sous DPL la fonction d'utilité globale obtenu avec E.U.R.O.P.I :

[30] Se référer à l'Annexe I et au chapitre 2.2 pour la signification de ce tableau.

- Les nœuds de valeurs (Figure 73 - a) ont été utilisés pour modéliser toutes les données quantitatives : utilités, coefficient exponentiel, constantes d'échelle, valeur des attributs quantitatifs, etc.

- Les nœuds de chance à distribution discrète (Figure 73 - b) ont été utilisés pour modéliser les données qualitatives. En effet, pour les attributs qualitatifs, toutes les valeurs possibles sont renseignées dans ces nœuds de chance, puis le(s) élément(s) retenu(s) sont sélectionné(s) grâce au paramétrage des probabilités du nœud.

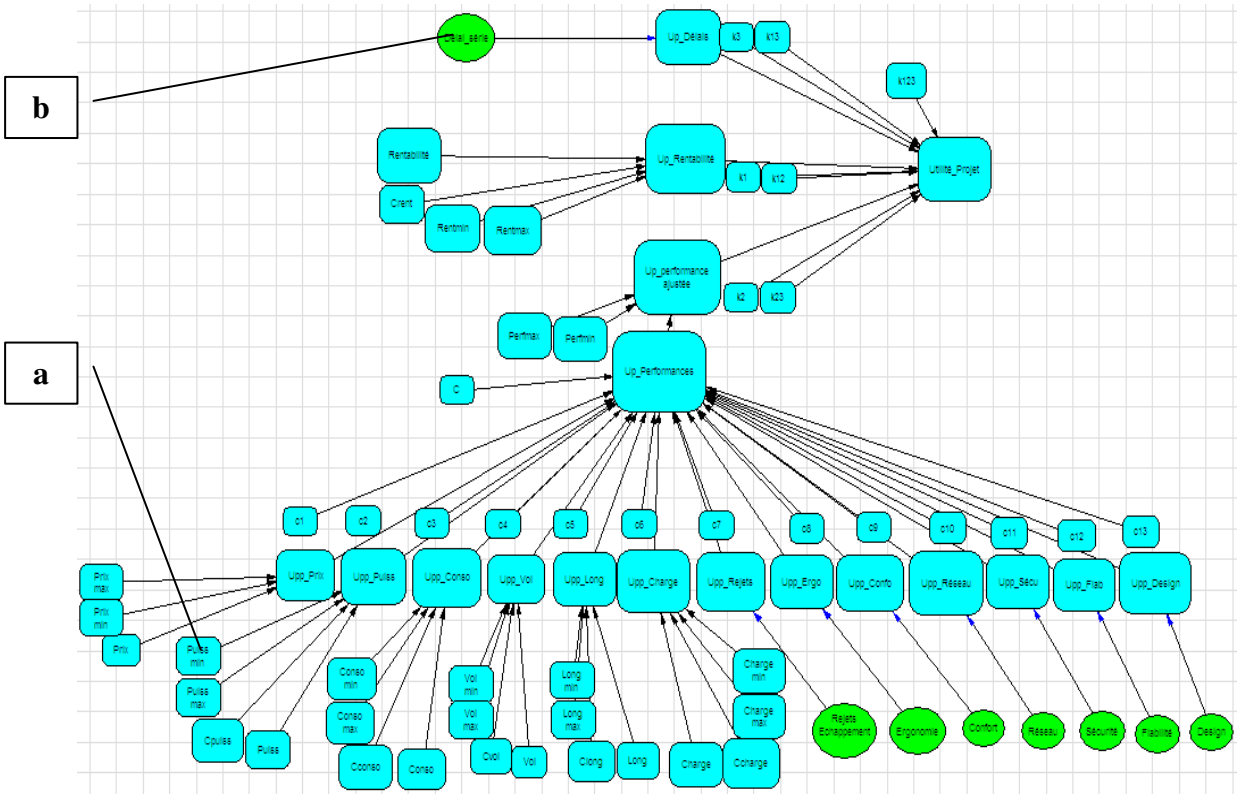


Figure 73 - Modélisation de la fonction d'utilité sous DPL

Nous pouvons alors, à partir de cette base, modéliser toutes les situations de choix possibles pour le projet de développement.

2.3.3.2 Modélisation de la situation de choix

Pour modéliser une décision à prendre, il suffit alors d'ajouter, au modèle de base, un nœud de décision. Les implications de cette décision sont alors modélisées en reliant ce nœud aux nœuds de valeur, ou de chance, correspondants. On peut alors spécifier, par l'intermédiaire

d'équations de dépendance, sur les conséquences ou les probabilités, comment se traduit cette liaison.

Le logiciel permet alors de calculer directement l'espérance d'utilité des différentes options de choix. Nous traitons un exemple complet dans le chapitre 3.2.

2.3.3.3 Modélisation et encodage des probabilités avec DPL.

Pour encoder les probabilités, le logiciel DPL propose une représentation sous forme de « roue ajustable», dans le cas d'une distribution discrète des probabilités.

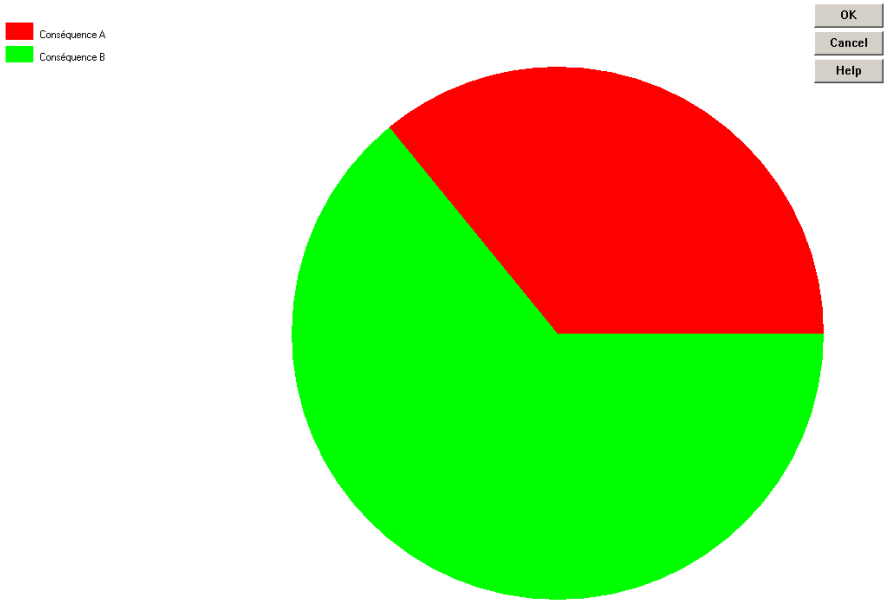
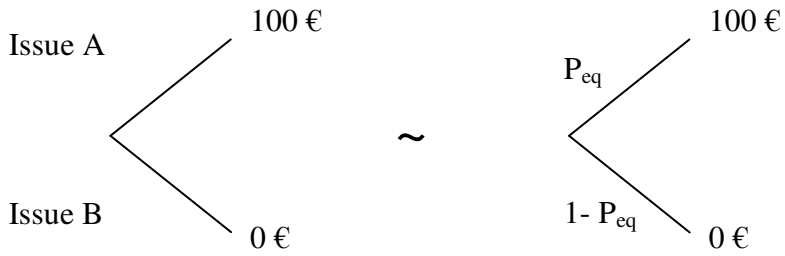


Figure 74 - Roue ajustable pour les probabilités sous DPL

Nous montrons comment, dans différents cas, nous pouvons nous appuyer sur cet outil pour appliquer la méthode d'encodage des probabilités subjectives décrite dans le chapitre 2.2.

Probabilités sur des évènements discrets à 2 issues



L'équivalence de la situation ci-dessus, décrite en 2.2.3.2 pour l'encodage de la probabilité d'occurrence de l'évènement A, peut être obtenue avec la roue ajustable de DPL, en modélisant P et 1-P.

Probabilités sur des évènements discrets à 3 issues ou plus

Supposons que 3 issues soient possibles : A, B et C. Dans ce cas, nous avons décomposé le problème en plusieurs étapes :

- Demander à l'expert : « Quelle est la conséquence la plus probable ?». Supposons que la réponse soit « A ».

- Encoder P(A) et P(nonA) avec la méthode décrite ci-avant.

- Demander à l'expert : « Si A ne se réalise pas, quelle est l'évènement le plus probable ? ». Supposons que la réponse soit « B ».

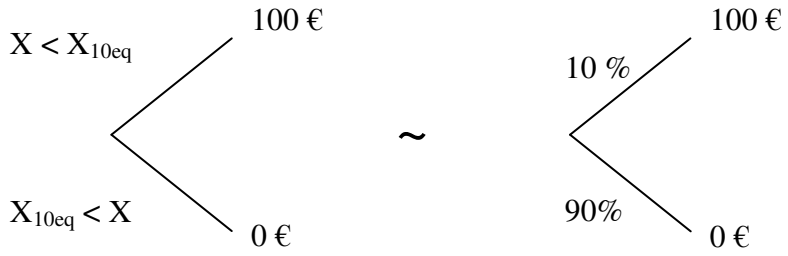
- Encoder P(B sachant nonA) de la même manière.

- En déduire P(C sachant nonA), p(B) et p(C) par la règle de Bayes.

Cette méthode se transpose de la même manière dans le cas d'un nombre d'issues supérieur à 3.

Probabilités sur des évènements continus

Pour employer la méthode des fractiles décrite dans le chapitre 2.2, il serait également possible d'utiliser la roue ajustable sous DPL. En effet, pour trouver X_{10} tel que $p(X< X_{10}) = 10\%$, il est possible de faire choisir entre une loterie de 10/90 avec une issue gagnante, représentée par la « roue ajustable », et une loterie ou le décideur gagne la même chose si $X< X_{10}$.



Une fois les 5 points (ou plus) de la fonction de répartition des probabilités obtenus, il est possible d'employer un logiciel statistique (comme Crystal Ball de Oracle ou Bestfit de Palisade) pour en déduire une fonction de répartition « la plus proche possible ». Ensuite, par dérivation, on obtient la fonction de densité de probabilité de la variable X, dont il est alors possible de rentrer les paramètres dans DPL.

Cependant, dans le cadre de nos expérimentations, nous avons choisi de discrétiser ces répartitions continues. En effet, DPL ne peut calculer directement l'utilité espérée d'une situation qui présente un nœud de chance continu : le logiciel emploi alors la méthode de MonteCarlo (Cf. chapitre 1.2) qui fait perdre de la précision au calcul de l'espérance d'utilité globale.

Les probabilités associées à ces répartitions discrétisées de la variable X s'encodent alors de la même manière que les probabilités sur des évènements discrets.

Conclusion de la seconde partie

La théorie de l'utilité espérée, sous sa forme multi-attributs, est un socle adapté à la construction de notre outil, permettant une évaluation à la fois globale et rationnelle des risques et des opportunités. Le logiciel que nous avons programmé, baptisé E.U.R.O.P.I., reprend toutes les adaptations que nous avons faites à la méthodologie en vue de son application dans l'industrie mécanique. Ses données de sorties permettent de modéliser, à travers un logiciel de construction de diagrammes d'influences comme DPL, la situation d'un projet de développement. Il est alors possible d'en évaluer toutes les options de choix se présentant aux décideurs.

Dans la troisième partie, nous mettons en application ce logiciel en entreprise, testant ainsi son opérationnalité et ses limites.

PARTIE 3 : MISE EN ŒUVRE DANS LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE

L'étape de mise en application permet de tester les apports potentiels de l'outil théorique développé. Cette spécificité phare des thèses-action effectuées dans le cadre d'un contrat CIFRE permet ainsi de faire le lien entre la recherche fondamentale et la réalité des entreprises. Le premier chapitre de cette partie présente l'entreprise d'accueil et le paramétrage nécessaire de notre outil en vue de son application au produit développé. Nous exposons ensuite, dans un second chapitre, les résultats de nos expérimentations, avant de consacrer un dernier chapitre aux discussions.

CHAPITRE 3.1 : DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE ET PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Afin que les résultats présentés dans le chapitre suivant soient plus explicites pour le lecteur, nous avons choisi de consacrer ce chapitre à la description de l'entreprise d'accueil, à son fonctionnement et aux caractéristiques des produits qu'elle conçoit et fabrique.

3.1.1 Description de l'entreprise d'accueil

3.1.1.1 L'Histoire du groupe

Le groupe LIEBHERR est une entreprise familiale allemande fondée en 1949 par Hans LIEBHERR. Initialement spécialisée dans la conception de grues à tour mobile, l'activité du groupe s'étend aujourd'hui à des domaines très variés dont nous pouvons citer quelques exemples :

- Machines pour les travaux publics et l'activité minière : Pelles hydrauliques sur chenilles, sur pneus, grues, grues mobiles, bétonnières, chargeuses, camions, bouteurs, etc.
- Moteurs thermiques
- Machines-outils et installations industrielles
- Industrie aéronautique et ferroviaire
- Manutention spécialisée
- Systèmes électroniques
- Electroménager
- Hôtellerie

L'expansion des activités du groupe a toujours été dictée par le développement des connaissances, des compétences et du savoir-faire que ses employés avaient développés en interne. En 2009, les 32 600 personnes employées par LIEBHERR ont dégagé un chiffre

d'affaire de 8,4 Milliards d'Euros à travers une centaine de sociétés répartie sur tous les continents.

3.1.1.2 Le produit et le contexte concurrentiel

Crée en 1961 et basée à Colmar, en Alsace, LIEBHERR-France, est l'une de ces sociétés. Elle emploie aujourd'hui 1500 personnes pour un chiffre d'affaire de 944 Millions d'Euros. L'importance du marché français et la proximité de la ville avec l'Allemagne et la Suisse ont largement contribué au choix de ce site qui conçoit, produit et assemble les pelles hydrauliques sur chenilles du groupe LIEBHERR. Des versions « TP » (Travaux Publics) et « Mining » (Exploitation Minière) sont illustrées sur les photos ci-dessous.



Figure 75 - Pelles hydrauliques sur chenilles LIEBHERR, de 25 tonnes (gauche) et 800 tonnes (droite)

Les pelles produites à Colmar sont vendues à des concessionnaires dans le monde entier, qui se chargent alors de les revendre ou de les louer à leurs clients. Ainsi, l'activité de LIEBHERR- France s'inscrit dans un contexte B to B (Cf. paragraphe 2.1.4.1).

Les pelles hydrauliques sur chenilles LIEBHERR se distinguent essentiellement par:
- Des performances à la pointe de ce que propose le marché.
- Une grande adaptation aux besoins particuliers des clients.
- Un réseau SAV dont l'efficacité et la rapidité d'intervention sont reconnus.

Sur ce positionnement et ce produit, les principaux concurrents de LIEBHERR-France sont les groupes Caterpillar, Volvo, Hitachi et Komatsu.

3.1.1.3 Position dans l'entreprise

Rattaché directement à la présidence de LIEBHERR-France, le groupe EPM (Engineering Process Management) a été créé en 2006 pour prendre en charge les Process liés à la gestion des projets de développement et de leurs risques. C'est au sein de ce service, composé de 4 personnes en 2009 (3 pour la gestion de projet, 1 pour la gestion des risques) et situé au Bureau des Etudes de LIEBHERR-France, que s'est déroulée cette thèse.

Dans sa globalité, le Bureau des Etudes de LIEBHERR-France est composé de 180 personnes dirigées par le Dr. Späth, tuteur industriel de cette thèse. Y sont notamment réalisés les processus de :

- Conception/dessin des pelles
- Codification des pièces et diffusion des plans
- Prototypage
- Essais
- Création des manuels techniques

3.1.2 Supports organisationnels pour le processus de gestion des risques

3.1.2.1 Formalisme apporté par le service EPM à une structure flexible

L'organisation des projets de développement à LIEBHERR-France, jusqu'à la création d'EPM, veillait à garder un maximum de flexibilité dans la gestion des ressources et la planification des tâches. Ce choix se justifiait par :

- le positionnement en « Customer Intimacy[31] » de l'entreprise.
- les faibles quantités produites en série par rapport aux concurrents directs.

Il résultait de ces deux facteurs qu'un pourcentage non négligeable des pelles produites nécessitait un développement particulier et que, par conséquent, le processus général de conception était difficile à standardiser.

[31] En français : « Etre intime avec le client » : volonté de satisfaire au maximum les besoins particuliers des clients

Ces dernières années, la complexité croissante des produits et l'explosion des contraintes techniques et normatives ont conduit l'entreprise à se repositionner organisationnelement. En effet, les difficultés engendrées pour tenir les objectifs des projets ont augmenté de manière exponentielle, étant donné que tous les fournisseurs de l'entreprise ont également rencontré ces difficultés. L'augmentation des séries due à la croissance de l'entreprise a également favorisé cette réorganisation. Ainsi, sur une période de 2 ans, le service EPM a contribué à trouver un juste compromis entre formalisme et flexibilité. Ce compromis permet à l'entreprise de rester compétitive tout en rendant plus transparents ses processus de gestion des projets de développement. Listons quelques aspects de ce compromis :

- Planification séquentielle[32] standardisée des grandes phases du projet. Ne détaillant pas les tâches à l'intérieur d'un service, elle est adaptable à chaque projet.

- Définition de check-lists de délivrables standardisées, associés à la planification, également adaptables aux projets.

- Création d'une « équipe projet » représentant les différents métiers du développement et se réunissant régulièrement pour traiter des aspects transdisciplinaires du projet.

3.1.2.2 Réalisation des étapes de la boucle de gestion des risques

Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe 1.2.1.4, la gestion des risques de projet consiste en un processus bouclé faisant intervenir les 5 phases suivantes :

- Détection des risques
- Evaluation des risques
- Traitement des risques
- Suivi des risques
- Capitalisation de l'expérience

Nous listons dans les paragraphes suivants, pour chacune de ces phases, par quelles mesures concrètes la formalisation des Process de développement de nouveaux produits a été un support d'implantation de la gestion des risques de projet.

[32] [Chédotel, 2005] décrit les conditions favorables à la standardisation de la planification séquentielle des projets de développement. Etant donnée la relative stabilité technologique du domaine des pelles hydrauliques, cette standardisation est possible à LIEBHERR-France. Ce n'est pas le cas, par exemple, dans les domaines de la communication ou de l'informatique.

Détection des risques

Selon la norme internationale IEC 62 198 : « Lignes directrices pour l'application de la gestion des risques liés à un projet », il existe plusieurs sources pour l'identification des risques liés à un projet. On compte parmi celles-ci :

– le brainstorming;
– l'avis d'expert;
– des entretiens structurés;
– des questionnaires;
– des listes de contrôle;
– les données historiques;
– l'expérience antérieure;
– l'essai et la modélisation;
– les autres projets.

On trouve également dans cette norme un tableau recensant les domaines à risques en fonction des différentes phases du projet de développement :

Concept et définition	Conception et développement	Fabrication	Installation et mise en service	Exploitation et maintenance	Mise à l'arrêt définitif et mise au rebut
Appel d'offre/ ou non Budgets Sécurité Garanties Technologie Contrats Exigences réglementaires Gestion du projet	Compromis Fabrication/achat Performance Aptitude à être fabriqué Technologie Sûreté de fonctionnement Sources Contrats Pénalités Sécurité Risques hérités	Prestataires Matériaux Ressources Intégration Changements de configuration Sûreté de fonctionnement Pénalités Sécurité Risques hérités	Plans Intégration Performance Sûreté de fonctionnement Sécurité Essais Procédures Pénalités Garanties Risques hérités	Sûreté de fonctionnement Sécurité Interopérabilité Modifications Pénalités Législation Garanties Risques hérités	Sécurité Remplacement Réutilisation Rebut Pénalités Risques hérités

Tableau 10 - Domaines à risques en fonction des différentes phases du projet de développement
Source : Norme IEC 62 198

Nous sommes partis cette liste pour créer une « Check-list des risques » sous le format d'un fichier Excel. Ce fichier est mis à jour par les retours d'expérience effectués de façon systématique par la gestion de projet. Il nous permet, à chaque jalon des projets de développement, de pouvoir aborder avec les différents acteurs concernés, les risques et

opportunités recensés pour leur activité. Lors de ces rencontres, un brainstorming peut également être réalisé pour envisager avec eux des opportunités ou des menaces que l'entreprise n'a encore jamais rencontrées jusqu'alors.

Pour les menaces pesant sur les délais, il est également possible d'effectuer une analyse systématique des risques grâce à une démarche du type « Monte-Carlo » (Cf. paragraphe 1.2.1.1) sur la planification que réalise le service EPM sous MS Project. Ne possédant pas les outils nécessaires à cette application, nous n'avons pas pu l'expérimenter.

Evaluation des risques

Une fois les menaces et opportunités détectées, les options de choix face à elles sont évaluées de façon globale et rationnelle par notre outil. Ainsi, l'option présentant l'utilité espérée la plus importante pour l'entreprise est conseillée aux décideurs. Les risques résiduels qu'implique ce choix doivent alors faire l'objet d'un traitement et d'un suivi.

Traitement des risques résiduels et suivi

Pour traiter un risque résiduel, on recense 4 stratégies classiques. Nous les listons ici par ordre croissant de coût :

L'évitement : Si une activité présente un risque, on ne réalise pas cette activité. La plupart du temps, cette stratégie reporte le risque sur d'autres entreprises, ou le remet à plus tard, augmentant ainsi généralement ses conséquences potentielles. Stratégie la moins coûteuse, elle n'est pas forcément responsable car elle est un frein au développement de l'entreprise.

L'acceptation : Le risque est accepté par l'entreprise. Si d'un point de vue financier, il est possible de le provisionner dans les comptes de l'entreprise, les éventuels risques juridiques n'en sont toutefois pas réduits pour les dirigeants.

La réduction du risque : Il s'agit d'approfondir la connaissance du risque pour réduire la part d'aléatoire de la situation : veille, audit, analyse par la recherche des facteurs de risques et des vulnérabilités, AMDEC/FMEA, analyses 8D, etc.

Le transfert : Le transfert de risque consiste à contracter une assurance ou toute autre forme de couverture du risque.

Le suivi des risques se traduit alors, dans le cas d'une acceptation ou d'une réduction des risques, par une évaluation régulière de la situation, jusqu'à ce que la probabilité du risque soit nulle. Dans le cas du transfert ou de l'évitement, le suivi du risque ne fait plus sens.

Capitaliser l'expérience

« La production est une fonction du capital, du travail et du savoir. Ce dernier composant a une importance d'au moins 50%, il est la source de toutes les améliorations. ». Comme le souligne Shyama V. Ramani (2006), la capitalisation des connaissances issues d'un projet est fondamentale, elle permet entre autre d'éviter, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1.1, que les projets ne soient pour l'entreprise que des entités égoïstes ne générant que des bénéfices à courts termes.

Ainsi, l'entreprise capitalise le savoir technique issu des projets à travers, entre autres :
- L'expérience des concepteurs,
- Un système de gestion des connaissances interne consultable par le Bureau des Etudes,
- Le dépôt de brevets.

Nous avons également capitalisé l'expérience acquise en matière de gestion des risques. En effet, les évènements imprévus ou sous-évalués, apparus durant un projet de développement, sont systématiquement répertoriés dans la « check-list des risques », qu'il s'agisse de menaces ou d'opportunités. Ce bouclage du cycle de l'amélioration continue permet d'anticiper, pour les nouveaux projets de développement, ce qui n'a pu l'être par le passé.

C'est avec ces outils et dans ce contexte que nous avons obtenu l'autorisation de mettre à l'œuvre notre outil sur 2 projets de développement de nouvelles pelles hydrauliques.

3.1.3 Sujets d'étude

Etant donnée la nature confidentielle des applications réalisées à LIEBHERR-France, les données et résultats, dans la suite de ce mémoire, seront donnés à titre pédagogique. En effet, les valeurs indiquées ont été modifiées pour ne pas mettre en danger l'intégrité de l'entreprise. L'interprétation qui est faite de ces résultats reste cependant cohérente et correspond à des cas réellement rencontrés.

3.1.3.1 Problématiques des projets de développement

Pour renouveler sa gamme de produit, LIEBHERR-France lance régulièrement des projets de développement de nouvelles pelles hydrauliques. Ces projets sont l'occasion d'intégrer aux pelles les nouveaux concepts développés par le service recherche et développement, et de les mettre en conformité par rapport aux nouvelles normes qui entreront en vigueur lors de leur mise sur le marché.

Les projets de développement sont ainsi le théâtre de nombreuses situations de choix aux objectifs antagonistes dont on donne ici 2 exemples :

- Lors d'une analyse de la valeur effectuée sur les lignes de production, il été trouvé qu'il était possible de diminuer la quantité de matière de certaines pièces sans compromettre ni leurs fonctionnalité, ni leur résistance. Cette modification de conception aurait pour effets de diminuer les coûts de matière première, mais pourrait augmenter les coûts d'usinage. Par ailleurs, cela entraînerait également une réduction du poids de la pelle qui diminuerait sa stabilité, et donc ses capacités de levage. Se prononcer sur la réalisation ou non de la modification est ainsi une décision complexe, dont les enjeux ne sont pas unilatéraux.

- Lors du prototypage d'un nouveau projet, quelques incertitudes subsistent, pour diverses raisons, sur la longueur nécessaire des flexibles. Vaut-il alors mieux commander les flexibles de la taille qui nous paraît la plus probable et risquer de retarder le projet s'ils ne conviennent pas, ou commander 100 flexibles de tailles différentes sachant que l'on sera alors amené à en jeter 95 ? Le prix d'un flexible n'étant pas négligeable, la décision est alors difficile à prendre.

C'est donc dans l'objectif d'apporter une aide à la décision à ce type de question que nous avons appliqué notre outil de gestion des risques et des opportunités à 2 projets de développement que nous avons suivi depuis leur genèse au sein de LIEBHERR-France.

3.1.3.2 Similarités entre les projets et regroupement des analyses

Chacun de ces 2 projets comprenait plusieurs pelles de tonnage comparable. Le premier a été sélectionné car il correspondait à un produit que LIEBHERR-France n'avait encore jamais conçu et comprenait donc de nombreuses incertitudes. Le second était un renouvellement de gamme sur laquelle nous possédions de nombreuses informations que le service marketing avait établi à l'époque. En comparant alors les choix faits par le service marketing avec les

recommandations de notre outil sous la lumière des réactions de la clientèle, nous avions un retour d'expérience intéressant pour notre outil, sans devoir attendre la mise sur le marché du projet de développement.

Avec comme objectif de minimiser le temps d'analyse et le nombre des interviews, nous avons recueilli, auprès des différents experts ayant participé aux élicitations, la portée des résultats qu'ils nous avaient fourni. Ainsi, pour :

- **Les constantes d'échelle multilinéaires** : le directeur commercial de l'entreprise a distingué trois catégories de tonnage pour les pelles de terrassement, et a estimé que dans chacune de ces catégories, les mêmes constantes d'échelle pouvaient âtre réutilisées.

- **Les fonctions d'utilité sur les performances** : si elles doivent être élicitées pour chaque projet de développement, il est néanmoins possible de reprendre certains résultats pour les différentes pelles d'un même projet. Par ailleurs, après vérification expérimentale, nous avons fait l'hypothèse d'une fonction linéaire pour l'attribut sur le prix.

- **La fonction d'utilité sur la rentabilité** : l'indicateur de rentabilité a la même signification pour tous les projets de développements à LIEBHERR-France. Ainsi, sa fonction d'utilité est valable pour tous les projets, tant que la situation économique de l'entreprise et la situation du marché restent stables.

- **La fonction d'utilité partielle sur les délais** : Les projets cibles ayant exactement les mêmes contraintes en termes de délais, la fonction n'a du être élicitée qu'une fois.

La conséquence de ces regroupements, en fonction des similarités des projets cibles, fait que nous n'avons du éliciter que :

- 26 fonctions d'utilité sur les 56 prévues en théorie, soit une diminution de 54% du travail.
- 3 ensembles de constantes d'échelle sur 8 prévues en théorie, soit une diminution de 63% du travail.

3.1.4 Définition des attributs

A travers des exemples, nous présentons dans ce paragraphe les différents attributs (Cf. paragraphe 2.2.1) que nous avons retenus dans le cas d'un projet de développement de pelles hydrauliques sur chenilles ainsi que les experts de l'entreprise que nous avons interrogés.

3.1.4.1 Indicateur sur les délais

Après avoir fixé la date initiale objective de mise sur le marché du nouveau produit, nous avons choisi le nombre de semaine de retard du projet comme indicateur sur les délais. Un projet en avance se traduit alors par un indicateur négatif.

Les experts interrogés ont été les membres du service EPM qui ont en charge la gestion des projets de développement. En effet, de par leur activité, ils ont une vision précise des différents enjeux et problématiques de l'ensemble des projets en cours.

3.1.4.2 Indicateur sur la rentabilité

Pour cet indicateur, nous nous sommes tournés vers le département « contrôle de gestion », dont le responsable a joué le rôle d'expert. Ce service tient à jour, et ce pour tout les projets de développement, un document appelé « Erfolgsrechnung », ce qui signifie « calcul de rentabilité » en français. Ce document recense et estime tous les coûts et bénéfices potentiels d'un projet.

En début de projet, la direction fixe un objectif de rentabilité sur la marge brute, qui est définie comme la différence entre le prix client et le coût de fabrication, ramenée sur les coûts de fabrication :

$$MB = \frac{PC - HK}{HK}$$

MB : Marge brute
HK : Herstellungskosten (Coûts de fabrication)
PC : Prix client
SK : Selbstkosten (Coûts annexes)

Cependant, comme on peut le constater sur le graphique ci-dessous, la marge brute ne correspond pas forcément au taux de remboursement des charges fixes, indicateur que nous avons défini et retenu au paragraphe 2.2.1.4. En effet, la colonne du milieu décompose les différents coûts de fabrication en coûts fixes et en coûts variables. La colonne de droite somme alors les coûts variables (représentés en bleu) et les coûts fixes (représentés en gris).

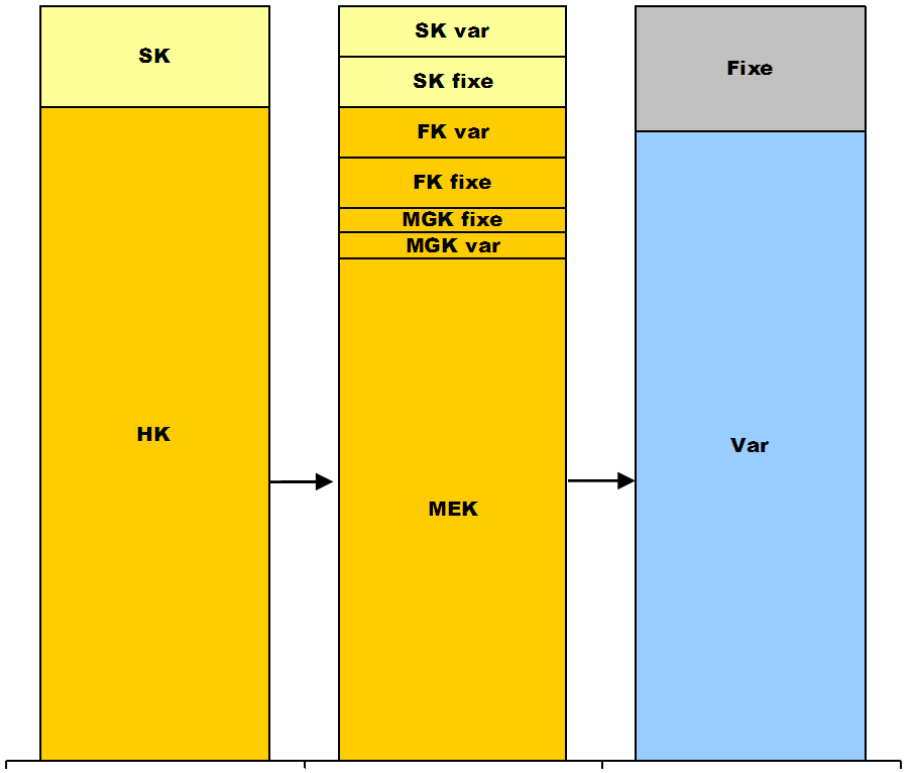


Figure 76 - Charges fixes et variables d'un projet de développement

Fixe : Cumul des charges fixes du projet de développement

Var : Cumul des charges variables

Indicateur retenu : $\frac{PC - Var}{Fixe}$

Les objectifs de la direction ont ainsi du être traduits à travers ce nouvel indicateur.

3.1.4.3 Indicateur sur la performance

Choix des critères de performance et indicateurs

Données marketing disponibles

Nous avons tout d'abord recensé, avec le service marketing, la liste de tous les critères qui pouvaient être utilisés pour évaluer la performance d'une pelle hydraulique sur chenille. Cette liste, qui figure en annexe C de ce mémoire, distingue un quarantaine de critères, classés dans différentes catégories : Economique, Technique, Transport, Qualité, Cabine, Environnement. Ne pouvant intégrer tous ces critères à notre analyse, nous nous sommes alors appuyés sur un sondage, réalisé auprès de plus de 240 concessionnaires et vendeurs par le service marketing, pour dégager les critères les plus importants. En effet, une question de ce sondage demandait : « quels sont les arguments qui ont le plus de poids lors de la décision d'achat d'une pelle sur chenille ? ». Les résultats du sondage ont fait ressortir les 11 critères suivants comme étant les plus importants :

Critères	Classement
Consommation [l/h]	1
Capacité maximale de godet	2
Consommation productive [l/100t]	3
Vitesse de rotation de la tourelle	4
Forces de levage	5
Forces de pénétration/cavage	6
Poids	7
Force de traction	8
Vitesse de translation	9
Puissance	10
Longueur équipement, dimensions du châssis	11

Tableau 11 - Résultat du sondage marketing pour les critères de performance[33]

Liste retenue des critères de performance

Nous avons alors modifié cette première liste pour la faire correspondre aux principes théoriques décrits au paragraphe 2.2.1.5. Nous avons ainsi :

[33] Sondage réalisé pour un poids de pelle particulier, qui ne constitue en aucun cas un standard LIEBHERR-France.

- Regroupé les 2 critères portant sur la consommation, pour des raisons évidentes d'interdépendances fonctionnelles.

- Distingué 2 forces de levages : la première lorsque la tourelle est positionnée parallèlement au châssis, et la seconde lorsque la tourelle est perpendiculaire au châssis.

- Enlevé la puissance moteur, qui est un moyen technique pour atteindre les autres niveaux de performance, ce qui engendrerait donc également de fortes interdépendances fonctionnelles avec eux.

- Rajouté le prix, écarté par le service marketing qui ne souhaitait conserver que les critères « techniques ».

- Rajouté un critère sur la qualité du réseau SAV/Pièce de rechange[34], écarté pour les mêmes raisons dans le sondage. La valeur de ce critère dépend à la fois du constructeur et de l'endroit dans lequel se trouve la pelle.

- Enlevé le critère du poids, qui n'est important pour le client que par le fait qu'il représente une contrainte pour le transport. En effet, à partir d'un certain poids fixé par la loi, le coût du transport des pelles hydrauliques d'un lieu à un autre augmente fortement. Le poids des machines est donc surveillé tout au long du projet pour ne pas dépasser le seuil critique. On verra cependant que le poids intervient dans un autre critère de performance, celui de la force de traction de la pelle.

- Rajouté les critères de Confort, de Sécurité et de Design, définis de la manière suivante :

- **Confort** : impression générale qui inclue le confort du siège, le bruit, les vibrations, les odeurs, la finition et les textures à l'intérieur de la cabine, le display, l'autoradio, la précision de manipulation de l'équipement avec les joysticks et les pédales, l'accessibilité aux points de maintenance journaliers, etc.

- **Sécurité** : impression générale qui inclue la stabilité de la machines, les différents équipements spécifiques à la sécurité comme la caméra de recul, les systèmes FOPS ou ROPS (protections en cas de chute d'objets et de retournement de la pelle), etc.

[34] A noter que le prix et la qualité du réseau SAV figurent parmi les critères les plus important dans les « rapports des affaires perdues et gagnées », documents auxquels le service vente nous a aimablement donné accès.

- **Design** : impression générale qui inclue la forme, les proportions, les textures, les aspects et les couleurs de la pelle dans son ensemble, mais également des différents éléments qui la composent, comme la cabine, les phares ou encore les feux de signalisation.

Concernant la **fiabilité,** même s'il s'agit d'un critère fondamental pour le client lors du processus d'achat, nous avons choisi de ne pas la rajouter à la liste des critères de performance, car contrairement à tous les autres critères, il n'est pas possible d'en donner une estimation avant la mise en série du projet de développement.

Le tableau suivant représente donc la liste finale des critères que nous avons retenus pour l'évaluation de la performance. Le type d'attribut fait référence au paragraphe 2.2.1.5.

Critères	Type d'attribut
Prix Client [k€]	Quantitatif ordonné
Consommation [l/h]	Qualitatif ordonné
Capacité maximale du godet [m3]	Quantitatif ordonné
Rotations tourelle [t/min]	Quantitatif non-ordonné
Force de levage en long [kg]	Quantitatif ordonné
Force de levage à 90° [kg]	Quantitatif ordonné
Force de pénétration [kN]	Quantitatif ordonné
Force de traction [kN]	Quantitatif ordonné
Vitesse de translation [km/h]	Quantitatif ordonné
Design	Qualitatif non-ordonné
Confort	Qualitatif non-ordonné
Sécurité	Qualitatif non-ordonné
Réseau SAV/PdR	Qualitatif non-ordonné

Tableau 12 - Liste finale critères retenus pour l'évaluation de la performance

Précisons que cette liste est spécifique aux projets que nous traitons. Dans le cas d'autres types de pelle, comme, par exemple, les pelles « compacts », nous y aurions rajouté le rayon de giration. Les pelles compacts, de longueur plus petite, sont en effet destinées à des travaux de voiries où autres utilisation pour lesquelles l'aire d'évolution de la pelle est limitée.

Exemples de traduction en attributs

Nous donnons à présent des exemples de traduction de ces critères en attributs.

Le prix de vente

Comme le montre la figure ci-dessous, le prix peut avoir plusieurs significations. Pour nous focaliser sur la relation de vente entre le constructeur et le concessionnaire (B to B), nous avons tout naturellement retenu le prix concessionnaire comme attribut.

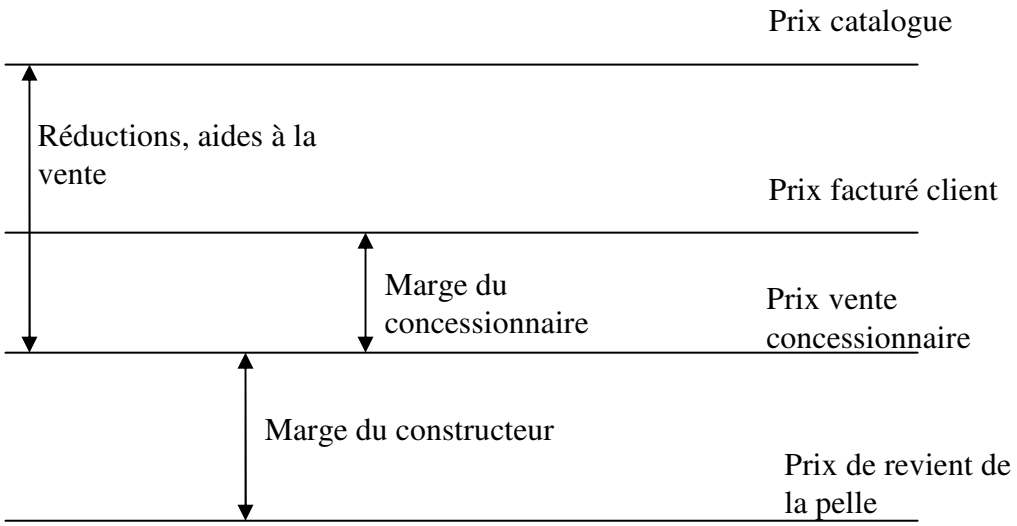


Figure 77 - Les différents prix du processus d'achat

Force de pénétration et force de cavage

La force de pénétration et la force de cavage sont toutes les deux relatives à la force qu'exerce l'équipement de la pelle sur le matériau. La force de pénétration concerne plus le balancier (partie intermédiaire de l'équipement), alors que la force de cavage représente la force exercée par le godet.

Ces 2 forces figurant sur les prospectus commerciaux des pelles hydrauliques, il aurait été approprié de distinguer 2 attributs. Cependant, après discussion avec les concepteurs du département « équipement », il ressort que pour que les cycles de travail des pelles LIEBHERR soient les plus efficaces possible, la force de cavage est déduite de la force de pénétration par un certain ratio. Ainsi, les 2 critères doivent être regroupés sous 1 seul attribut et il est possible d'indiquer simultanément à l'expert les 2 valeurs lorsqu'on élicite auprès de lui la fonction d'utilité partielle.

La consommation

Dans le cas des pelles hydrauliques sur chenilles, aucune norme ne spécifie encore les calculs ou les tests standardisés à effectuer pour déterminer la consommation de carburant. Par

conséquent, même si l'attribut est quantitatif au départ, nous avons du le traiter comme un attribut « qualitatif » ordonné. Ainsi, la consommation pouvait être :

- La meilleur du marché
- Parmi les meilleurs du marché
- Dans la moyenne
- Parmi les pires du marché
- La pire du marché.

On notera qu'un projet de norme est en cours à ce sujet.

La vitesse de rotation de la tourelle

Cet exemple illustre la situation où un paramètre quantitatif doit être traité de manière qualitative car les objectifs antagonistes qu'il contient intrinsèquement rendent la fonction d'utilité non-monotone sur la valeur de la vitesse de rotation. En effet, si le client apprécie une vitesse de rotation élevée, il recherche également la nervosité de la rotation (le couple) et sa précision. Or plus la vitesse maximale de rotation est élevée, moins la pelle est nerveuse. Les résultats obtenus de la fonction d'utilité valident cette hypothèse.

La force de traction

La force de traction est un attribut qualitatif dont la fonction d'utilité est monotone positive, c.à.d. que plus la force de traction est élevée, plus le client est satisfait. Cette grandeur, exprimée en kN, représente la force avec laquelle les chenilles peuvent translater la pelle. Elle est également à l'origine de :

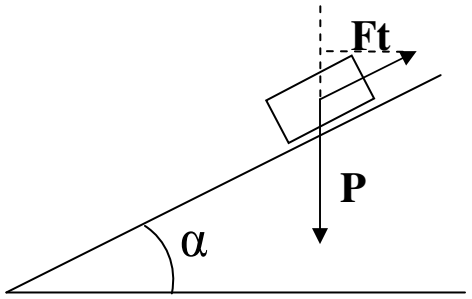
- la sensation de réactivité, pour le chauffeur, dans les situations embourbées lorsque cette force est mise en relation avec le poids de la machine.

- la valeur de l'angle maximal franchissable, c.à.d. la plus forte pente que peut gravir la pelle.

Si l'on présente à l'expert la seule valeur de la force de traction, il n'en percevra donc pas toute la signification. Ainsi, nous lui avons également communiqué :

- L'angle α_{max} franchissable, calculé comme indiqué sur la Figure 78 avec un coefficient de frottement idéal.

- Le coefficient de réactivité de la pelle, équivalent à $c = \frac{Ft}{mg}$ où Ft est la force de traction, m la masse de la pelle et g la constante gravitationnelle.



Condition d'adhérence :

$$mg \times \sin(\alpha) < Ft$$

$$\alpha_{\max} = \arcsin\left[\frac{Ft}{mg}\right]$$

Figure 78 - Calcul de l'angle maximal franchissable d'une pelle

Les experts retenus

Comme nous venons de le voir, pour certains critères de performance, l'appréciation d'une valeur, qualitative ou quantitative, peut faire appel à une expérience, une sensation. Ainsi, si nous avons élicité les constantes d'échelle exclusivement auprès des vendeurs, plus à l'aise dans les processus de négociation, nous avons sollicité des démonstrateurs pour éliciter les fonctions d'utilité partielles sur :

- La vitesse de rotation de la tourelle
- La force de traction
- Le Design
- Le confort
- La sécurité

L'intervention des démonstrateurs dans le processus d'élicitation se justifie également du fait que l'avis du chauffeur a un poids important lors de l'achat d'une pelle hydraulique par un chef de chantier.

CHAPITRE 3.2 : RESULTATS

Nous présentons dans ce chapitre les résultats de notre travail de recherche. Une première partie sera consacrée à la validation expérimentale des différentes méthodologies employées, puis nous exposerons les résultats des élicitations réalisées au sein de LIEBHERR-France, avant d'aborder, dans un troisième sous-chapitre, l'aide à la décision que nous avons réellement pu apporter aux projets de développement.

3.2.1 Validation expérimentale de la méthodologie.

Nous exposons, dans ce paragraphe, les résultats de 4 démarches menées pour valider :

- La nouvelle méthodologie proposée au paragraphe 2.2.2.2 pour l'encodage des constantes d'échelle.

- L'hypothèse de linéarité effectuée sur la fonction d'utilité partielle du prix.

- L'emploi de la méthode des loteries équivalentes.

- La programmation du logiciel développé : E.U.R.O.P.I.

3.2.1.1 Méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle sur la performance

La nouvelle méthodologie d'encodage des constantes d'échelle pour une fonction d'utilité multi-attributs de forme multiplicative, que nous avons exposé en 2.2.2.2 et validé mathématiquement dans l'annexe A, a fait l'objet d'une validation expérimentale auprès de 28 élèves de l'ENSAM à Paris. L'objectif était de savoir :

- Si les résultats obtenus avec cette méthode différaient de ceux obtenus avec la méthode de Keeney et Raïffa.

- Si la réponse des experts avait été cognitivement facilitée avec la méthode que nous proposons.

Protocole expérimental résumé

Le produit utilisé comme exemple lors de l'expérimentation était un lecteur MP3, pour lesquels nous avions sélectionné les critères de performance suivants :

- Le prix, variant entre 60 et 230 Euros.
- La capacité de stockage, entre 2 et 8 Go.
- L'autonomie audio, de 8 à 50 h.
- La qualité du son, critère qualitatif variant du pire au meilleur du marché, tout comme les 2 autres critères suivants.
- La qualité de l'affichage et les fonctions du logiciel.
- L'ergonomie du lecteur.

Il a alors été demandé aux étudiants, à l'aide d'un logiciel spécialement programmé pour l'occasion:

- d'éliciter la fonction d'utilité partielle sur le prix.
- d'éliciter les constantes d'échelle de tous les attributs sauf celui relatif au prix.
- d'éliciter la constante d'échelle sur le prix de deux façons différentes : le premier scénario étant celui de Keeney et Raïffa, le second celui de la nouvelle méthodologie que nous proposons.
- de répondre aux questions suivantes :
    - « Des 2 scénarios risqués que l'on vous a proposé, lequel vous a paru le plus vraisemblable? Le premier ou le second? Pourquoi? »
    - « Cela a-t-il facilité, influencé votre cheminement de pensée lors de votre réponse ? »

Synthèse des résultats des expérimentations

Premièrement, dans 90% des interviews, la fonction d'utilité sur le prix était parfaitement linéaire, ce qui nous a permis de valider l'hypothèse que nous avons formulé pour ce cas d'étude.

Concernant l'élicitation des constantes d'échelle, 23 résultats restaient exploitables, étant donné que :

- 2 étudiants n'ont pas rempli le questionnaire jusqu'au bout.
- 3 étudiants ont fourni des résultats incohérents.

Dans 1 cas, l'étudiant n'a pas pu converger vers une équivalence lors du second scénario risqué, étant donné que pour lui, $(x_1^*,..., x_i^0,..., x_n^0)$ était préféré à $(x_1^0,..., x_i^*,..., x_n^*)$, càd qu'un produit aux performances minimum dans tout les domaines, mais avec un prix minimum, était préféré au produit le plus performant avec le prix le plus élevé.

Pour les autres cas, à partir du résultat donné par la première méthode (P_1), nous avons calculé la constante d'échelle multiplicative de désutilité C qui en découle. Nous avons ensuite calculé le résultat qu'aurait du donné le décideur, avec la seconde méthode, pour obtenir la même valeur de C (P_{2th}). Nous avons alors comparé le résultat réellement trouvé (P_2), avec P_{2th}. Le graphique ci-dessous donne les écarts trouvés en fonction de P_1.

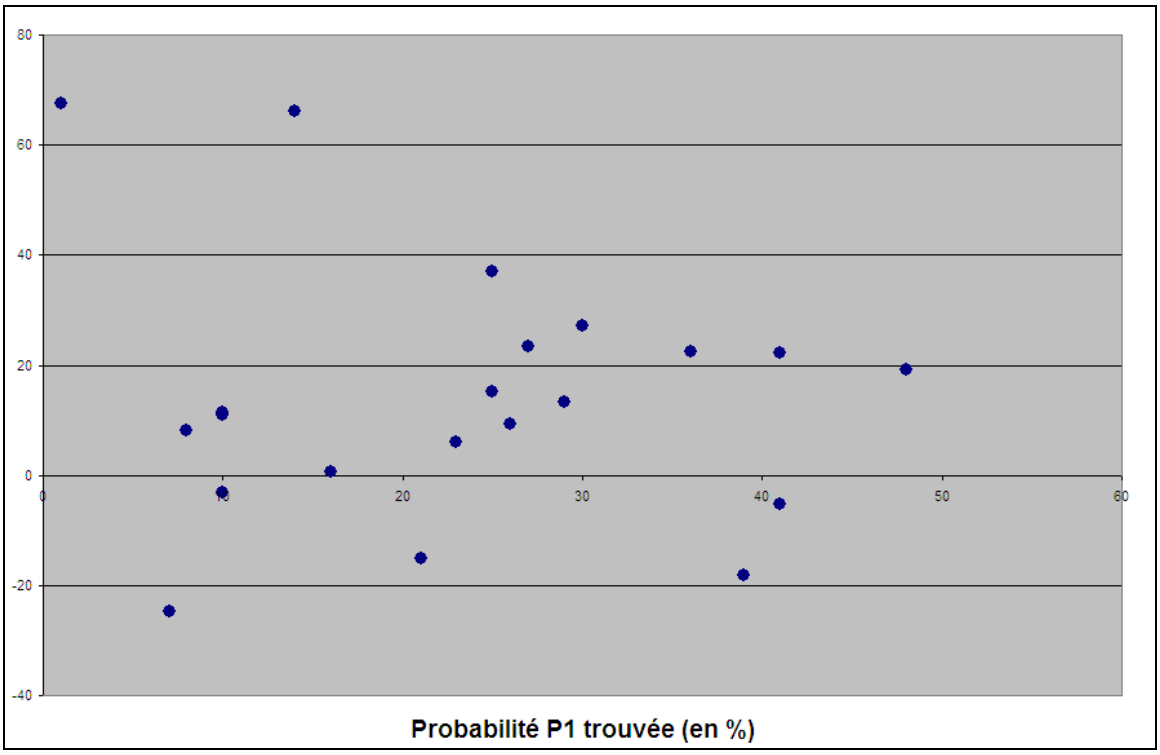


Figure 79 - Différences P2 - P2th trouvées en fonction de P1

En analysant ce graphique, on constate que :

- La différence entre P_2 et P_{2th} ne dépend pas de P_1.
- La valeur de cette différence a plutôt tendance à être positive que négative.

Suite à ce dernier constat, nous avons tracé le graphique du nombre d'échantillons en fonction de la valeur de la différence P_2 - P_{2th} (en %).

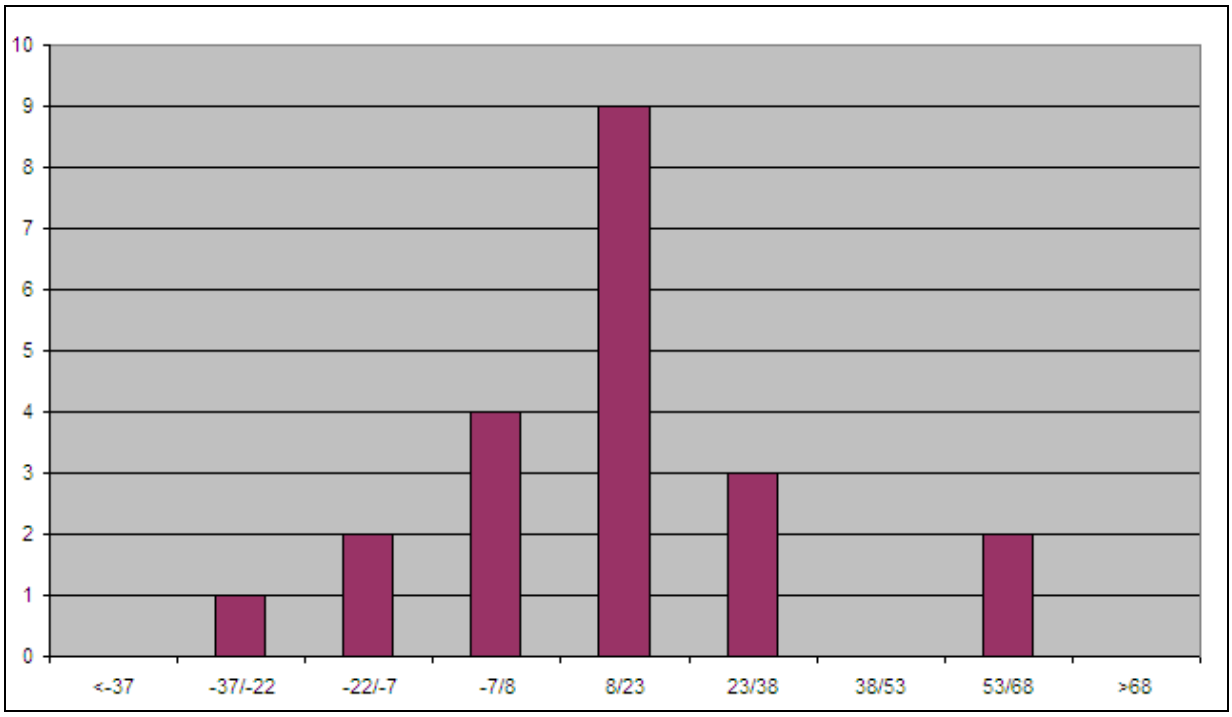


Figure 80 - Nombre d'échantillons en fonction de la valeur de la différence P2 - P2th (en %)

Nous pouvons alors constater que la répartition de ces écarts semble suivre une loi normale qui n'est pas centrée sur 0, ce qui confirme que la différence de scénarios proposé n'est pas sans influence sur les valeurs des constantes d'échelle recueillies.

En dépouillant les réponses aux questions complémentaires posées lors des interviews, on constate que :

- 93% des étudiants considèrent que le second scénario est le plus vraisemblable.
- 64% ont reconnu que cette différence de vraisemblance avait influencé leur cheminement de pensée lors de l'établissement de leur réponse.

Nous sommes donc en droit de conclure que les résultats obtenus avec la nouvelle méthodologie, différents, sont certainement plus proche des préférences réelles des décideurs, étant donné la meilleur compréhension du scénario d'encodage.

Conclusions des expérimentations

Cette vérification expérimentale a tout d'abord mis en avant qu'il était indispensable de paramétrer l'analyse de façon à ce que le décideur préfère $(x_1^0,..., x_i^*,..., x_n^*)$ à $(x_1^*,..., x_i^0,..., x_n^0)$.

Les données quantitatives et qualitatives de cette étude tendent ensuite à montrer que le scénario proposé n'est pas neutre dans le processus de détermination des constantes d'échelle. En effet, le deuxième scénario, incontestablement jugé comme plus vraisemblable, facilite le cheminement de pensée du décideur qui se met plus naturellement en situation, ce qui a pour conséquence d'éliminer la risquophobie générée, dans le premier cas, par un scénario invraisemblable.

3.2.1.2 Test de l'hypothèse de linéarité sur la fonction d'utilité partielle sur le prix

Pour vérifier l'hypothèse faite sur la linéarité de la fonction d'utilité partielle sur le prix de la pelle, nous l'avons élicitée auprès de 3 vendeurs différents. Le graphique ci-dessous représente les résultats d'une de ces élicitations, qui ont toutes résulté en une fonction d'utilité linéaire.

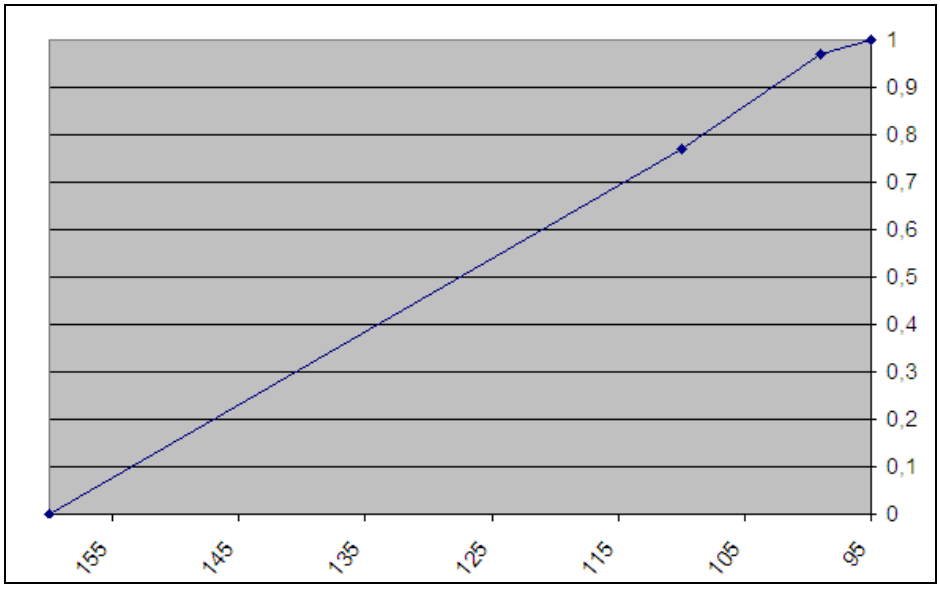


Figure 81 - Fonction d'utilité partielle sur le prix (en k€) d'une pelle

Pour aller plus loin et tester la capacité de l'outil à mettre en avant les préférences subjectives, nous avons élicité, auprès du même vendeur, les utilités d'un prix dit « magique » et d'un prix « rond » : respectivement 99 k€ et 100 k€ dans notre exemple. Nous savons en effet par expérience que ces prix « magiques », terminant souvent par un 9, biaisent la perception du client et le font surévaluer son utilité.

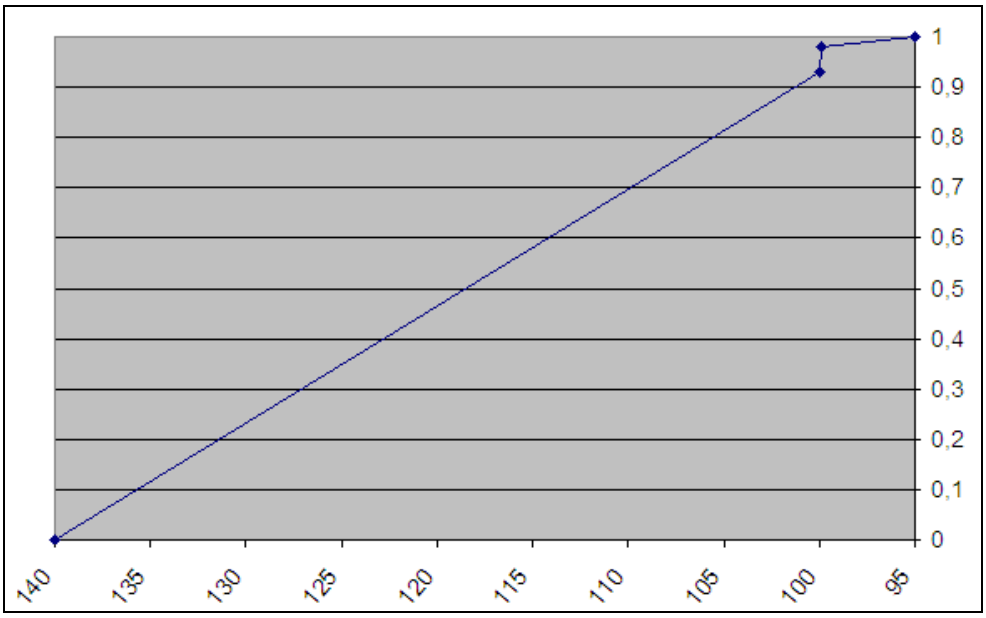


Figure 82 - Fonction d'utilité partielle sur le prix (en k€) d'une pelle : prix « magique »

En analysant le graphique de la Figure 82, on se rend compte que si le prix « rond », 100 k€, a une utilité situé sur la linéaire, le prix « magique » a quant à lui été surévaluée.

Les tests effectués nous ont donc permis de valider l'hypothèse faite sur la linéarité de la fonction d'utilité partielle sur le prix. Ils ont également mis en avant la capacité de notre outil à prendre en compte la subjectivité des évaluations faite par les experts.

3.2.1.3 Test pour la validation de la méthode des loteries équivalentes

Pour éliciter les utilités partielles, nous avons vu dans le chapitre 2.2 que la méthode des Trades-Off (TO) était la plus robuste, notamment face au biais des transformations de probabilité. Dans le paragraphe 2.2.2.1, nous justifions alors l'emploi exclusif de la méthode des loteries équivalentes (LE) par le fait que les attributs qualitatifs ne peuvent pas être traités avec la méthode des TO, et que l'emploi de plusieurs méthodes différentes engendrerait un biais plus important.

Nous avons alors profité de l'élicitation de l'utilité partielle sur la rentabilité pour comparer les résultats fournis par ces deux méthodes. Ces résultats sont présentés sur les 2 graphiques ci-dessous, dont les abscisses ont été masquées pour des raisons de confidentialité.

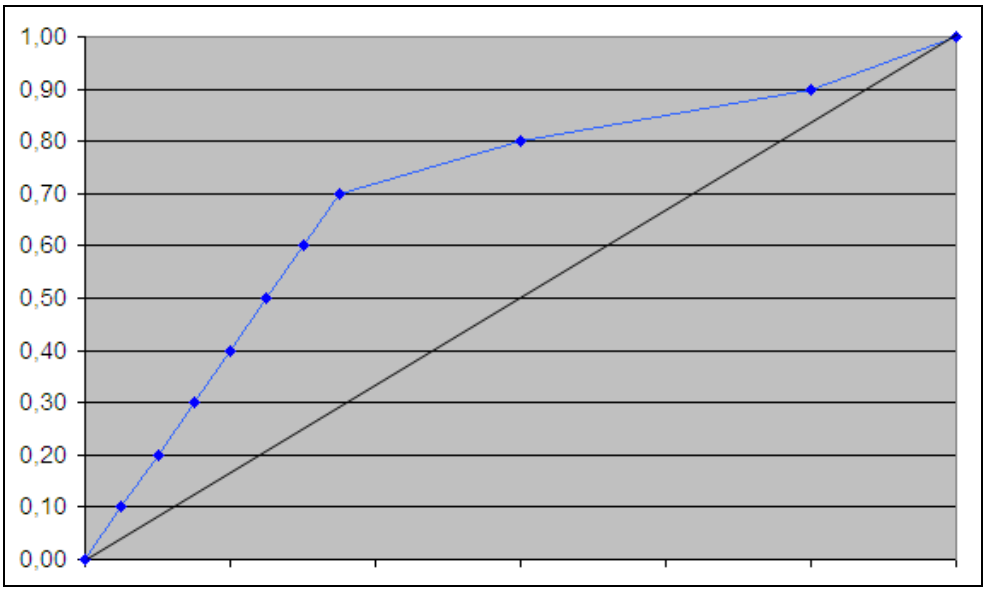


Figure 83 - Fonction d'utilité sur la rentabilité du projet élicitée avec la méthode des Trade-Off

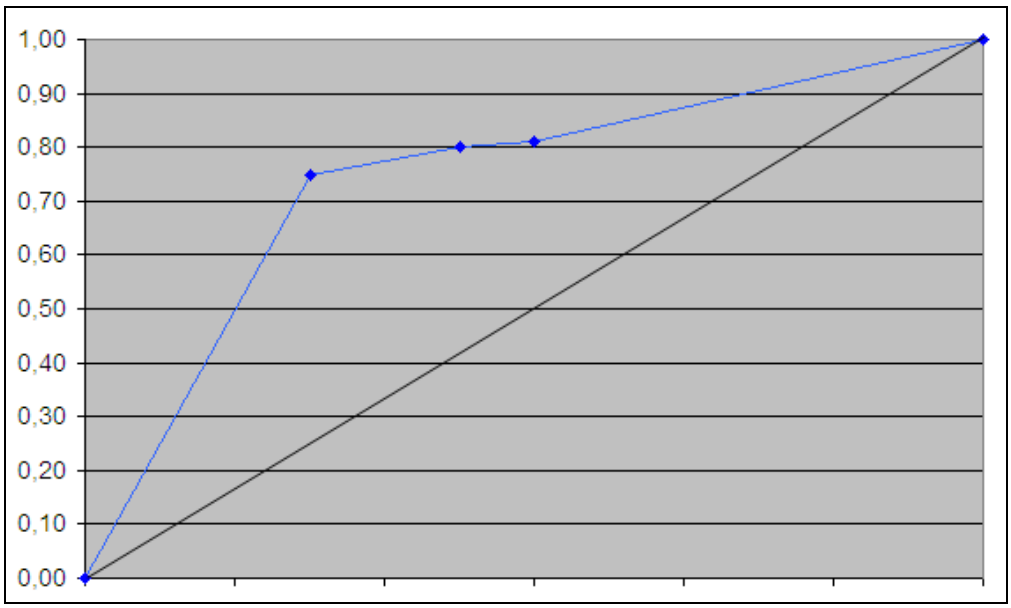


Figure 84 - Fonction d'utilité sur la rentabilité du projet élicitée avec la méthode des loteries équivalentes

Nous constatons que les résultats obtenus avec les 2 méthodes sont très proches, ce qui nous conforte dans nos choix, d'autant plus que la méthode des LE est à la fois plus rapide et plus compréhensible par l'expert que la méthode des TO.

3.2.1.4 Tests réalisés sur le logiciel développé (E.U.R.O.P.I.)

Nous avons vu, dans la description du fonctionnement de notre outil développé sous Excel (Cf. 2.3.2), que les résultats apparaissaient souvent de façon automatique, en cliquant

simplement sur un bouton. Cette particularité de l'outil peut lui conférer un aspect « boîte noire », par laquelle sort un résultat qu'il faut accepter.

Sous les conseils du Dr. Späth, nous avons donc testé les aspects les moins « vérifiables » de notre outil, notamment la génération des courbes d'indifférence[35] entre les paramètres de performance (Cf. 2.3.2.4). Pour ce faire, nous avons repris le fichier, créé à titre d'exemple, sur la conception d'un « fourgon », et l'avons renseigné à partir de fonctions d'utilité dont nous avons supposé les formes. Nous avons alors :

- généré les fonctions d'indifférence entre la consommation du véhicule et son prix, en utilisant le logiciel E.U.R.O.P.I. de bout en bout.

- calculé, à partir des équations des fonctions d'utilité supposées, la forme théorique des courbes d'indifférences.

- comparé les résultats du logiciel avec ceux des calculs effectués « à la main ».

Notations

Soient :

C : la constante d'échelle globale de désutilité multi-attribut sur les performances.
$u_i()$: Fonction d'utilité sur l'attribut i.
$\hat{u}_i()$: Fonction de désutilité sur l'attribut i, avec $\hat{u}_i() = 1 - u_i()$
x_1 : le prix du véhicule, avec $x_1^* = P_{min} = 25$ k€ et $x_1^\circ = P_{max} = 10$ k€
c_1 : la constante d'échelle de désutilité sur le prix.
x_j : la consommation du véhicule, avec $x_j^* = 4$ L/100Km et $x_j^\circ = 10$ L/100Km.
c_j : la constante d'échelle de désutilité sur la consommation.
t : la constante exponentielle de la fonction d'utilité partielle sur la consommation

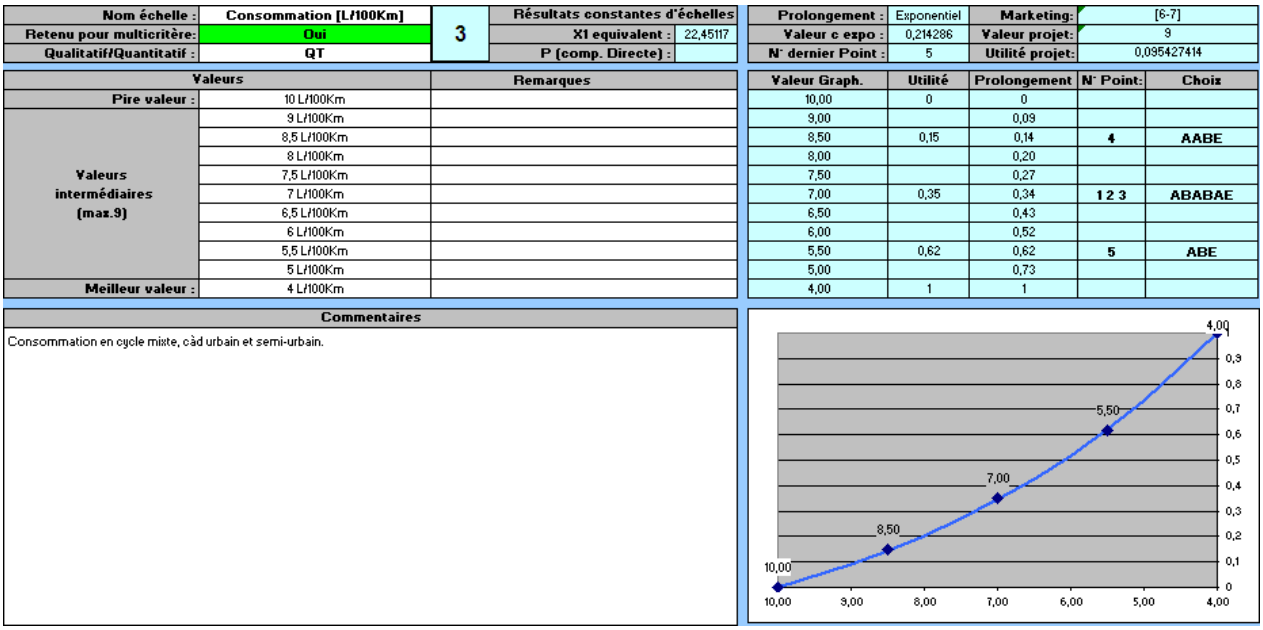
On suppose linéaire la fonction d'utilité sur le prix, i.e. : $u_1(x_1) = \frac{x_1 - P_{max}}{P_{min} - P_{max}}$ **(1)**

Pour la fonction d'utilité partielle sur la consommation, on suppose qu'elle suit une fonction exponentielle de paramètre t, soit : $u_j(x_j) = \frac{e^{-tx_j} - e^{-tx_j^0}}{e^{-tx_j^*} - e^{-tx_j^0}}$ **(2)**. On suppose également t = 0,2.

[35] Ensembles des valeurs des attributs pour lesquels l'utilité globale est constante.

Courbes d'indifférences entre les attributs prix et consommation avec E.U.R.O.P.I.

Nous avons tout d'abord élicité la fonction d'utilité partielle sur la consommation avec E.U.R.O.P.I. en répondant aux choix proposés en fonction du calcul de l'utilité espérée de chaque situation. Nous avons ainsi pu constater, en choisissant le mode exponentiel pour la modélisation de la courbe, que le logiciel nous indiquait une constante de 0,21. Compte-tenu des approximations effectuées par le logiciel lors de l'établissement de l'équivalence et la modélisation de la courbe par la recherche des moindres carrés, ce résultat est tout à fait satisfaisant.



Nom échelle :	Consommation [L/100Km]	3	Résultats constantes d'échelles	
Retenu pour multicritère:	Oui		X1 equivalent :	22,45117
Qualitatif/Quantitatif :	QT		P (comp. Directe) :	

Prolongement :	Exponentiel	Marketing:	[6-7]
Valeur c expo :	0,214286	Valeur projet:	9
N° dernier Point :	5	Utilité projet:	0,095427414

Valeurs		Remarques
Pire valeur :	10 L/100Km	
Valeurs intermédiaires (max.9)	9 L/100Km	
	8,5 L/100Km	
	8 L/100Km	
	7,5 L/100Km	
	7 L/100Km	
	6,5 L/100Km	
	6 L/100Km	
	5,5 L/100Km	
	5 L/100Km	
Meilleur valeur :	4 L/100Km	

Valeur Graph.	Utilité	Prolongement	N° Point:	Choix
10,00	0	0		
9,00		0,09		
8,50	0,15	0,14	4	AABE
8,00		0,20		
7,50		0,27		
7,00	0,35	0,34	1 2 3	ABABAE
6,50		0,43		
6,00		0,52		
5,50	0,62	0,62	5	ABE
5,00		0,73		
4,00	1	1		

Commentaires
Consommation en cycle mixte, càd urbain et semi-urbain.

Figure 85 - Fonction d'utilité partielle sur la consommation générée par E.U.R.O.P.I.

Après avoir renseigné un niveau d'utilité pour tous les autres critères, nous avons alors généré les courbes d'indifférence entre l'attribut prix et l'attribut consommation :

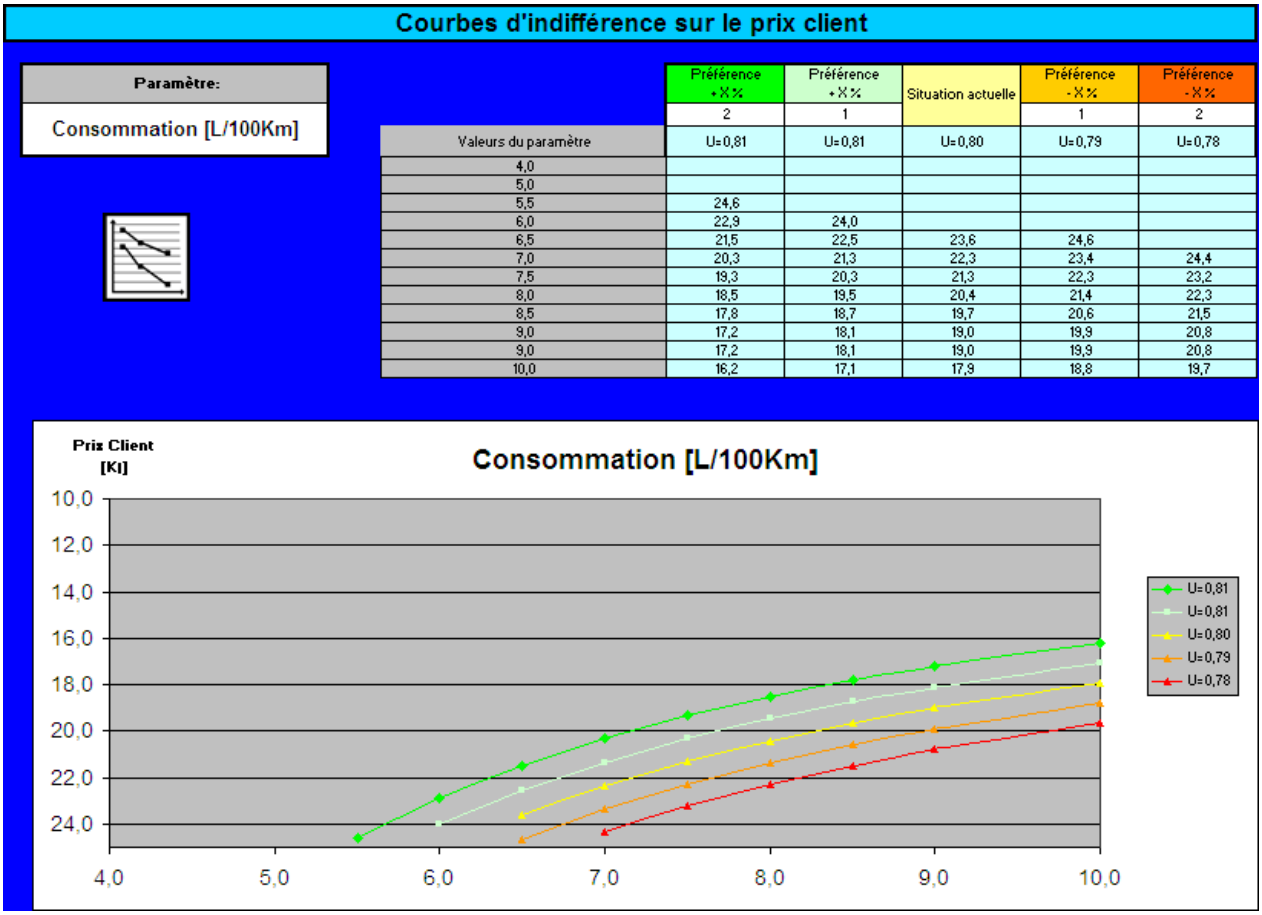


Figure 86 - Courbes d'indifférence, générées avec E.U.R.O.P.I.

Forme théorique des courbes d'indifférence

Par définition, sur une courbe d'indifférence, l'utilité globale est constante. Or dans notre cas, l'utilité globale s'exprime de la manière suivante :

$$U = 1 - \frac{1}{C}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[Cc_i\hat{u}_i(x_i)+1\right]-1\right] \Leftrightarrow (1-U)C+1 = \prod_{i=1}^{n}\left[Cc_i\hat{u}_i(x_i)+1\right]$$

Pour obtenir la forme des courbes d'indifférence, on cherche donc la fonction qui à x_j associe une valeur de x_1. Il est donc opportun de décomposer l'équation de la manière suivante :

$$(1-U)C+1 = \prod_{\substack{i=2 \\ i\neq j}}^{n}\left[Cc_i\hat{u}_i(x_i)+1\right]\left[Cc_1\hat{u}_1(x_1)+1\right]\left[Cc_j\hat{u}_j(x_j)+1\right]$$

En substituant (1) et (2) dans cette équation, on est alors capable d'exprimer x_1 en fonction de x_j de la manière suivante :

$$x_1 = P_{\min} - \frac{\left[\dfrac{(1-U)C+1}{\prod_{\substack{i=2 \\ i\neq j}}^{n}\left[Cc_i\hat{u}_i(x_i)+1\right]\times\left[Cc_j\dfrac{e^{-tx_j^*}-e^{-tx_j}}{e^{-tx_j^*}-e^{-tx_j^0}}+1\right]}-1\right](P_{\min}-P_{\max})}{Cc_1}$$

Nous avons ensuite effectué l'application numérique de cette fonction en prenant comme valeur pour U les 5 mêmes valeurs prises par le logiciel E.U.R.O.P.I. :

	U=				
Consommation	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79
4	33,00	34,46	35,92	37,38	38,84
4,05	32,60	34,04	35,49	36,93	38,38
4,1	32,21	33,64	35,07	36,50	37,93
4,15	31,83	33,25	34,67	36,08	37,50
4,2	31,46	32,87	34,27	35,68	37,08
4,25	31,11	32,50	33,89	35,28	36,67
4,3	30,76	32,14	33,52	34,90	36,28
4,35	30,42	31,79	33,16	34,52	35,89
4,4	30,09	31,45	32,80	34,16	35,52
4,45	29,77	31,12	32,46	33,81	35,15
9,9	16,31	17,17	18,04	18,90	19,77
9,95	16,27	17,13	17,99	18,86	19,72
10	16,22	17,09	17,95	18,81	19,67

Tableau 13 - Application numérique sous Excel de la fonction théorique

Nous avons alors tracé ces courbes d'indifférence théoriques dans un graphique, en les superposant aux points de la courbe donnés par le logiciel (Figure 86). Nous avons alors pu constater (Figure 87) que ces deux résultats concordaient parfaitement.

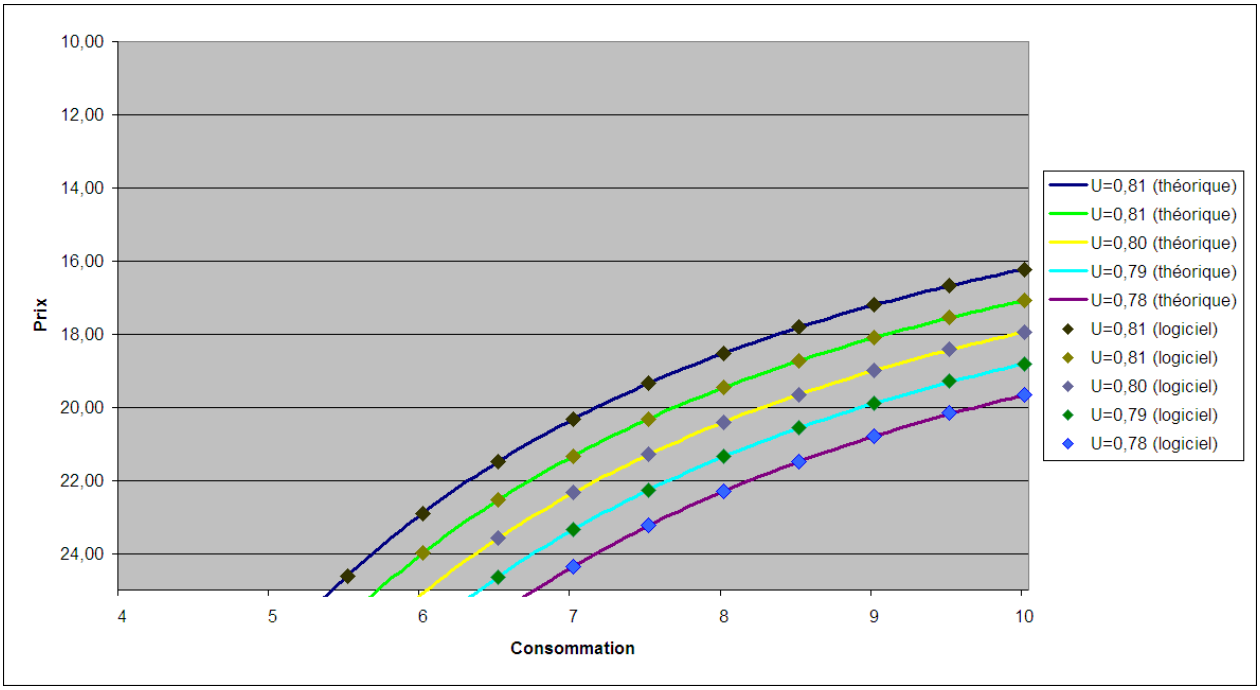


Figure 87 - Courbes d'indifférences : résultats du logiciel comparés aux courbes théoriques

Conclusions des tests réalisés sur le logiciel

Lors des tests effectués, nous avons pu constater que les résultats fournis par le logiciel correspondaient aux résultats théoriques attendus, calculés à partir des données d'entrée. Nous pouvons donc conclure à la fiabilité de la programmation du logiciel et ne plus remettre en question ce paramètre dans la suite de l'exploitation des résultats.

3.2.2 Analyse et interprétation des résultats obtenus sur le terrain

Pour des raisons de confidentialité, l'exposé de certains résultats n'a pas été possible. Par conséquent, nous avons illustré ces résultats par l'exemple du fourgon, respectant la forme des fonctions d'utilité réellement obtenues à LIEBHERR-France.

3.2.2.1 Les élicitations réalisées

Après avoir mené 3 élicitations-test au GRID, parallèlement à la conception de notre outil, 20 interviews[36] ont été réalisées en interne à LIEBHERR-France. Ces interviews se sont étalées sur une période 4 mois environ, entre le 20 janvier et le 7 mai 2009. D'une durée variant entre 30 minutes et 2 h 30, elles ont permis d'éliciter les données suivantes pour les 2 projets cibles :

- Les fonctions d'utilité partielles sur les performances.
- Les constantes d'échelle sur les performances.
- Les utilités partielles sur les délais et la rentabilité.
- Les constantes d'échelle sur la situation globale des projets.

La démarche a été accueillie avec enthousiasme et curiosité par tous les experts interrogés, des démonstrateurs jusqu'au président de l'entreprise. Les interviews se sont toutes déroulées dans un climat enrichissant et constructif. Par ailleurs, aucun expert interne n'a fourni de résultat incohérent.

Nous exposons dans la suite de ce chapitre, en les interprétant, les aspects les plus intéressants des résultats de ces élicitations.

3.2.2.2 Fonctions d'utilité partielles sur les performances

L'élicitation des fonctions d'utilité par la méthode des loteries équivalentes n'a posé aucun problème de compréhension aux experts, entraînés par un test à blanc. Ont ainsi été obtenus 3 types de tracé pour ces fonctions : linéaire, exponentiel et qualitatif. La figure ci-dessous illustre un exemple factice (cas du fourgon) pour chaque cas :

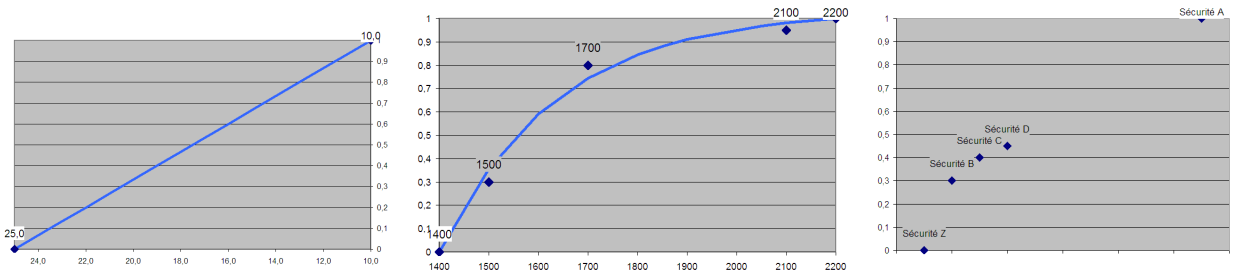


Figure 88 - Fonctions d'utilité de type linéaire, exponentiel et qualitatif

[36] La liste détaillée de ces interviews est consultable en Annexe D.

Il est cependant arrivé plusieurs fois, et ce lors de différentes interviews avec différents experts et sur différents attributs, d'obtenir une fonction d'utilité partielle en « S ». A titre d'illustration, nous avons reproduit sur la Figure 89 une telle fonction pour l'attribut « Volume en m^3 » de l'exemple du fourgon.

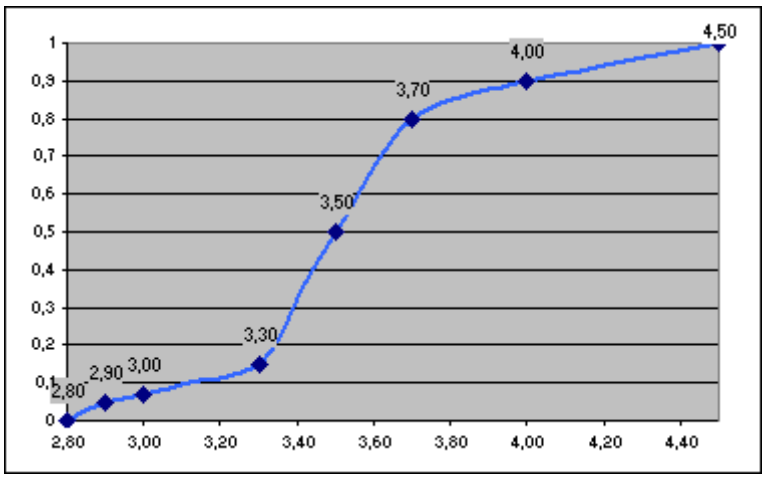


Figure 89 - Fonction d'utilité en "S" sur le volume de chargement

Dans le paragraphe 2.1.3.1, nous avions vu que pour la littérature, une fonction d'utilité en « S » signifie que l'expert a subjectivement transformé les probabilités lors de l'élicitation. Pour annuler l'effet que cela produit sur les résultats, il serait alors nécessaire d'éliciter la fonction de transformation des probabilités auprès de l'expert.

Cependant, nous avons trouvé dans [Munier, Taverdet-Popiolek, 1998], une interprétation différente à ce type de courbe. En effet, les auteurs écrivent à propos de la courbe représentée en Figure 90 : « *On constate que de 10 à 100 km environ, la fonction d'utilité est concave alors qu'elle est convexe après. Cela signifie que le décideur a de l'aversion pour le risque tant que la ligne ne dépasse pas 100 km. Au-delà de ce point d'ancrage, il considère qu'il n'a plus rien à perdre car l'environnement est, de toute façon, bien endommagé. Il n'hésite donc pas à prendre des risques.* »

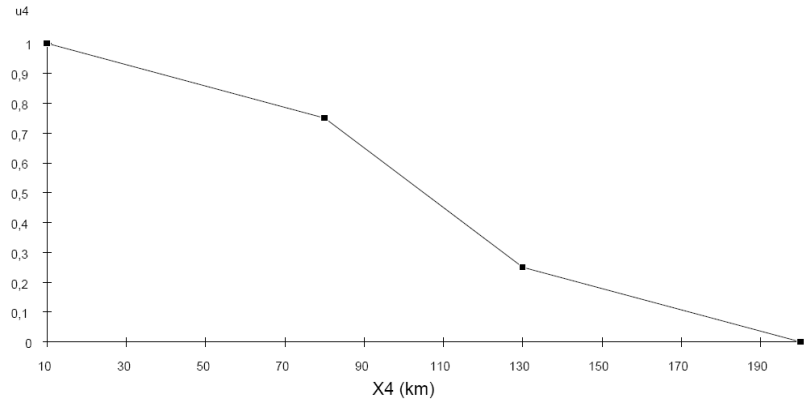


Figure 90 - Fonction d'utilité en "S"
Source : [Munier, Taverdet-Popiolek, 1998]

Après avoir discuté avec les experts des résultats obtenus, nous sommes arrivés à la même conclusion que [Munier, Taverdet-Popiolek, 1998] : en-dessous d'une certaine valeur pour l'attribut (3.3 m^3), l'expert estime que les valeurs sont toutes insuffisantes et les distinguent à peine de l'utilité nulle. Cela se traduit, lors des interviews, par une prise de risque plus importante lorsque des valeurs supérieures à ce seuil critique pourraient être atteintes : il s'agit donc de l'effet « rien à perdre ». A l'inverse, lorsque la valeur proposée est au-delà d'un seuil jugé suffisant, l'expert ne prend plus de risque car il n'a « rien à gagner ». Ainsi, nous sommes en présence d'une courbe en « S » dont la forme n'est pas nécessairement due à une transformation des probabilités.

L'interprétation de ces seuils, « insuffisant » et « satisfaisant », peut être faite, dans notre cas, de la manière suivante. Etant donné que les experts interrogés sont des vendeurs ou des démonstrateurs qui connaissent les habitudes de centaines de clients, ils expriment, de manière inconsciente, des informations comme : « Dans 95% des cas, les objets transportés dans ce type de fourgon rentrent très bien dans un volume de chargement de 3,7 m^3 » ou encore, « Si le volume est inférieur à 3,3 m^3, les clients ne pourront plus y mettre 10% des objects qu'ils y mettent à l'heure actuelle, ils ne l'accepteront pas ».

Face à cette situation, nous avons alors décidé d'amputer la partie jugée « inacceptable » de l'intervalle des possibles, puis avons appliqué à la fonction d'utilité une transformation affine positive pour la normalisé sur l'interval restant. Il était alors possible de modéliser la fonction d'utilité de manière exponentielle, ce que nous illustrons sur la figure suivante.

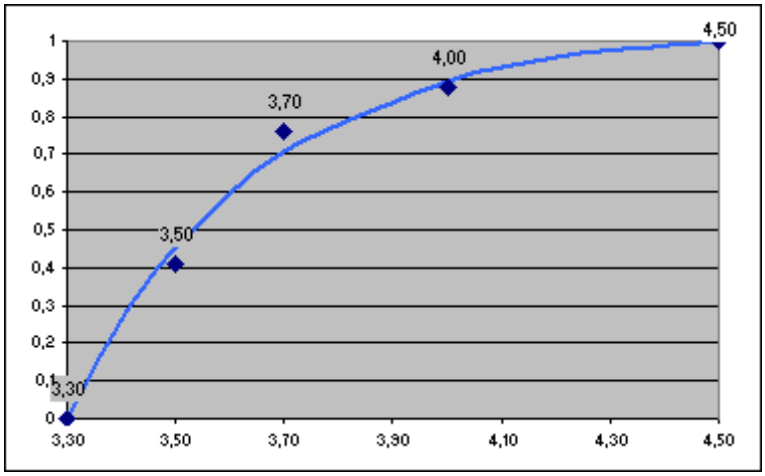


Figure 91 - Fonction d'utilité sur le volume de chargement, après réduction de l'intervalle des possibles

Nous traitons de manière plus approfondie la question de fond que met en avant cet exemple dans le paragraphe 3.3.1.1.

3.2.2.3 Constantes d'échelle sur les performances

La Figure 92 présente les valeurs des constantes d'échelle sur les performances, élicitées pour un projet de développement de pelle hydraulique.

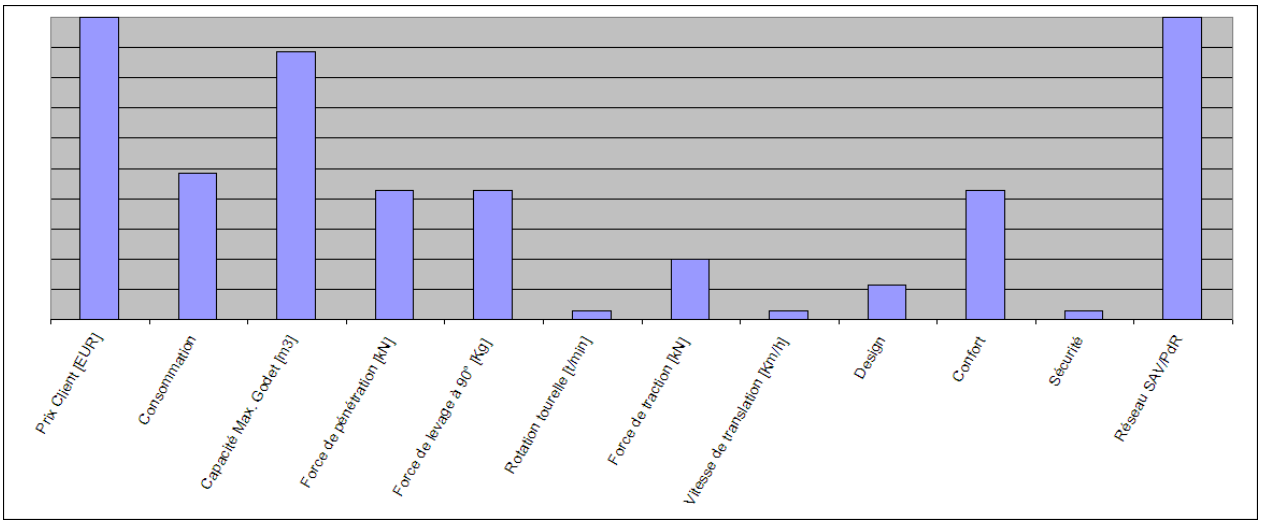


Figure 92 - Valeur des différentes constantes d'échelle pour la future pelle X

Comparaison avec les classements issus des sondages concessionnaires

Comme nous l'avons déjà mentionné, ces valeurs ne représentent pas tout à fait l'importance des différents critères de performance pour le client. En effet, pour cela, elles doivent être

associées à la largeur de l'intervalle sur lequel peut varier le critère. Pour cette raison, la comparaison de ces résultats avec le classement des critères par ordre d'importance, effectué par le service marketing suite au sondage réalisé auprès des concessionnaires (Cf. paragraphe 3.1.4.3), doit se faire avec prudence.

On peut toutefois noter que ce classement place la « vitesse de rotation de la tourelle » et la « vitesse de translation », respectivement à la 4ème et 9ème position parmi les critères les plus importants pour le client (devant la puissance de la machine, 10ème). Or nos élicitations tendent à montrer qu'une amélioration de ces critères serait insignifiante pour le client : on le lit sur les 6ème et 8ème barres du graphique de la Figure 92. Les échanges que nous avons pu avoir, par la suite, avec différents vendeurs et démonstrateurs, tendent à confirmer la validité de nos résultats.

Comparaison avec les rapports d' « affaires perdues »

Une fois les utilités partielles sur les performances et leurs constantes d'échelle relatives obtenues, il est possible de connaître l'utilité de n'importe quelle configuration de pelle, pourvu qu'elle reste dans les intervalles des possibles définis pour chaque critère. Ainsi, nous avons pu déterminer les utilités des pelles de nos concurrents directs. Comme l'utilité sur les performances est un indicateur de la satisfaction du client incluant le prix de vente, il devrait également être un indicateur de la compétitivité des pelles sur le marché.

Pour chaque vente que LIEBHERR-France n'a pas pu conclure auprès d'un client, le vendeur effectue un rapport dans lequel il note les différents constructeurs en compétition dans la vente, ainsi que les arguments qui ont fait basculer la vente. Ce sont les rapports d' « affaires perdues ». Nous avons alors tenté d'expliquer les statistiques de ces rapports à l'aide de nos résultats.

S'il ne nous est pas possible, pour des raisons de confidentialité, d'illustrer cette tentative d'explication, nous pouvons dire qu'elle a échoué. En effet, les constructeurs contre lesquels LIEBHERR-France a le plus perdu d'affaires, en pourcentage, ne correspondent pas à ceux dont l'utilité sur la performance est la plus haute. Cet échec peut néanmoins s'expliquer par les raisons suivantes :

- Lorsqu'on analyse les rapports, on se rend compte que les arguments qui ont le plus souvent fait basculer la vente en défaveur de LIEBHERR-France sont : le prix, la fidélité du client à

une marque ou un concessionnaire, et le délai de livraison. Si nous reviendrons sur l'importance croissante du prix dans le paragraphe suivant, il est évident que les 2 autres arguments ne sont pas reflétés dans nos évaluations.

- L'image de marque, volontairement absente de nos critères de performance car résultant, en grande partie, de la performance des projets passés, participe également au décalage.

- La stratégie, différente selon les constructeurs, serait également à prendre en compte pour expliquer les décisions d'achat. Par exemple, le fait que LIEBHERR-France propose au client une personnalisation de la configuration et/ou du Design de ses pelles constitue un argument de vente non négligeable qu'il faudrait prendre en compte dans l'évaluation de la compétitivité des produits.

Pour toutes ces raisons, même si nos résultats ne peuvent expliquer les rapports d' « affaires perdues », nous ne remettons cependant pas en doute leur validité. Nous reviendrons toutefois, dans la partie discussions, sur les possibles améliorations du modèle pour combler ce manque. (Cf. paragraphe 3.3.3)

Remarque : nous aurions également pu évoquer la compétence des vendeurs des différents constructeurs pour justifier la discordance des résultats. Cependant, sur la globalité des vendeurs, les écarts de compétence doivent s'équilibrer, et ainsi estomper les différences entre les constructeurs dans ce domaine.

Elicitations réalisées au Salon Intermat 2009[37]

Une dernière série d'élicitations a eu lieu à Paris, lors du salon Intermat 2009 auquel participe le groupe LIEBHERR. Les constantes d'échelle sur les performances, pour différents types de pelles hydrauliques, ont ainsi été élicitées auprès d'une dizaine de vendeurs présents sur le stand LIEBHERR.

Si ces élicitations, réalisées dans des conditions « moins idéales », étaient déconnectées de la mise en application de notre outil sur les 2 projets de développement cible, elles nous ont tout de même permis de tirer les conclusions suivantes :

[37] Intermat est l'un des trois plus grands salons au monde qui réunit les principaux acteurs de la fabrication des matériels de construction. La surface totale du salon représente 180.000m², dont 30.000m² de zone de démonstration en extérieur. 1.320 sociétés exposantes venant de 43 pays ont accueilli 209.032 visiteurs venant de 127 pays en 2006.

- En interviewant des chauffeurs de pelles présents sur le salon, nous avons pu nous rendre compte de la variabilité très importante de leurs réponses. Ce phénomène, directement engendré par la diversité des utilisations que les clients font de leur pelle, illustre la nécessité d'appliquer notre outil dans un contexte B to B, et non B to C.

- Les résultats présentés sur la Figure 92 ont globalement été confirmés lors de ces élicitations. On retrouve notamment les très faibles valeurs des constantes d'échelle sur la « vitesse de rotation de la tourelle », la « vitesse de translation » et la « sécurité ». Pour ce dernier paramètre, le client part du principe que le constructeur respecte la réglementation et les normes de sécurité, il n'est donc pas prêt à payer pour avoir plus que le minimum requis dans ce domaine.

- Lors des interviews, les experts étaient prêts à prendre beaucoup plus de risques, sur la qualité globale de la pelle, afin d'obtenir un prix plus faible. Après débriefing, il s'avère que la crise économique, dont les effets se sont réellement fait ressentir en début d'année 2009 dans le secteur des travaux publics, produit chez les clients une forte augmentation de l'importance du prix. Par conséquent, un changement du contexte économique en cours de projet, doit non seulement entraîner la réelicitation de la fonction d'utilité partielle sur la rentabilité, mais également celle des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multiplicative sur les performances.

3.2.2.4 Constantes d'échelle sur la situation globale des projets.

Les constantes d'échelle de la fonction d'utilité globale du projet ont été élicitées à 4 reprises. En effet, ces données étant sans doute les plus importantes de notre déploiement expérimental, l'analyse de plusieurs résultats différents paraissait nécessaire pour nous diriger vers les valeurs les plus représentatives des phénomènes qu'elles modélisent.

Les valeurs obtenues lors de ces 4 élicitations sont représentées sur le graphique de la Figure 93. Nous constatons qu'elles diffèrent fortement les unes des autres.

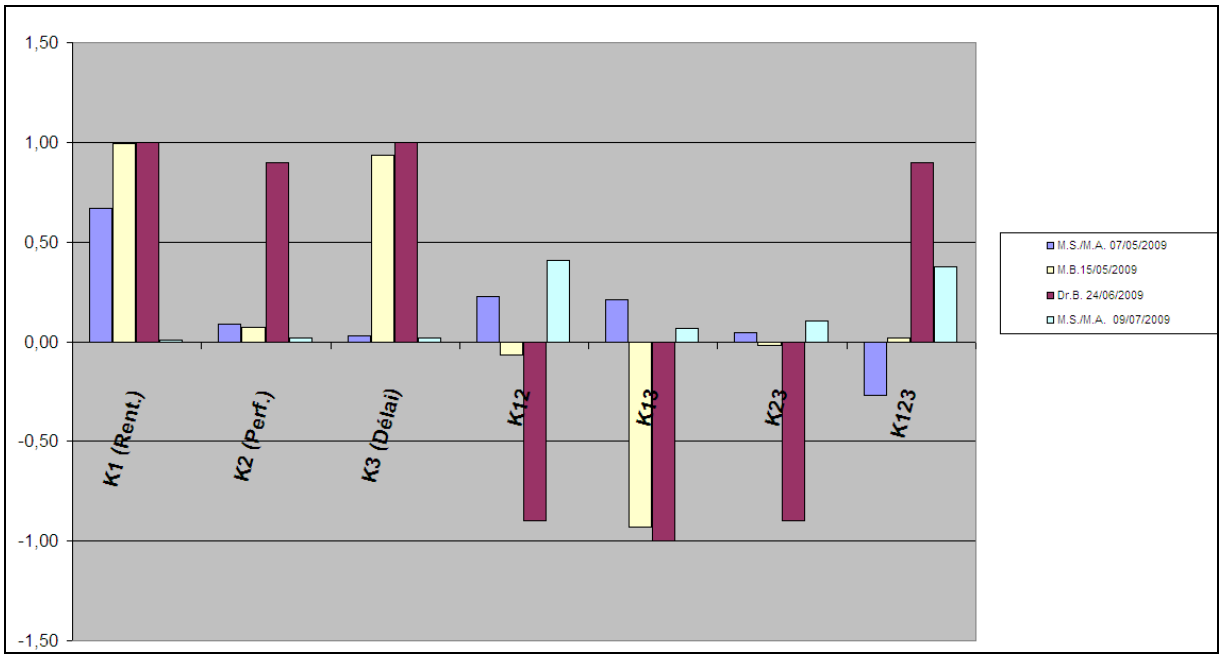


Figure 93 - Valeurs des constantes d'échelle multilinéaires

Avant d'analyser ces différences, rappelons la forme de la fonction d'utilité multilinéaire :

$$U = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_3(x_3) + k_{12} u_1(x_1) u_2(x_2) + k_{13} u_1(x_1) u_3(x_3) + k_{23} u_2(x_2) u_3(x_3) + k_{123} u_1(x_1) u_2(x_2) u_3(x_3)$$

Ainsi que la signification des 3 utilités partielles :

u_1 : utilité partielle sur la rentabilité.

u_2 : utilité partielle sur la performance.

u_3 : utilité partielle sur les délais.

Pour définir les valeurs minimum et maximum de l'attribut sur la performance, nous avons pris en compte les « fourchettes » cibles définies par le service marketing lors de la phase d'avant-projet. Ainsi, la valeur minimum de l'attribut « performance » correspond à une pelle qui ne remplie que les exigences minimales demandées par le marketing. La valeur maximum correspond, à l'inverse, à une pelle qui remplie toutes les plus hautes exigences.

Analyse des différents résultats

1ère élicitation : Après avoir été interviewés, MM. A. et S., spécialistes de la gestion de projet, ont regretté de n'avoir pas eu plus d'explications quant à la signification exacte de l'attribut

sur la performance. Les valeurs obtenues (en bleu sur le graphique), montrent une priorisation prononcée de l'attribut sur la rentabilité.

2ème élicitation : Pour tenir compte des remarques formulées lors de la première élicitation, les caractéristiques correspondant à une pelle d'un niveau de performance minimum/maximum ont été communiquées en début d'interview à M. B, directeur commercial. Les résultats obtenus (en beige sur le graphique) montrent que si la rentabilité maximale est atteinte, ou que si le projet se fini dans les temps, alors l'utilité de la situation est maximale pour l'entreprise. Le niveau de la constante d'échelle sur les performances restant très faible, nous avons invité M. B. à nous communiquer son cheminement de pensée lors de l'interview. Il en est alors ressorti que pour lui, tant que les performances du projet restaient dans les fourchettes définies par le service marketing, la situation était satisfaisante sur ce point. Il n'y a donc aucun intérêt à « payer », sur les attributs rentabilité et délai, une augmentation de la valeur de l'attribut sur la performance, puisque même à son niveau minimum, elle est satisfaisante pour l'entreprise.

Pour donner plus de signification à l'attribut sur la performance, nous avons alors représenté sur un graphique les niveaux de performance des pelles conçues par nos principaux concurrents. Nous y avons alors rajouté une ligne rouge pour symboliser la valeur minimum de l'attribut sur la performance, et une ligne verte pour indiquer sa valeur maximum. Ce graphique a alors été montré à l'expert durant toute la durée des 3ème et 4ème interviews. Un exemple factice en est représenté sur la Figure 94.

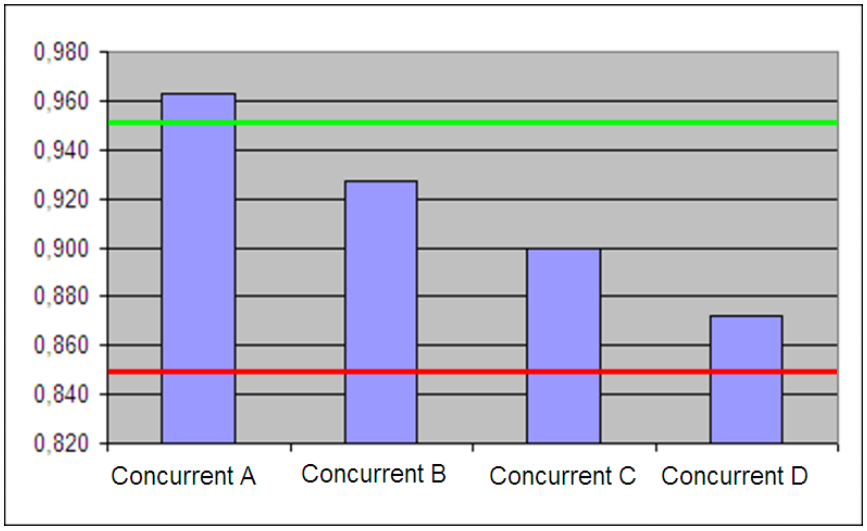


Figure 94 - Valeur de l'attribut sur la performance : comparaison avec les concurrents (factice)

3ème élicitation : Nous avons alors interviewé le Dr. B., président de LIEBHERR-France, dont les résultats sont en bordeaux sur le graphique de la Figure 93. Si les valeurs des constantes d'échelle sur les délais et la rentabilité sont semblables à celles élicitées dans le cas précédent, la valeur de la constante d'échelle sur la performance est ici nettement plus importante. Nous avons par ailleurs observé un biais lors cet interview : sur 1 situation de choix, le Dr. B n'a vraisemblablement pas tenu compte du niveau de l'utilité partielle de l'attribut « délais », et ne s'est focalisé que sur sa valeur (en nombre de semaines de retard) pour prendre sa décision. Si ce biais n'a pas eu d'impact sur les valeurs des constantes d'échelle, nous avons cependant interrogé le Dr. B sur ses cheminements de pensée. Il en est ressorti que pour lui, plus un projet se fini rapidement, plus tôt on peut pénétrer les marchés, et meilleure est la situation. Ce raisonnement ne coïncide donc pas aux « plats » de la fonction d'utilité partielle sur les délais élicitée auprès des gestionnaires de projet (Cf. Figure 95), ce qui explique le biais observé.

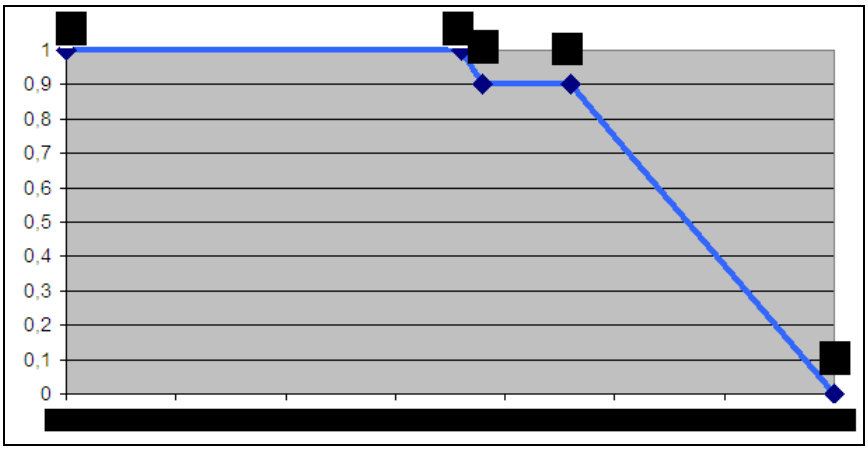


Figure 95 - Forme de la fonction d'utilité partielle élicitée sur les délais

Pour supprimer ce biais, l'expert interviewé pour éliciter les constantes d'échelle de la fonction d'utilité globale doit avoir participé à l'élicitation de la fonction d'utilité partielle sur les délais. Ainsi, plutôt que de demander au Dr. B d'éliciter la fonction d'utilité partielle sur les délais, puis de refaire l'élicitation des constantes d'échelle, nous avons simplement re-éliciter les constantes d'échelle auprès de MM. A. et S., auprès de qui nous avions déjà éliciter la fonction d'utilité partielle sur les délais.

4ème élicitation : Ayant déjà effectué l'élicitation 2 mois auparavant, MM. A. et S. ont répondu avec aisance et rapidité au questionnaire. Les résultats obtenus (en turquoise sur le graphique de la Figure 93) sont radicalement différents des précédents : toutes les constantes sont ici positives et les valeurs de k_1, k_2 et k_3 sont proches de la valeur nulle. Cela signifie

qu'il faut qu'au moins 2 attributs sur les 3 présentent une valeur intéressante pour que l'utilité globale décolle. En effet, contrairement aux résultats du Dr. B, si la valeur d'un attribut est maximale ($u_i = 1$) et que les valeurs des deux autres sont minimales ($u_i = 0$), alors l'utilité globale sera tout de même nulle. On note par ailleurs une synergie importante entre les attributs « rentabilité » et « performance » (synergie représentée par k_{12}), mais également entre les 3 attributs lorsque leurs valeurs croient ensemble (synergie représentée par k_{123}).

Nous avons représenté les fonctions d'utilité multilinéaire sur des graphiques en 3 dimensions, par tranches, dans les annexes E à H de ce mémoire. Elles figurent par ordre chronologique d'élicitation.

Conclusions des élicitations des constantes d'échelle des fonctions multilinéaires

Ces élicitations successives nous ont permis de dégager les points méthodologiques suivants, nécessaires à l'obtention de résultats significatifs :

- La signification, pour l'expert, des différents attributs a une importance considérable sur les résultats. La communication de cette signification peut passer par des explications orales, mais aussi par la comparaison avec des valeurs références, « parlantes » pour l'expert.

- L'expert interviewé pour ces élicitations doit avoir participé à l'élicitation des utilités partielles sur les délais et sur la rentabilité.

- Selon la position hiérarchique de l'expert, les résultats obtenus sont très différents. Il est donc primordial de choisir l'expert qui possède une vision stratégique pouvant légitimement servir de base à la priorisation des projets. Ainsi, si le Dr. B. estime que MM A. et S., responsables de la gestion de projet, sont suffisamment informés pour avoir conscience des différents objectifs stratégiques des projets, les résultats de leurs élicitations peuvent être retenus.

- L'effet d'« entraînement » tend à réduire le temps d'élicitation et améliorer la qualité des résultats. Ainsi, il est intéressant de conserver les mêmes experts pour des élicitations récurrentes.

3.2.3 Aides à la décision possibles

Nous présentons, dans ce paragraphe, l'aide à la décision qu'il est possible de prodiguer une fois les résultats précédents obtenus. Nous verrons tout d'abord une application « standard » de notre outil, puis en proposerons une variante que nous avons testé, centrée sur les performances du projet.

3.2.3.1 Application standard de l'outil

Pour des raisons de confidentialité, nous illustrons l'application de notre outil à l'aide de l'exemple factice suivant (Cf. paragraphe 2.3.2. pour la description de cet exemple) : Constructeur de véhicule utilitaire de type « fourgon », la société X est en train de développer un nouveau modèle. A ce projet de développement a été intégré une innovation sur le système d'injection, permettant théoriquement de passer d'une consommation de 9 L/100Km (valeur actuelle) à 6 L/100Km. En cours de projet, les ingénieurs rencontrent des difficultés sur l'implémentation de ce nouveau système d'injection. Ces difficultés risquant de retarder le projet, la direction envisage de « lâcher sur le paramètre consommation » en renonçant à ce nouveau système d'injection. Une analyse des risques et des opportunités est alors effectuée pour apporter une aide à la décision. Après élicitation des probabilités et des conséquences auprès des ingénieurs concernés, on constate que la décision a un impact sur :

- La rentabilité : estimée pour les 2 options à partir des documents du contrôle de gestion, elle est plus importante dans le cas où l'entreprise n'innove pas car les coûts de fabrication seraient moindre. Cependant, les calculs tiennent compte d'une diminution de la demande étant donné l'aspect moins « attrayant » du produit pour le client.

- Les performances, à travers l'attribut sur la consommation.

- Les délais :

  Si l'innovation est abandonnée, le projet a :

  - 40% de chance d'avoir moins de 9 semaines de retard
  - 60% de chance d'avoir entre 10 et 21 semaines de retard

  (Distribution A)

  Si l'innovation est poursuivie, le projet a :

  - 30% de chance d'avoir moins de 9 semaines de retard

- 60% de chance d'avoir entre 10 et 21 semaines de retard
- 10% de chance d'avoir 25 semaines de retard
(Distribution B)

Le tableau ci-dessous synthétise la situation :

Attributs		Lâcher sur la consommation ?	
		Oui	Non
Rentabilité [%]		29	27
Délais [semaines de retard]		Distribution A	Distribution B
Performances	Prix Client [KEUR]	19	19
	Puissance [ch]	82	82
	Consommation [L/100Km]	9	6
	Volume de chargement [m3]	4,4	4,4
	Longueur de chargement [mm]	2200	2200
	Charge utile [Kg]	870	870
	Rejets échappement	Essence - Filtre à particule additivé	Essence - Filtre à particule additivé
	Ergonomie d'ouverture	Ouverture B	Ouverture B
	Confort	Confort C	Confort C
	Réseau SAV/PdR	Réseau D	Réseau D
	Sécurité	Sécurité C	Sécurité C
	Fiabilité	Marque C	Marque C
	Design	Design E	Design E

Tableau 14 - Synthèse des paramètres des options de choix

En utilisant la structure crée sous DPL (Cf. paragraphe 2.3.3), il suffit alors d'ajouter un nœud « décision » (en jaune), et de paramétrer ses impacts sur les attributs « consommation » (Figure 96), « rentabilité » (Figure 97), et « délais » (Figure 98).

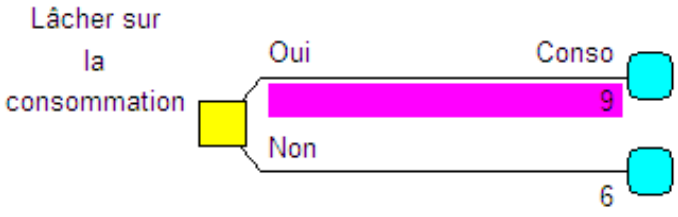


Figure 96 - Paramétrage de l'impact de la décision sur l'attribut "consommation" sous DPL

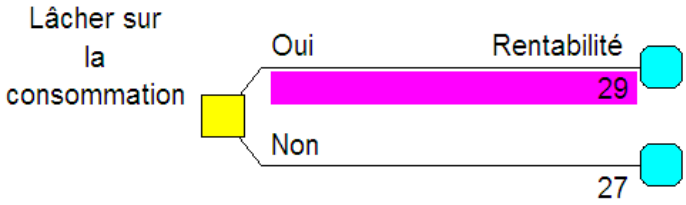


Figure 97 - Paramétrage de l'impact de la décision sur l'attribut "rentabilité" sous DPL

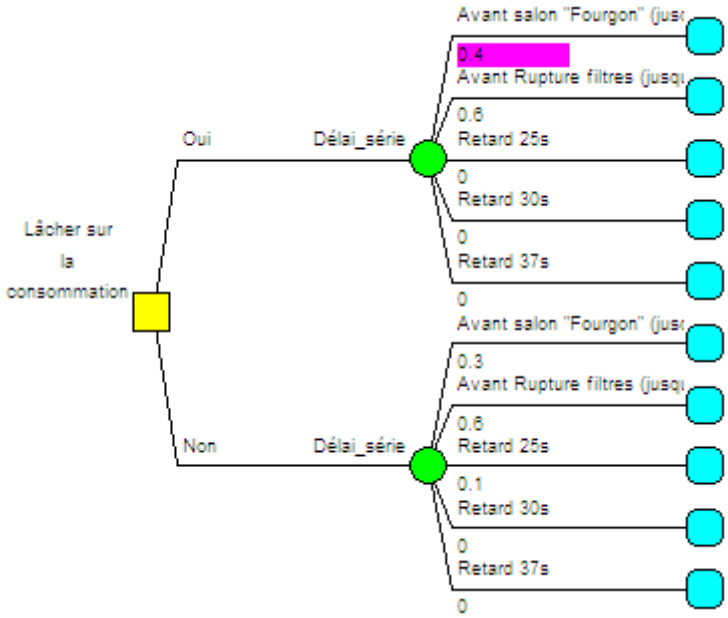


Figure 98 - Paramétrage de l'impact de la décision sur l'attribut "Délai" sous DPL

En lançant alors une analyse de la décision avec DPL, le logiciel calcul instantanément l'espérance d'utilité globale de chaque option de choix.

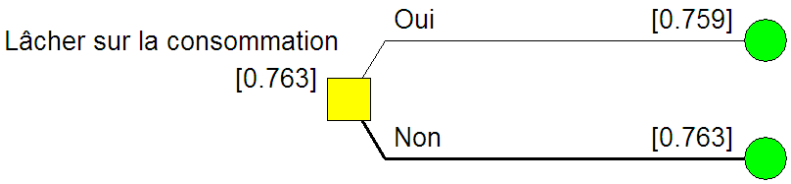


Figure 99 - Espérance d'utilité de chaque option de choix sous DPL

D'après les résultats de cette analyse figurant sur la Figure 99, nous pouvons conseiller aux décideurs de ne pas « lâcher sur la consommation » et de poursuivre l'implémentation du système d'injection innovant.

3.2.3.2 Application centrée sur les performances du projet

En utilisant uniquement la fonction d'utilité multi-attributs sur les performances, nous avons proposé et testé une approche différente de l'aide à la décision « standard » décrite dans le paragraphe précédent. En effet, au cours d'un projet de développement, il est fréquent que les concepteurs se retrouvent face à des alternatives dont le choix privilégiera un critère de performance au détriment d'un autre. Le service marketing, vers lequel ils se tournent alors, a souvent du mal à leur fournir des réponses claires. Or il peut suffire, avec E.U.R.O.P.I., de rentrer l'une après l'autre les valeurs des attributs que propose chacune des alternatives dans le Tableau 15. Ainsi, l'alternative maximisant la satisfaction du client sera conseillée.

Synthèse des résultats : Utilitaire type fourgon									
Critères de performance du projet							ci = c1 û(X1eq)		
Critères	X°	X*	CdC Marketing	Projet	Ui(Xi)		X1 eq./ p	Û1(X1)	Valeur ci
Prix Client [KEUR]	25	10	[19-20]	19	Linéaire	0,40	0,04	1,00	0,03760
Puissance [ch]	65 ch	150 ch	[80-85]	82	Exponentiel	0,51	14	0,29	0,01072121
Consommation [L/100Km]	10 L/100Km	4 L/100Km	[6-7]	9	Exponentiel	0,10	22	0,83	0,03120899
Volume de chargement [m3]	3	4,5 m3	[4,3-4,7]	4,4	Exponentiel	0,99	13	0,23	0,00851822
Longueur de chargement [mm]	1400 mm	2200 mm	[2100-2300]	2200	Exponentiel	1,00	13	0,23	0,00851822
Charge utile [Kg]	600 Kg	900 Kg	[860-920]	870	Exponentiel	0,95	14	0,25	0,00939941
Rejets échappement	Diesel	Eco fuel - Gaz naturel	Essence - Filtre à particule additivé	Essence - Filtre à particule additivé	QL	0,40	10	0,03	0,00117493
Ergonomie d'ouverture	Ouverture Z	Ouverture A	Ouverture B	Ouverture B	QL	0,30	13	0,23	0,00851822
Confort	Confort Z	Confort A	Confort C	Confort C	QL	0,30	14	0,25	0,00939941
Réseau SAV/PdR	Réseau Z	Réseau A	Réseau D	Réseau D	QL	0,88	11	0,06	0,00234985
Sécurité	Sécurité Z	Sécurité A	Sécurité C	Sécurité A	QL	1,00	20	0,67	0,0250651
Fiabilité	Marque Z	Marque A	Marque C	Marque C	QL	0,80	16	0,39	0,01468658
Design	Design Z	Design A	Design E	Design E	QL	0,70	12	0,12	0,00441515
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								-	-
								Sigma ci	0,17157296
								C	22,2529285
						$U = 1 - \frac{1}{C}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[C_i \hat{u}_i(x_i) + 1\right] - 1\right]$			0,864

Tableau 15 - Utilité globale sur les performances du projet

De plus, les courbes d'indifférence permettent, dans le cas d'un conflit entre 2 critères de performance, de directement lire la solution au problème. Par exemple, les concepteurs envisagent de diminuer la consommation du projet de nouveau « fourgon » de 9 à 7 L/100Km, mais s'interrogent sur la rentabilité d'une telle démarche. En lisant les courbes d'indifférences représentées sur la Figure 100, on constate que le client serait prêt à payer plus de 3 000 € en plus (de 19K€ à 22,4K€) si le fourgon présente cette caractéristique. Il suffit alors de comparer l'augmentation du coût de fabrication, engendré par l'amélioration, à ce montant pour savoir si la démarche est rentable ou non.

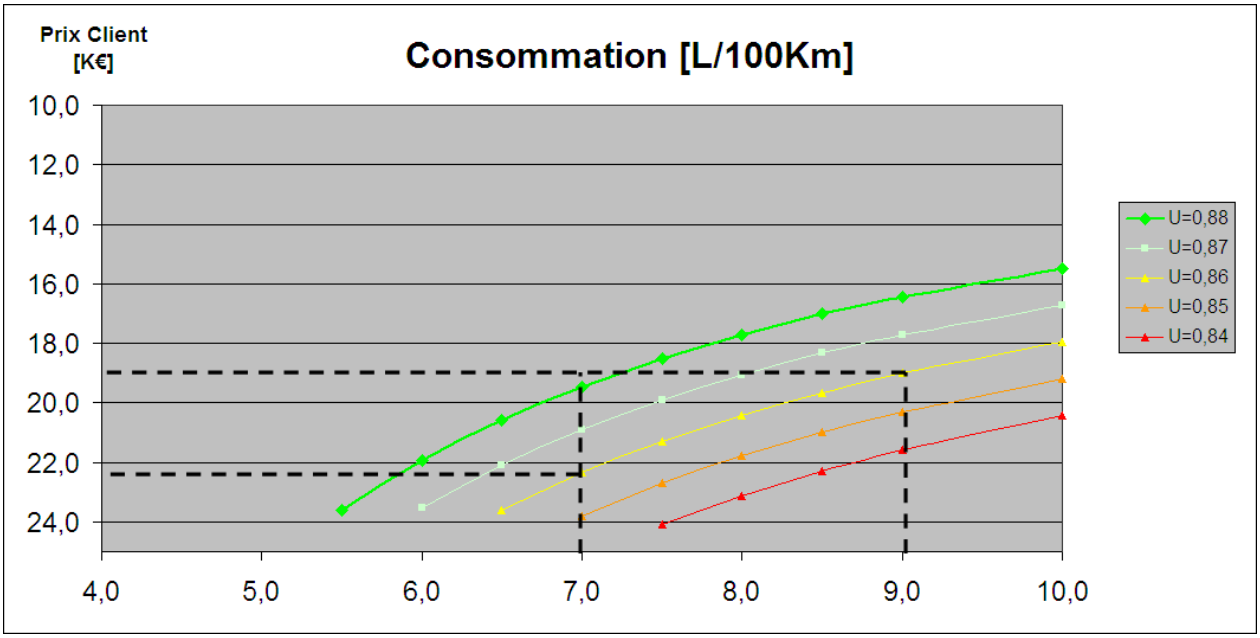


Figure 100 - Courbes d'indifférence entre le prix de vente et la longueur de chargement

Pour tester la fiabilité de la fonction d'utilité multi-attributs sur les performances, nous l'avons confronté à la loi du marché. Cependant, comme nous l'avons constaté et expliqué au paragraphe 3.2.2.3., cette fonction n'est pas capable de justifier le choix d'un client entre différentes pelles proposées par différents constructeurs. Par conséquent, nous avons raisonné sur des produits appartenant à la même marque, et avons naturellement choisit LIEBHERR-France pour ce test.

LIEBHERR-France propose en effet, sur ses nouvelles gammes, une version « classic » et une version « advanced ». Ces deux versions se différencient sur les niveaux de confort, de Design, de performance et de prix. Nous avons alors recueilli, auprès du service vente, 2 contrats de vente négociés par le même client, l'un portant sur une pelle « classic », l'autre portant sur une pelle « advanced », les configurations de base des 2 machines étant exactement les mêmes (options, couleurs,…).

En analysant les prix négociés et les caractéristiques techniques des 2 machines avec notre fonction d'utilité sur les performances, nous avons pu constater qu'elles présentaient la même utilité pour le client, et ce avec 0,5% de différence (U = 0,761 et U= 0,765). Autrement dit, en connaissant le prix auquel le client était prêt à acheter une de ces 2 machines, nous aurions pu en déduire, avec une grande précision, le prix auquel il était prêt à acheter l'autre. Formulé encore autrement, nous aurions pu donner, à la centaine d'Euros près, la somme

supplémentaire qu'était prêt à débourser le client pour acquérir une version « advanced » à la place d'une version « classique ».

CHAPITRE 3.3 : DISCUSSIONS

Nous traitons dans ce chapitre de toutes les questions de fond qu'a soulevées ce travail de thèse et l'exploitation de ses résultats. Nous remettrons ainsi en question, dans un premier temps, les bases théoriques de la méthodologie employée, puis nous nous focaliserons sur l'utilisation de notre outil en entreprise. Nous nous interrogerons ainsi sur son caractère « opérationnel » en entreprise, puis sur les limites de son domaine d'application.

3.3.1 Sur les bases théoriques de la méthode

Nous avons distingué 2 axes dans nos interrogations sur les bases théoriques de notre travail : l'interprétation de la forme des fonctions d'utilité et les limites de la méthodologie proposée pour éliciter les fonctions d'utilité du projet. Si le premier thème concerne les fondements de la théorie de l'utilité espérée, le second nous donne des pistes pour un raffinement de la méthodologie d'élicitation.

3.3.1.1 Interprétation des formes des fonctions d'utilité

Interprétation des courbes en « S »

Dans le chapitre précédent, nous avons interprété la forme en « S » de certaines fonctions d'utilité comme la définition subjective d'un « intervalle d'acceptabilité ». N'ayant trouvé que peu de publications faisant état du même raisonnement, nous nous sommes interrogés sur l'origine théorique de ce phénomène et son implication sur la théorie de l'utilité espérée axiomatisée par Von Neumann et Morgenstern.

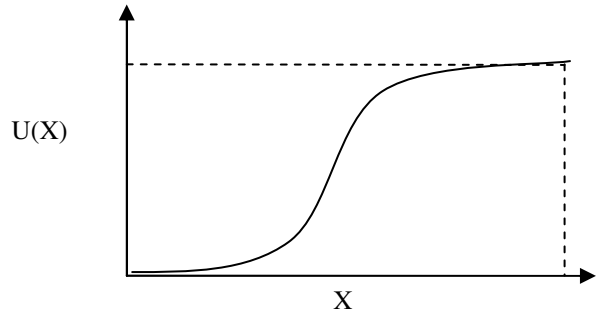


Figure 101 - Exemple de fonction d'utilité en "S" sur l'attribut X

Nous avons vu dans le chapitre 2.1 que les aspects convexes, concaves ou linéaires des fonctions d'utilité traduisaient respectivement de la risquophilie, de l'aversion au risque et de la neutralité par rapport au risque. [Pratt, 1964] propose une mesure de ces différents phénomènes et indique que sur un attribut donné, l'attitude du décideur par rapport au risque est uniforme. On trouve alors dans [Quiggin, 1993], 2 interprétations possibles des formes en « S » des fonctions d'utilité :

- L'ampleur des conséquences perturbe la rationalité de l'expert et biaise les élicitations. On peut illustrer ce phénomène avec l'exemple du Lotto, dont le montant des cagnottes fausse la perception des joueurs.
- Les probabilités sont subjectivement transformées par le décideur lors des élicitations.

La première explication n'est pas valable ici, étant donné que dans le cas de l'élicitation des fonctions d'utilité partielles sur les critères de performance, l'intervalle considéré ne comprenait que des valeurs déjà existantes sur le marché. Concernant la transformation des probabilités, elle ne peut expliquer totalement le phénomène. En effet, sur d'autres attributs comme le prix de vente, dans les mêmes conditions d'élicitations (mêmes probabilités de départ), les experts exprime une neutralité vis-à-vis du risque, prouvant ainsi qu'ils sont capables de ne pas transformer les probabilités.

Nous avons alors avancé l'hypothèse de violation de la propriété archimédienne. Ce phénomène consiste en l'incapacité de distinguer, au sens des préférences, 2 conséquences du fait de leur étroite proximité. Par exemple, si l'on mesure votre utilité par rapport à la quantité de sucre mise dans votre café, vous ne serez sans doute pas capable de quantifier précisément vos préférences entre 1gr. et 2gr. de sucre. Cela peut alors engendrer un ou plusieurs « plats » sur la fonction d'utilité. Cependant, étant donnés les intervalles entre les valeurs dont nous avons élicité les utilités, nous pouvons considérer que les effets de ce phénomène sont nuls dans nos résultats.

Face à l'impossibilité d'expliquer les courbes en « S » par les phénomènes de biais classique, nous avons alors remis en doute l'interprétation de l'attitude vis-à-vis du risque du décideur à partir de la forme des fonctions d'utilité.

Concavité, convexité, et attitude par rapport au risque

Remise en question de l'interprétation standard sous UE (Utilité Espérée)

Dans la théorie de l'UE, on considère que le décideur est averse au risque lorsque $u(\sum_{i=1}^{n} p_i x_i) \geq \sum_{i=1}^{n} p_i u(x_i)$ (Cf. chapitre 2.1). Illustrons cette considération analytique par un exemple. Supposons que l'on soit indifférent entre recevoir 40€, et jouer à une loterie pour laquelle on a 1 chance sur 2 de recevoir 100€ et rien sinon. On considérera alors qu'on est averse au risque car 40€ est inférieur à l'espérance de gain de la loterie (50€). On observe sur le graphique ci-dessous que ce résultat engendre une fonction d'utilité concave.

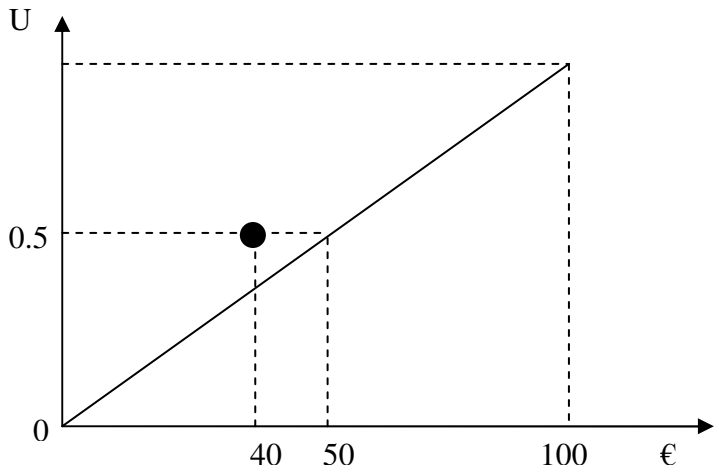


Figure 102 - Concavité de la fonction d'utilité et aversion au risque

Ainsi, l'interprétation de l'attitude du décideur par rapport au risque s'appuie sur l'échelle quantitative qui définie et/ou ordonne, dans le certain, les différentes valeurs de l'attribut. Or ces échelles n'ont bien souvent aucun pouvoir cardinal[38] : l'exemple extrême des attributs qualitatifs en est la preuve. On peut voir sur la figure ci-dessous que la manière dont sont placés les différentes valeurs de l'attribut détermine si la fonction d'utilité est concave, convexe ou linéaire.

[38] Qui mesure les intensités absolues de satisfaction dans le certain

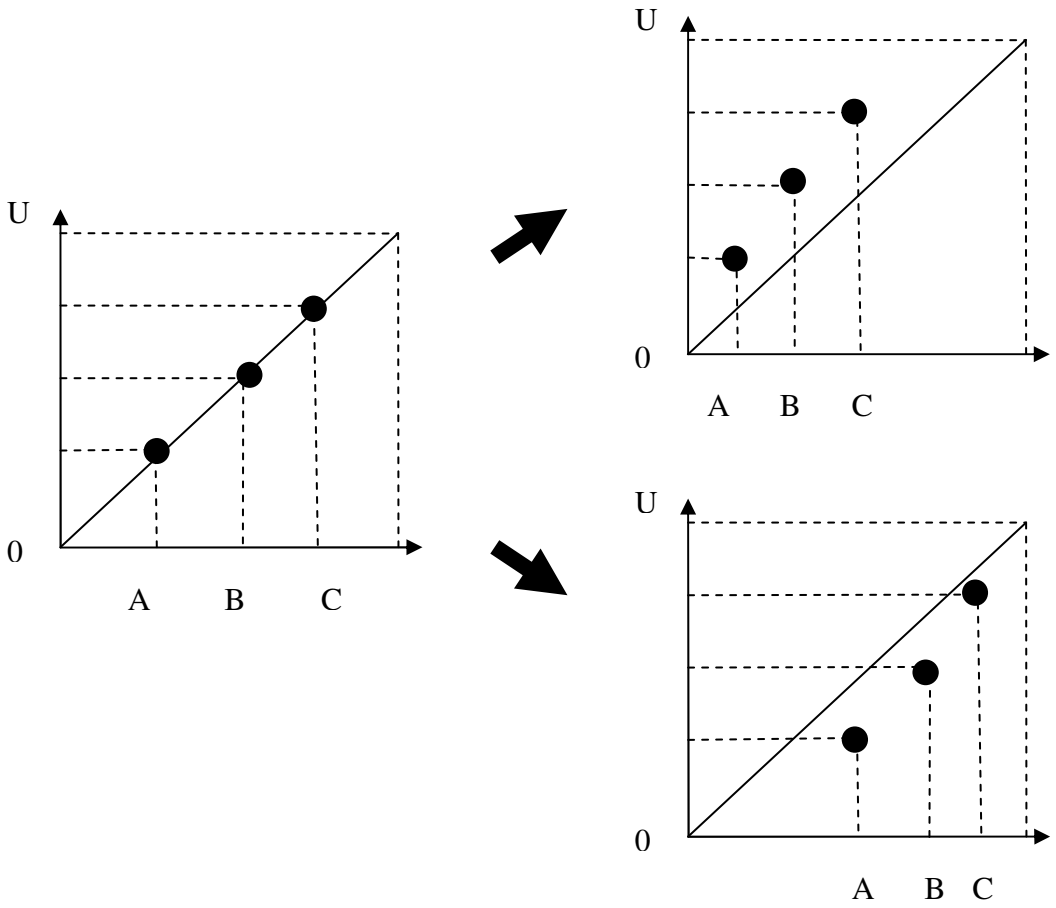


Figure 103 - Positionnement des abscisses et formes des fonctions d'utilité

Il a par ailleurs été constaté, lors de la phase d'expérimentation, que plus on précisait la signification d'un attribut quantitatif, plus on avait tendance à le considérer comme un attribut qualitatif : cas de la vitesse de rotation d'une pelle hydraulique, par exemple.

Nous pouvons ainsi rejoindre les conclusions du théorème de [Rabin, 2000] qui soulignent l'absurdité de la prise en compte de l'attitude vis-à-vis du risque par la seule fonction d'utilité. En effet, l'utilité neumannienne représente à la fois la richesse des valeurs pour le décideur et son attitude par rapport au risque. Ces 2 aspects ne peuvent être séparés pour faire l'objet d'une interprétation dissociée.

Sur un attribut, on peut alors envisager que la risquophilie et la décroissance de l'utilité marginale cohabitent pour former une courbe en « S » présentant une zone de convexité et une zone de concavité.

A partir de ces considérations, nous nous sommes interrogés sur les méthodes d'isolation possibles de l'attitude du décideur par rapport au risque.

Emploi de fonctions de valeurs dans le certain.

Dans la lignée de Bell (1981), Dyer&Sarin (1982), Krzysztofowicz (1983), Yaari (1987), mais surtout Allais (1953), il nous paraît évident que l' « aversion pour le risque » est nécessairement liée à la perception des conséquences dans le certain. Or la perception de la richesse dans le certain peut être encodée par l'intermédiaire de ce que l'on appelle les fonctions de valeurs.

Dans [Bouyssou&Vansnick, 1990], les auteurs étudient les liens existant entre les fonctions d'utilité (u), élicitées dans le risque, et les fonctions de valeur (v), élicitée dans le certain, dont les méthodologies d'encodage lui confèrent une propriété de cardinalité. Ils s'interrogent, entre autre, sur les raisons que pourrait invoquer une personne rationnelle, adhérant par ailleurs aux axiomes de VNM, si ses fonctions u et v diffèraient. Leur conclusion est alors qu' « *il ne serait pas illégitime de structurer des préférences en considérant que u et v coïncident* ». Ce constat va contre l'idée de comparer les fonctions u et v pour en extraire l'attitude du décideur vis-à-vis du risque

Fonction de valeur dépendant du niveau de risque ?

En partant du constat que la « valeur subjective» associée à une conséquence varie en fonction du niveau de risque qui lui est associé, il pourrait être intéressant de définir et d'encoder une fonction d'utilité qui dépendrait à la fois de la probabilité à laquelle est associée la conséquence, et de la valeur de l'attribut. Ainsi, les phénomènes à l'origine des différences de perceptions de la « valeur subjective» dans le risque (transformation des probabilités, distinction du domaine des gains et des pertes, etc.) seraient intrinsèquement inclus dans ce paramétrage. Il serait alors également possible de « lire » l'évolution de la « valeur perçue » en fonction du niveau de risque, donnant ainsi une nouvelle définition de l'aversion au risque.

Si des travaux théoriques et empiriques sont en cours sur ce sujet, une nouvelle axiomatisation serait par ailleurs nécessaire.

Fonctions d'utilité et buts du décideur

Comme nous venons de le voir, sous la théorie de l'UE, la forme de la fonction d'utilité ne peut que partiellement s'interpréter par l'attitude du décideur vis-à-vis du risque. D'après les témoignages que nous avons recueillis lors des interviews, nous pouvons avancer que

l'accomplissement d'un but, fixé intrinsèquement dans l'esprit du décideur, joue un grand rôle dans l'interprétation des valeurs élicitées.

Dans le cas d'un éventuel raffinement de la méthode avec les apports de la Prospect Theory, il serait possible d'utiliser la valeur de ce but comme frontière entre le domaine des gains et celui des pertes. Cela suppose cependant que cette valeur serait donnée par le décideur en début d'interview, ce qui enlèverait beaucoup d'intérêt au résultat. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre 3.2 dans le cas des élicitations des fonctions d'utilité partielles sur les critères de performance auprès des vendeurs, cette « valeur-but » peut représenter une valeur qui conviendrait à une grande majorité des clients. Or ce type de données peut avoir une grande valeur pour une entreprise, et nécessite généralement des sondages de grande envergure, donc coûteux, auprès des clients. Le schéma ci-dessous illustre, à l'aide de l'exemple sur le volume de chargement d'un fourgon, comment il serait envisageable d'extraire ces valeurs-cibles en fonction des préférences subjectives d'un vendeur.

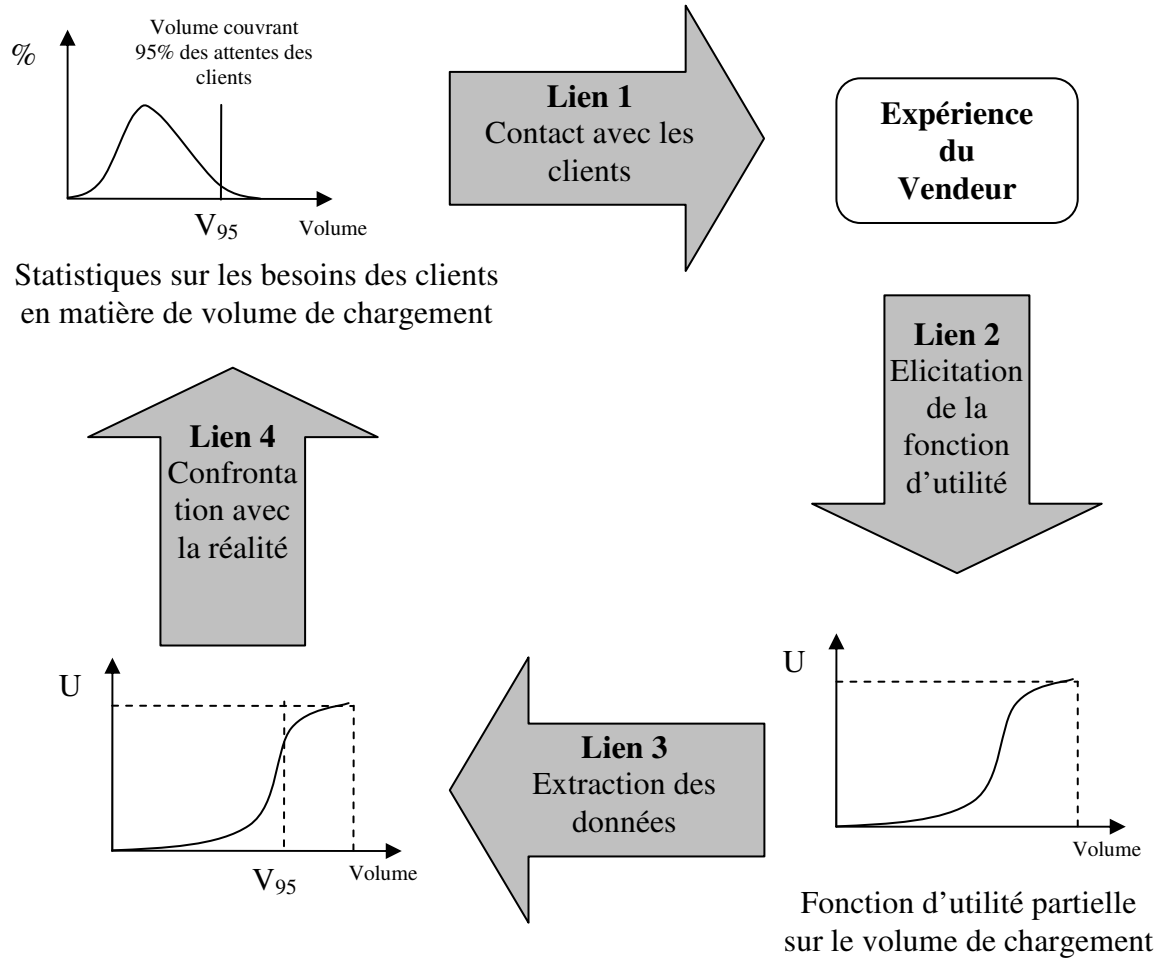


Figure 104 - Cycle pour l'obtention des statistiques d'utilisation des clients à partir des fonctions d'utilité encodées auprès des vendeurs

Si les liens 1 et 2 sont en quelque sorte les « données de départ » de la démarche, les liens 3 et 4 doivent quant à eux être testés.

- Pour le lien 3, il s'agit d'établir la relation entre la fonction d'utilité partielle élicitée auprès du vendeur, et les statistiques d'utilisation des clients dont ce dernier a subjectivement conscience. Prenons par exemple la valeur du volume de chargement qui couvrirait 95 % des attentes des clients. Sur un autre attribut pour lequel il n'est pas un expert, on pourrait communiquer au vendeur cette valeur en début d'interview, avant d'éliciter auprès de lui la fonction d'utilité partielle sur cet attribut. Nous lui préciserions alors que la direction souhaite couvrir 95% des besoins de notre clientèle. Ainsi, en observant la fonction d'utilité obtenue, nous pourrions analyser comment cette donnée a influencé les réponses du vendeur. Après plusieurs tests, il serait possible d'extraire d'une fonction d'utilité partielle, la valeur subjective correspondant à la couverture de 95% des attentes des clients.

- Pour le lien 4, il s'agit de comparer les statistiques obtenues avec les valeurs réelles acquises par l'intermédiaire de sondages auprès des clients. Cette comparaison peut très bien ce faire, à titre de test, avec tous les sondages récents effectués par l'entreprise. Si de faibles différences apparaissent entre les valeurs obtenues indirectement auprès des vendeurs, et les valeurs réelles, il se peut qu'il s'agisse d'une anticipation subjective de l'évolution des attentes des clients effectuée par les vendeurs. Pour évaluer la justesse des élicitations des vendeurs sur ce point, par contre, seul le long terme sera révélateur.

3.3.1.2 Méthodologie : limites et perspectives

Intéressons nous à présent à la méthodologie employée dans le cadre de cette thèse. Nombre de points peuvent être sujet à des interrogations, à commencer par la signification exacte de la constante d'échelle globale d'une fonction d'utilité multi-attributs multiplicative.

Interrogations sur le rôle de la constante d'échelle multiplicative C

Rappel : La constante C est à la fonction de désutilité multiplicative, ce que la constante K est à la fonction d'utilité multiplicative, illustrée sur l'équation suivante :

$$U(x) = \frac{1}{K}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[Kk_i u_i(x_i)+1\right]-1\right]$$

Le rôle de ces constantes est le même, il s'agit de prendre en compte l'interdépendance entre les différents attributs. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 2.2.2.2, C a une valeur comprise entre -1 et l'infini, et dépend directement de la somme des constantes d'échelle c_i. Plus cette somme est importante, plus C se rapproche de -1, et plus cette somme est faible, plus C sera grand.

Contrairement à la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire où les rôles des constantes d'échelle se laissent interpréter sans difficultés, celui de la constante C est moins évident. Pour tenter d'en cerner l'influence sur la fonction de désutilité multiplicative, nous avons, à titre expérimental, fait varier la somme des constantes d'échelle c_i dans une fonction d'utilité multiplicative à 14 attributs (Figure 105). Ainsi, le graphique de gauche a été tracé à partir d'une valeur élevée de C (C=14), celui de droite avec une valeur très proche du minimum (C=-0,98) et celui du centre avec une valeur intermédiaire (C=-0,3). On lit en ordonnée le niveau d'utilité multi-attributs et, en abscisse, la valeur à laquelle sont fixées toutes les utilités partielles. Ce procédé nous permet ainsi de représenter en 2D le comportement d'une fonction qui devrait se lire en 15D. A titre d'exemple, sur le premier graphique, le point (0,2 ; 0,4) signifie qu'en fixant toutes les utilités partielles à 0,2 ($u_i = 0{,}2\ \forall i \in [1;14]$), l'utilité multi-attributs vaudrait 0,4 dans cette configuration des c_i.

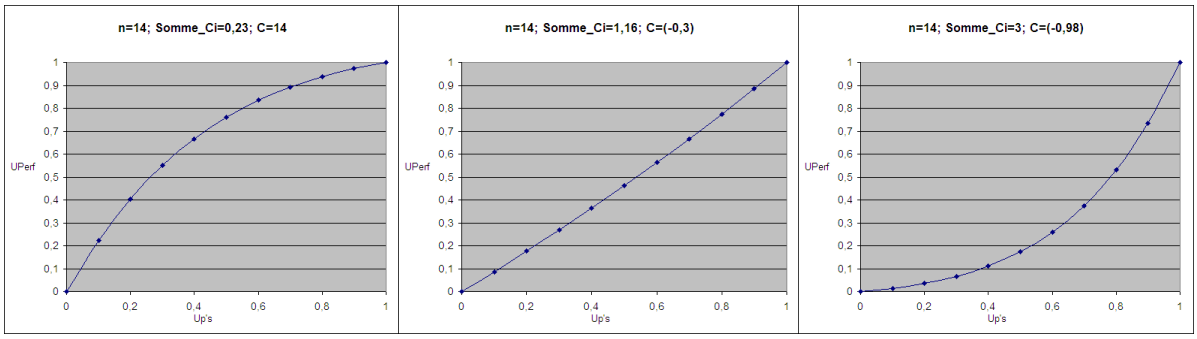


Figure 105 - Comportement de la fonction d'utilité multiplicative en fonction de la valeur de C

On peut observer, sur ces graphiques, que plus la valeur de C est faible, plus la courbe est convexe, mettant ainsi en évidence les phénomènes de sur-additivité et de sous-additivité des utilités.

L'intervention de plusieurs experts fausse-t-elle les résultats ?

L'élicitation, auprès des vendeurs, des constantes d'échelle dans le risque nous amène à nous poser une autre question : de quel risque s'agit-il ? En effet, étant donné que l'utilité partielle

sur la performance a pour vocation de mesurer la satisfaction des clients, nous demandons aux vendeurs de se mettre à leur place lorsqu'ils répondent aux interviews. Ainsi, les risques impliqués dans le scénario d'élicitation sont-ils :

- les risques que prend l'entreprise à proposer aux clients un tel produit ?

- les risques que prend le client par rapport aux performances réelles du produit qu'il achète ?

Le débat est important, car si une même fonction d'utilité reflète les attitudes par rapport aux risques de 2 partis différents, alors nous risquons de nous retrouver face à des incohérences lors de l'interprétation de leurs résultats.

Pour répondre à cette problématique, nous pouvons tout d'abord dire que ces risques sont fortement corrélés. En effet, si l'entreprise prend le risque de concevoir un produit dont la qualité est en-dessous de son image de marque, alors le client sera confronté au risque de se fier à l'image de marque de l'entreprise pour effectuer son achat. Nous pouvons ensuite remarquer que les vendeurs, démonstrateurs et intervenants SAV que nous interviewons, sont les seuls liens directs entre l'entreprise et le client. Ainsi, ces personnes ont à l'esprit à la fois les intérêts de l'entreprise et ceux du client. Nous pouvons alors faire l'hypothèse qu'ils sont capables de traduire, de manière subjective, l'attitude de l'entreprise vis-à-vis du risque qu'elle prend en proposant un produit, et ce en fonction de la réaction probable du client. En d'autres termes, nous supposons que face au risque, les experts sont capables de résonner par rapport aux intérêts de l'entreprise, tout en considérant ceux du client. En effet, plusieurs arguments peuvent laisser croire que les intérêts de l'entreprise constitueront le référentiel dominant pour un expert interne (vendeur de métier) :

- l'expert est payé par l'entreprise et non par son client.

- les intérêts des clients sont instables et variés, contrairement à ceux de l'entreprise. Il est donc plus difficile de les prendre comme cadre de référence.

Dans ces conditions, il n'y a donc pas d'incohérence dans la méthodologie, étant donné que les risques contenus dans toutes les élicitations sont relatifs à l'entreprise.

Une autre facette de nos résultats nous laisse à penser que l'intervention de plusieurs experts dans l'élicitation d'une même fonction d'utilité peut nuire à la qualité des résultats. En effet, lors de l'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires, malgré toutes les précautions

prises au niveau de l'interface logiciel de l'outil d'analyse, les experts n'ont pas toujours tenu compte des niveaux des utilités partielles lorsqu'ils effectuaient leur choix. Nous avons alors conclu, en 3.2.2.4, que l'expert qui élicite les constantes d'échelle multilinéaires doit également avoir participé à l'élicitation des utilités partielles. Si cette condition alourdie la méthodologie d'élicitation et diminue la liberté des choix des experts, elle est cependant nécessaire à la justesse des résultats finaux.

Après ces considérations propres à l'outil, voyons si le concept de l'utilité espérée a pu être « opérationnalisé » ou non en entreprise dans le cadre de cette thèse.

3.3.2 Sur l'aspect « opérationnel » de l'outil en entreprise

Comme nous l'avons dans le chapitre 2.1, les principaux freins à l'intégration de la MAUT en entreprise sont les suivants :
- La confidentialité des données qui complique leur manipulation par un intervenant externe.
- Le manque de ressources disponibles en entreprise.
- L'absence d'indicateurs sur la rentabilité de la démarche.
- Une finalité mal perçue lorsque les enjeux ne sont pas d'envergure.
- L'opacité de la méthode.

Ces 5 aspects seront abordés dans la suite du paragraphe que nous avons structuré de la manière suivante : après avoir confronté les coûts avec les apports de l'outil en entreprise, nous proposerons des pistes pour mesurer sont efficacité avant d'en souligner les limites.

Coût et apports de l'outil en entreprise

Compétences et ressources requises pour son utilisation

La théorie à la base de notre outil est, pour une personne non initiée, relativement complexe. Pour amoindrir son aspect « boîte noire », il est donc nécessaire que cette théorie puisse être expliquée, même d'une façon vulgarisée, aux collaborateurs qui seront impliqués par ses résultats au cours d'un projet. Par conséquent, si l'outil devait être utilisé de façon permanente en entreprise, la formation à la théorie UE d'une personne, chargée de la planification, de la réalisation et du stockage de ces analyses serait indispensable. Par ailleurs, la connaissance

des limites de la théorie et des biais que peuvent induire ses méthodologies d'élicitations, est fondamentale pour la justesse et l'interprétation des résultats obtenus.

Concernant le nombre et la durée des élicitations requises, nous avons pu les réduire approximativement de moitié par rapport à ce que prévoyait la théorie. Cependant, l'élicitation de 26 fonctions d'utilité et de 3 ensembles de constantes d'échelle a toutefois été nécessaire pour 2 projets de développement. En considérant le Process d'élicitation dans son ensemble (méthode Delphi), on peut estimer à 45 minutes-homme la durée d'élicitation d'une fonction d'utilité par 3 experts et à 90 minutes-homme celle d'un groupe de constantes d'échelle. Ainsi, 1 projet de développement nécessite au minimum 585 minutes-homme de temps d'élicitation initiale, soit 9h45.

Par ailleurs, certains évènements survenant en cours du projet peuvent nécessiter de rafraîchir les élicitations initiales. Nous pensons notamment aux cas où :

- Un constructeur concurrent met sur le marché un produit dont l'un des critères de performance dépasse la valeur maximale que nous avions retenu pour nos élicitations. Théoriquement, cela impliquerait en effet de ré-éliciter la fonction d'utilité partielle concernée, mais également toutes les constantes d'échelle ainsi que les constantes d'échelle multilinéaires. Dans la pratique, s'il est nécessaire de ré-éliciter la fonction d'utilité partielle sur l'attribut de performance concerné, nous pouvons supposer que dans le cas d'une fonction d'utilité à plus de 10 attributs, ce changement a une influence négligeable sur les résultats de l'élicitation des constantes d'échelle. Cependant, si l'amélioration constatée est vraiment significative (cas de l'apparition d'une nouvelle technologie hybride pour la consommation, par exemple), il serait nécessaire de ré-éliciter les constantes d'échelle multiplicatives qui font intervenir 2 niveaux différents pour ces critères, à savoir c_1 et c_i, i étant l'indicateur de l'attribut concerné.

- Les contraintes extérieures au projet sont modifiées. On peut citer par exemple l'apparition de nouvelles normes, l'annulation d'un salon, la dégradation significative du contexte économique, une impasse technologique, etc. Dans ce cas, les ré-élicitations nécessaires se décident au cas par cas.

Dans la pratique, lors de chaque jalon du projet de développement, il faudrait se poser la question suivante : « Etant données les variations de la situations entre le début du projet et

aujourd'hui, les fonctions d'utilités peuvent-elles encore être significatives ? ». Si la réponse est non, il est nécessaire de procéder à un rafraîchissement des données.

Par ailleurs, si la variation de la situation du projet ou du contexte dans lequel il se déroule entraîne une modification de la stratégie, il est nécessaire de remettre en question la validité de toutes les données de la fonction d'utilité globale.

Les apports possibles pour une entreprise

Listons à présent les aspects de la valeur ajoutée que peut apporter ce type de pratique au sein d'une entreprise :

- Le premier apport, le plus évident, est l'aide à la décision dans une situation complexe, où se mêlent des objectifs antagonistes portant sur des domaines difficilement comparables. L'outil développé permet alors de donner un score de préférence (les préférences de l'entreprise) à chaque option de choix. La théorie de l'Utilité Espérée ayant des vertus reconnues dans le cadre d'une utilisation prescriptive, la solution suggérée sera ainsi la plus rationnelle si l'on admet les axiomes formulés par Von Neumann et Morgenstern.

- En dehors des situations de choix, il est également possible d'évaluer l'utilité de la situation du projet à un instant t. Ainsi, ce score peut constituer un indicateur de la viabilité du projet et permettre ainsi à la direction ou à tout autre département de suivre l'évolution de la situation. En début de projet, on pourrait également envisager de définir, pour cet indicateur, un niveau en-dessous duquel la situation devient critique et nécessite une remise en question de la poursuite ou non du projet.

- Cet utilisation comme indicateur est également envisageable avec le score de performance du produit développé. Ainsi, il est possible de suivre l'évolution de la satisfaction potentielle du client tout au long du projet.

- Toujours dans le domaine de la performance, les analyses des fonctions d'utilité et des constantes d'échelle obtenues permettent au service marketing d'orienter avec précision les questions de leurs sondages. En effet, comme cela a été le cas à LIEBHERR-France, les résultats des élicitations permettent, lors de l'élaboration des sondages clients, de se focaliser directement sur les valeurs les plus intéressantes pour l'entreprise. On réduit ainsi la durée du questionnaire auprès du client, tout en augmentant la pertinence des résultats. Le coût de cet apport, on le rappel, est l'interview de 3 vendeurs durant environ 3h chacun.

- Sur le plan organisationnel, la diffusion verticale des objectifs stratégiques à travers cet outil améliore la cohésion. De plus, la structure même de la fonction d'utilité constitue un découpage des parts de responsabilité dans l'expertise, ce qui permet de ne pas considérer les contraintes des autres comme étant les siennes, et ainsi d'assainir la délimitation des zones de compétence.

- Enfin, le flux d'information des vendeurs vers la direction et le Bureau d'Etudes constitue une forme de retour d'expérience non négligeable pour l'amélioration des futures conceptions.

Si nous laissons au lecteur le soin d'évaluer la rentabilité de notre démarche aux vues de ses coûts et de ses apports possibles, nous proposons dans le paragraphe suivant quelques pistes possibles pour évaluer son efficacité.

Evaluer l'efficacité de la gestion des risques et des opportunités

L'évaluation des activités de gestion des risques est souvent délicate. En effet, comment savoir ce qui se serait passé si l'on n'avait pas effectué ces analyses ? On trouve dans [Garel et al., 2004 P.25] quelques formes d'évaluation de la phase d'avant-projet qui nous inspirent ces quelques propositions :

- Evaluer les dépenses et durées nécessaires au processus de sélection d'une option de choix (Reinersten, 1999). Comme nous l'avons vu plus haut, ceci a été réalisé dans le cadre de cette thèse.

- Evaluer la capacité de l'outil à arrêter les « mauvaises idées » ou à ne pas en tuer les bonnes (Reinersten, 1999). Pour ce faire, il serait possible d'imaginer des options de choix factices pour lesquelles la meilleure ou la pire des options ne fait de doutes pour personne dans l'entreprise. Si l'outil ne confirme pas cette impression générale, il faudra alors remettre en question la validité de ses prescriptions.

- Evaluer la réduction des coûts et des délais des projets de développement. Sur ce point, il nous semble difficile de séparer la contribution de la gestion des risques de celles des autres domaines d'activité intervenant dans le Process de développement.

Discutons à présent des limites auxquelles l'opérationnalité de l'outil proposé a été confrontée.

Limites et perspectives d'amélioration

Taille des échantillons

La faible taille des échantillons a été à l'origine de nombreuses critiques au cours de la mise en application. En effet, augmenter le nombre des experts interrogés pour éliciter les fonctions d'utilité permettrait d'améliorer la fiabilité des résultats obtenus. Cela est d'autant plus vrai que dans le cas d'une entreprise présente à l'international, les attentes des clients peuvent être très différentes selon les pays. Dans notre application au sein de LIEBHERR-France, par exemple, nous n'avons interviewé que des vendeurs en contact avec des concessionnaires français. Il serait intéressant de voir si les fonctions d'utilité obtenues auprès de vendeurs allemands, italiens ou espagnols seraient comparables.

Pour recueillir les résultats d'un plus grand nombre d'experts, il serait envisageable de proposer des formulaires en ligne. Cependant, la complexité des méthodes employées nécessiterait une formation minimum des vendeurs concernés. Une autre alternative, toujours à partir de questionnaires à renseigner en ligne, serait de simplifier les interviews en passant par des fonctions de valeur mesurées sur des E.V.A. (Echelles Visuelles Analogiques). Cette méthode, décrite dans [Le Galès et al., 2001], détermine alors une fonction paramétrique de transformation des fonctions de valeur en fonctions d'utilité. Si les tailles des échantillons peuvent alors être significativement augmentées, celle des ressources nécessaires l'est tout autant. Par ailleurs, la validité des bases théoriques d'un tel procédé reste à démontrer.

Une autre alternative serait d'éliciter les fonctions d'utilité auprès de plusieurs vendeurs, chacun travaillant dans un pays différent. Se pose alors la question de la logistique des interviews, question qui pourrait trouver sa réponse dans l'usage de plus en plus répandu des vidéos conférences.

Crédibilité des prescriptions

Une autre limite majeure de l'aide à la décision proposée par notre outil est le manque de recul sur la fiabilité des prescriptions. En attendant sa crédibilisation, l'utilisation de l'outil risque alors de glisser vers la justification de décisions préétablies, ce qui n'est pas son objectif initial. L'opacité de son fonctionnement n'arrange par ailleurs en rien la situation.

Afin d'éprouver la fiabilité des prescriptions, il serait possible de réaliser des aides à la décision de façon rétroactive, sur des problématiques dont l'issue finale est déjà connue. Ici

encore, si les prescriptions ne coïncident pas avec les choix effectués par l'entreprise à l'époque des faits, comment savoir si ce sont les résultats donnés par l'outil qui ne sont pas cohérents avec la rationalité de l'entreprise, ou si les décideurs ont effectué un choix irrationnel. Le débat est ouvert.

3.3.3 Vers des domaines d'application plus larges

Compte tenu des limites d'application que nous venons de souligner dans le paragraphe précédent, nous envisageons ici des domaines d'application différents, qui permettraient d'augmenter les apports de l'outil tout en améliorant son opérationalité. Nous proposerons ainsi une scission entre une utilisation standard et marketing, puis une adaptation dans un contexte de portefeuille de projets.

3.3.3.1 Séparation de l'outil en 2 applications : gestion de projet et marketing

Afin de diminuer la complexité de l'outil et l'opacité des résultats, nous proposons de séparer notre outil en 2 entités opérationnelles, aux domaines d'application différents. Le premier outil serait ainsi destiné à la gestion des risques et opportunités de projets d'envergure, alors que le second serait un support aux travaux des services marketing.

Outil « gestion de projet » : application aux projets de plus grande envergure

Comme le montre la Figure 106, le principe serait d'amputer la fonction d'utilité multilinéaire sur la performance pour ne garder qu'un attribut simple sur la performance.

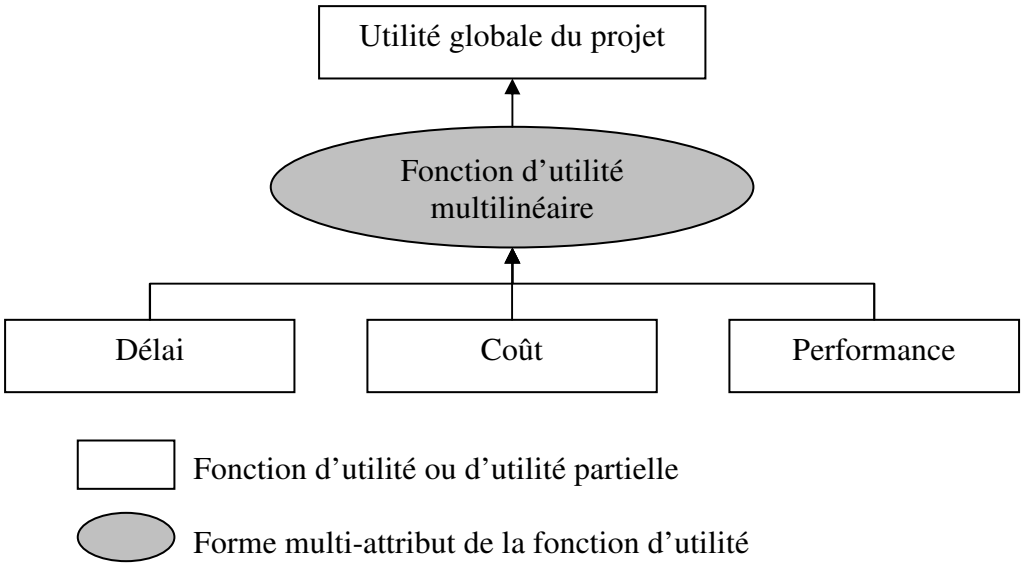


Figure 106 - Structure de la fonction d'utilité pour l'application "gestion de projet"

Sous cette forme, l'outil serait alors opérationnel pour gérer les risques et opportunités de projets de grande envergure, sur le long terme, comme, par exemple, un chantier ou une réorganisation.

- L'attribut coût serait le coût total pour l'entreprise en charge du projet. Pour en calculer son utilité partielle, il serait mis en relation avec le prix payé par le client, stipulé dans un contrat. On éviterait ainsi l'interdépendance entre l'attribut coût et l'attribut performance.

- L'attribut performance serait à définir en fonction du type de projet et ne tiendrait pas compte de la dimension prix. Sa valeur minimum pourrait correspondre aux attentes minimum du client stipulées dans le contrat signé avec l'entreprise.

- Les fonctions d'utilité ainsi que les constantes d'échelle pourraient être élicitées par la(es) mêmes personnes. En effet, il faudrait compter environ 1h30 de mobilisation par personne participant aux élicitations, personnes parmi lesquelles il faudrait inclure le chef de chantier.

Outil « performance » : application au domaine marketing

Comme nous avons pu le constater dans le chapitre précédent - Résultats - notre outil présente un fort potentiel dans le domaine du marketing. Occulté dans la proposition précédente, nous envisageons donc ici une utilisation totalement focalisée sur cet aspect. La Figure 107 décrit son mode de fonctionnement.

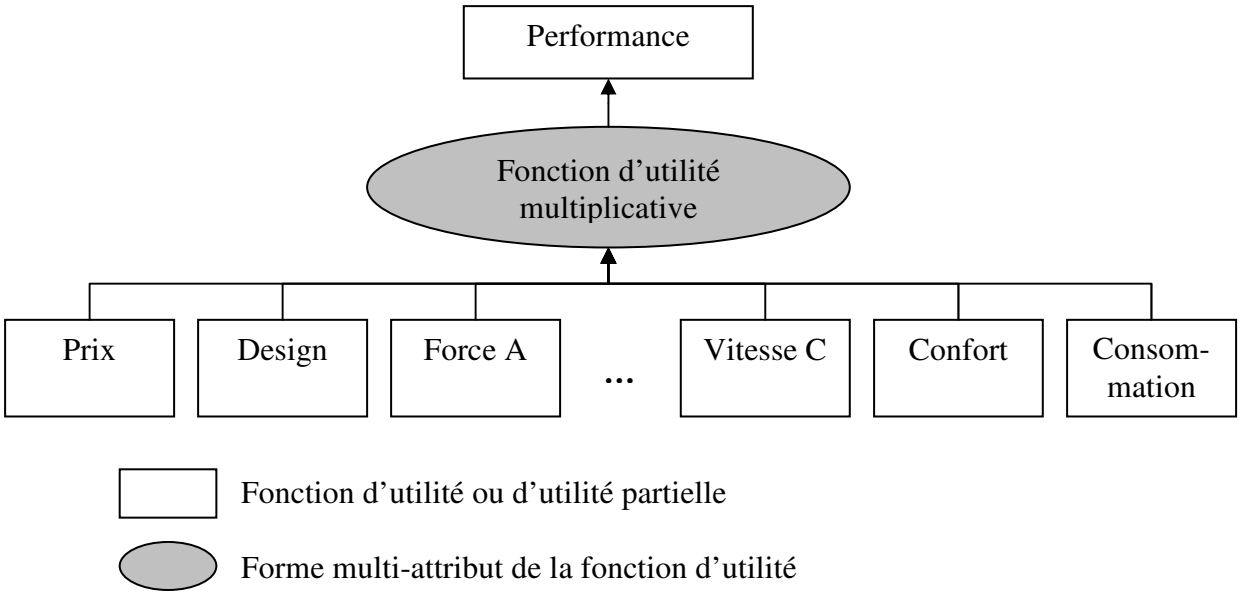


Figure 107 - Structure de la fonction d'utilité pour l'application "performance"

Accessible et moins opaque sous cette forme, l'outil pourrait alors être utilisé et géré par le service marketing pour analyser les risques et les opportunités du marché sur un type de produit précis. Les résultats de ces analyses, pourront alors servir à :

- Etalonner le prix de vente des projets de développement.

- Aider à établir les cahiers des charges de ces mêmes projets.

- Prioriser les objectifs techniques en cours de projet.

Une nouvelle voie pour le marketing industriel

Dans son ouvrage dédié au marketing industriel, [Bozzo, 2007, P.19-29], Cécile Bozzo mentionne que les études de marché quantitatives se heurtent souvent au refus de coopérer de la part des personnes interrogées. Elle présente alors le questionnaire « en face à face » comme étant la seule façon d'obtenir des résultats riches sans rejet de la part de l'interviewé. Elle en liste ensuite les inconvénients :

- Méthode très coûteuse en ressources et en déplacements.

- Faible taille des échantillons.

- Biais introduit par : la façon dont sont posées les questions, le non-anonymat et la peur de ne pas répondre correctement.

Avec la méthodologie que nous avons définie dans le chapitre 2.2, il apparaît que notre outil présente les avantages des interviews « face-à-face » sans en avoir les inconvénients. Ainsi, la théorie de l'utilité espérée pourrait être à la base d'une nouvelle voie pour le développement du marketing industriel, comme l'avaient déjà souligné [Munier, Besse, Lassagne, 2006].

Révision des critères de performance

En vue d'améliorer la justesse des résultats, il serait intéressant remettre en question certains choix que nous avons fait lors de la sélection des critères de performance :

- La fiabilité pourrait ainsi y figurer et être évaluée en fonction de l'image de marque reflétée par les produits de l'entreprise.

- La fidélité par rapport à la marque pourrait éventuellement y être intégrée, bien que la faisabilité de la démarche reste à étudier.

- Le délai de livraison, ainsi que tous les autres critères de performance importants aux yeux du client sont à prendre en compte.

Résultats des analyses : sources d'arguments de ventes

Si nous sommes capables de calculer la satisfaction client à partir des caractéristiques techniques d'une pelle, nous sommes également capables de connaître les raisons de l'augmentation de la satisfaction client pour les nouveaux produits. Ainsi, l'argumentaire de vente peut être préparé et priorisé à partir des résultats des analyses marketing effectuées avec cet outil.

3.3.3.2 Gérer les risques et opportunités liés à un portefeuille de projets.

Une entreprise n'a rarement qu'un seul projet à gérer. La gestion des ressources entre ses différents projets nécessiterait également une analyse préalable des risques et des opportunités. La figure ci-dessous propose une modélisation permettant de calculer l'utilité d'un portefeuille de projets à partir de la version simplifiée de notre outil que nous avons définie précédemment.

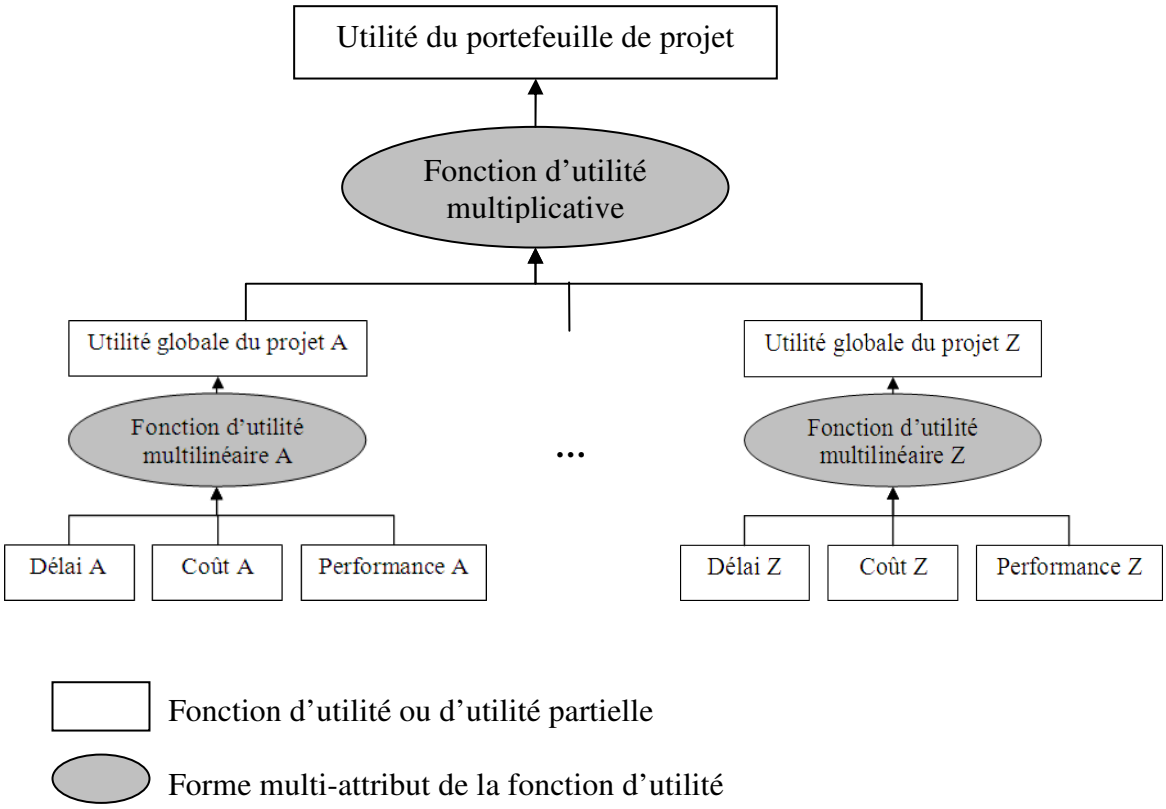


Figure 108 - Structure de la fonction d'utilité pour l'application « Portefeuille de projets »

La principale réserve que nous pouvons émettre sur ce modèle est la signification des utilités globales des différents projets. En effet, pour éliciter les constantes d'échelle de la fonction d'utilité multiplicative, le décideur se verra proposer différentes options de choix caractérisées par des valeurs spécifiques pour les utilités globales de chaque projet. Ainsi, si ce score retenu pour les projets n'est pas assez significatif, les résultats risquent d'être biaisés.

Conclusion de la troisième partie

La mise en œuvre de notre outil au sein de LIEBHERR-France a mis en avant ses apports réels et ses limites. Par ailleurs, cette confrontation de la théorie a la réalité nous a permis dégager plusieurs perspectives d'améliorations, autant sur le plan théorique que sur le plan pratique.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A en croire les statistiques, les entreprises de l'industrie mécanique ont besoin d'outils qui leur permettent d'anticiper plus efficacement les risques et opportunités de leurs projets de développement. La conjoncture économique actuelle renforce cette conclusion.

« *Du point de vue de sa mise en œuvre, une politique de gestion des risques doit être initiée au niveau le plus élevé de l'organisation pour pouvoir être complète et légitimée.* ». Comme le souligne Bertrand Munier, la gestion des risques est un processus qui commence en amont des phases de développement, et qui permet à une entreprise de bâtir sa stratégie en fonction des risques et des opportunités que présente le projet.

La plupart des méthodologies existantes se contente d'analyser les risques d'une situation découlant d'une stratégie établie. Cette approche présente deux défauts majeurs, car en plus de conduire à des situations sous-optimales, elle consiste à voir le risque uniquement comme une source de menace. Pour passer d'une philosophie de « validation de solution » à celle de « recherche de la meilleure solution », les menaces et opportunités doivent être évaluées en amont des décisions. En effet, dans une situation où les choix ont déjà été faits, on ne gère pas le risque, on le subit.

Nous avons alors bâti, théoriquement puis concrètement, un outil d'aide à la décision fondé sur l'évaluation globale et rationnelle de la situation du projet en milieu risqué. La forme « multi-attributs » de la théorie de l'utilité espérée et ses axiomes de rationalité se sont alors révélés être les piliers théoriques les plus adaptés à notre démarche. Délaissant les avancées les plus sophistiquées de la théorie au profit de son opérationalité, nous avons tout de même amélioré certain aspects des méthodologies classiques d'élicitation.

La phase de mise en œuvre, au sein de LIEBHERR-France, a ensuite permis de jauger les apports de cet outil et d'en améliorer le côté opérationnel. Nous avons ainsi pu constater qu'avec une quantité raisonnable de ressources, nous étions capables d'apporter une aide à la décision aux responsables des projets, lorsqu'une situation de choix portant sur des objectifs partiellement antagonistes se présentait. Insérée dans un processus bouclé de gestion des risques, la démarche présente alors de nombreux apports pour l'entreprise, dont les suivants :

- L'évaluation des options de choix s'appuyant sur des dires d'experts, elle favorise la remontée des informations des sachants vers les décideurs.

- L'analyse des risques et opportunités, globale et rationnelle, permet une répartition optimisée des ressources sur le projet, en fonction des objectifs de l'entreprise.

- La structure même de la fonction d'utilité fait prendre conscience, à chaque acteur du projet, des intérêts collectifs de l'entreprise.

- La formalisation des arbitrages permet d'éviter le phénomène de fuite des responsabilités. Ce phénomène consiste à reporter la prise de risque, par facilité, aux phases « aval » du processus de développement. On peut illustrer ce phénomène par l'exemple d'un service marketing qui, dans son cahier des charges, ne donnerait que des fourchettes très larges pour les spécifications du produit, laissant le bureau d'études définir les valeurs des paramètres.

Dans la discussion faisant suite aux résultats, nous avons proposé des perspectives d'amélioration des aspects théoriques et pratiques de notre outil. Ainsi, des pistes originales ont été données pour l'amélioration de la théorie de l'utilité espérée, et des solutions pour l'application de notre outil à un portefeuille de projets ont été envisagées. Nous laissons la poursuite de ces développements à de futurs travaux.

Concernant l'évaluation des performances du produit, la fiabilité des résultats a pu être éprouvée par la loi du marché. Cette partie de l'outil est alors apparue comme une perspective d'amélioration très intéressante pour le marketing industriel. Son application de façon plus étendue est actuellement envisagée par LIEBHERR-France.

BIBLIOGRAPHIE

ABDELLAOUI M., BARRIOS C., WAKKER P., 2006, Reconciling introspective utility with revealed preference: Experimental arguments based on prospect theory*, Journal of Econometrics 138 (2007) pp. 356–378*

ABDELLAOUI M., BLEICHRODT H., L'HARIDON O., 2008, A tractable method to measure utility and loss aversion in prospect theory, Journal of Risk and Uncertainty*, Journal Risk Uncertainty, 36:245–266*

ABDELLAOUI M., BLEICHRODT H., PARASCHIV C., 2007, Loss Aversion under Prospect Theory: A Parameter-Free Measurement*, Management Science, Vol. 53, No. 10, October 2007, pp. 1659-1674*

ABDELLAOUI M., MUNIER B., 1998, The risk-structure dependence effect : Experimenting with an eye to decision-aiding*, Annals of Operations Research 80(1998) pp. 237 – 252*

ADAM O., 2004, Testing the internal consistency of the lottery equivalents method using health outcomes*, Health Economics, 14 pp.149–159 (2005)*

AGRAWAL M., HAIMES Y., 2007, Adaptative Multiplayer Approach for Risk Assessment and Management*, 2006 Virginia Gubernatorial Inauguration*

ALLAIS M., 1953, Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et des axiomes de l'école américaine *, Econometrica 21, 503-546*

ALLARD-POESI F., PERRET V., 2005, Rôles et conflits de rôles du responsable projet*, Lavoisier, Revue française de gestion, 2005/1 - n°154 pp. 193-209*

ANTONIDES G., 1996, Computer assisted decision making*, Psychology in Economics and Business, Kluwer Academic Publishers, P.150-152*

AYYUB B., 2001, Elicitations of Expert Opinions for Uncertainty and Risks*, Ed Taylor & Francis Ltd*

AYYUB B., KLIR G., 2006, Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences*, Ed Chapman & Hall/CRC*

BAILLON A., 2007, Traitement Subjectif de l'Incertitude dans les Décisions Individuelles*, Mémoire de thèse N°2007 ENAM, ENSAM/GRID, ED 471*

BAILLON A., 2008, Eliciting Subjective Probabilities Through Exchangeable Events: An Advantage and a Limitation*, Decision Analysis, Vol. 5, No. 2, June 2008, pp. 76–87*

BAPST P-A., 2003, Cartographie des risques: point de départ d'une gestion globale des risques*, Risques n°55/Septembre 2003*

BEAUDOUIN F., MUNIER B., SERQUIN Y., 1999, Multi-attribute decision making and generalized expected utility in nuclear power plant maintenance*, Rapport n° GRID-NR9908*

BELL D., RAIFFA H., TVERSKY A., 1988, Descriptive, normative, and prescriptive interactions in decision-making*, Cambridge University Press*

BERNOUX, 1985, La sociologie des organisations*, Éditions seuil : 3e éd. rev. et augm (février 1990)*

BLEICHRODT H., PINTO JL., WAKKER P., 2001, Making Descriptive Use of Prospect Theory to Improve the Prescriptive Use of Expected Utility*, Management Science, Vol. 47, No. 11, November 2001 pp. 1498–1514*

BOUYSSOU D., VANSNICK J-C., 1990, "Utilité cardinale" dans le certain et choix dans le risque*, Revue économique, N°6, pp.979-1000*

BOYER M., CHRISTOFFERSEN P., LASSERRE P., PAVLOV A., 2003, Rapport Bourgogne - Création de valeur, gestion de risque et options réelles*, Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations, rapport 2003RB-01*

BOZZO C., 2007, Le marketing industriel*, Editions Dunod, Paris*

BRION S., 2005, La coordination par la vigilance collective réciproque*, Lavoisier, Revue française de gestion, 2005/1 - n°154 pp. 141-157*

BROOKS D., BORISON A., 1995, Risk-based Decision Making: Integrating Risk Management into Business*, Ed. Mcgraw-Hill, Chap. 18.1*

CHANAL V., MOTHE C., 2005, Concilier innovations d'exploitation et d'exploration. Le cas du secteur automobile.*, Lavoisier, Revue française de gestion, 2005/1 - n°154 pp. 173-191*

CHAPMAN C.,WARD S., 2002, Managing Project Risk and Uncertainty: A Constructively Simple Approach to Decision Making*, Ed. John Wiley & Sons Ltd*

CHEDOTEL F., 2005, L'improvisation organisationnelle. Concilier formalisation et flexibilité d'un projet*, Lavoisier, Revue française de gestion, 2005/1 - n°154 pp. 123-140*

CLEMEN R., 1995, Making Hard decisions - an introduction to Decision Analysis*, Ed. South-Western College Pub; 2 edition (August 1997)*

COLETTE Y., 2006, L'aide à la décision multicritère*, http;//ycolette.free.fr/*

COLETTE Y., 2006, L'optimisation multiobjectif*, http;//ycolette.free.fr/*

COLLARDEAU M., GONCALVES F., 2007, Outil d'aide à la décision : application au choix de stratégie UGV*, Mémoire de Master, ENSAM/GRID*

COOKE R., 1991, Experts in Uncertainty - Opinion and Subjective Probability in Science, *Oxford University Press, USA*

COURTOT H., 1998, La gestion des risques dans les projets, *Editions Economica, Paris*

COX L. A., 2002, Risk Analysis, Foundations, Models and Methods, *Ed Springer*

DACHARY-BERNARD J., 2007, La méthode des choix multi-attributs appliquée aux Monts d'Arrée, *Cahiers d'économie et sociologie rurales, n° 84-85*

DAVID A., 2005, Sciences de gestion : éléments d'épistémologie et de méthodologie de la recherche, *Ionis, février 2005, Ecole Normale Supérieur, Cachan*

DELAHAYE J-P., 2005, On se sacrifie…pour nuire aux autres, *Pour la science, dossier n°49*

DELQUIÉ P., 1993, Inconsistent Trade-offs Between Attributes - New Evidence in Preference Assessment Biases, *Management Science, Vol. 39, No. 11 (Nov, 1993)*

DELQUIÉ P., 2006, The Value of Information is driven by the Intensity of Preference, *Séminaire du 29 Janvier 2007 au Lille Economie & management*

DELQUIÉ P., 2006, Valuing Information and Options - an Experimental Study, *Journal of Behavioral Decision Making, Vol.21 Issue 1, pp.91-109*

DELQUIÉ P., 2007, Measuring your risk attitude, *Document INSEAD, Paris*

DELQUIÉ P., CILLO A., 2008, A General Risk Measure Reconciling Behavioral and Normative Foundations, *Publication de Septembre 2008, INSEAD, Fontainebleau, France*

DELQUIÉ P., LUO M., 1997, A simple Trade-off condition for additive multiattribute utility, *Journal of Multi-criteria Decision Analysis, Vol.6, pp. 248-252*

DIAYE M-A., 2001, Sur la définition du choix rationnel dans le cas de préférences dépendant du contexte, *Revue économique, Vol. 52, N° 1, pp. 17 - 33*

DURIEUX-NGUYEN TAN F., 2005, Les interactions entre projets dans le sélection de projets, *Lavoisier, Revue française de gestion, 2005/1 - n°154 pp. 159-172*

DYER J., FISHBURN P., STEUER R., WALLENIUS J., ZIONTS S., 1992, Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years, *Management Science, Vol. 38, No. 5 (May, 1992), pp. 645-654*

ECOSIP, 1993, Pilotage de projet et entreprises, *Editions Economica*

ELLSBERG D., 1961, Ambiguity and the Savage Axioms , *Economics, 75, 643-669*

ETCHART N., 2003, Traitement subjectif du risque et compt individuel devant les pertes: une étude expérimentale, *Partie I du mémoire de thèse ENS Cachan/GRID, Paris*

FISHBURN P., 1989, Foundations of decision analysis: along the way, *Management Science, Vol. 35, No. 4. (Apr., 1989), pp. 387-405*

GAREL G., GIARD V., MIDLER C., CALVI R., 2004, Faire de la recherche en management de projet*, Editions Vuibert, Paris*

GARELLO P., 1992, Perception et théorie de la décision*, Revue des Etudes Humaines, N° 9, septembre 1992*

GARELLO P., 1998, Theorie de la decision: bilan et perspective*, Documents de recherche du Centre d'Analyse Economique*

GAUTIER R., 2004, Qualité et Innovation - De la nécessité de maîtriser les risques dans les projets de Conception de Produits Nouveaux*, Mémoire pour l'Habilitation à Diriger une Thèse, ENSAM, Paris.*

GEY J-M., 2003, La démarche "gestion globale des risques": sa raison d'être*, Risques n°55/Septembre 2003*

GIARD V., 1991, Gestion des projets*, Editions Economica, Paris*

GINTING R. & DOU H., 1997, L'approche multidécideur multicritère d'aide à la décision*, Papier réalisé dans le cadre de la thèse 00 AIX3 0006, Université de droit et des sciences d'Aix-Marseille*

GRABISCH M. & PERNY P., 2002, Agrégation multicritère*, Logique floue, principes, aide à la décision. B. Bouchon-Meunier, C. Marsala (eds), pp. 81--120*

GREGORY R., LICHTENSTEIN S., SLOVIC P., 1993, Valuing Environmental Resources A constructive Approach*, Journal of Risk and Uncertainty, 7:177-197*

HÄMÄLÄINEN R.P., LINDSTEDT M., SINKKO K., 2000, Multiattribute Risk Analysis in Nuclear Emergency Management*, Risk Analysis, Vol.20, N°4*

HÄMÄLÄINEN R.P., SINKKO K., LINDSTEDT M., AMMANN M., SALO A., 1998, Rodos and decision conferencing on early phase protective actions in Finland*, Radiation and Nuclear Safety Authority, Report STUK-A159, December, pp. 1-76*

HATCHUEL A., LE MASSON P., WEIL B., 2001, De la R&D à la RID : de nouveaux principes de management du processus d'innovation*, Congrès francophone du management de projet, AFITEP « Innovation, conception… et projets » 6-7 novembre 2001, Paris*

HERSCHEY J., KUNREUTHER H., SCHOEMAKER P., 1982, Sources of Bias in assessment procedures for utility functions*, Management science, vol. 28 N°8*

HORA S.C.,EDWARDS W., MILES R., VON WINTERFELDT D., 2005, Eliciting Probabilities from Experts*, Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications, Cambridge University Press, 2007, Cambridge, UK, pp. 129-153*

KARNI E., 2007, Bayesian decision theory and the representation of beliefs*, Séminaire GRID "sciences de la décision" du mardi, 13 mars 2007, ENSAM, Paris*

KARNI E., SAFRA Z., 1987, "Preference Reversal" and the Observability of Preferences by Experimental Methods., *Econometrica, Vol. 55, N°3, pp.675-685*

KEENEY R. & RAIFFA H., 1993, Decisions with multiple objectives-preferences and value tradeoffs, *Editions Cambridge University Press*

KWAN K-M. & TSANG E., 2001, Realism and Constructivism in Strategy Research, *Strategic Management Journal, 22, pp.1163–1168*

LAHONDE N., HABRARD A., DUBOIS P., 2007, Démarche d'évaluation multicritères des solutions en conception de nouveau produit, *Mémoire de Master, Laboratoire CPI, ENSAM, Paris*

LASSAGNE M., 2003, Maîtrise des incertitudes dans les développements par ultra grands fonds, *Fiche du Comité d'Etudes Pétrolières et Marines*

LASSAGNE M., 2004, Management des risques, stratégie d'entreprise et réglementation, le cas de l'industrie maritime, *Mémoire de thèse N°2004-34, ENSAM/GRID, Paris*

LE GALES C., BURON C., COSTET N., ROSMAN S., SLAMA G., 2001, Développement d'un index d'états de santé pondéré par les utilités en population française : le Health Utilities Index, *La Documentation française, Économie et Prévision, 2001/4-5 - n° 150, ISSN 0249 – 4744 | pp. 71 à 87*

LEVY E., DE POUVOURVILLE G., 2003, Guide méthodologique pour l'évaluation économique des stratégies de santé, *Collège français des Economistes de la Santé*

LIEDTKE P., 2003, De la cartographie à la gestion des risques, *Risques n°55/ Septembre 2003*

MCCORD M., DENEUFVILLE R., 1986, Lottery equivalents: Reduction of the certainty effect problem in utility assessment, *Management science, Vol.32, N°1, January 1986*

MILES, HUBERMAN, 2005, Analyse des données qualitatives, *Editions De Boeck, seconde édition*

MIR R. & WATSON A., 2000, Strategic Management and the Philosophy of Science, *Strategic management journal, vol. 21, no9, pp. 941-953*

MIR R. & WATSON A., 2001, Critical Realism and Constructivism in Strategy Research, *Strategic management journal, vol. 22, no12, pp. 1169-1173*

MIYAMOTO J., WAKKER P., 1994, Multiattribute utility theory without expected utility foundations, *Operations Research, Vol. 44, No. 2. (Mar. - Apr., 1996), pp. 313-326*

MOISDON J-C., 1997, Du mode d'existence des outils de gestion, *Chapitre 7, pp. 192-215, Editions Seli Arslan*

MORGAN M.G., HENRION M., 1990, Uncertainty - A guide to dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis, *Cambridge University Press*

MORTUREUX Y., 2006, Dimensions humaine et organisationnelle dans le retour d'expérience, *Edition Technique de l'Ingénieur, SE 3 805*

MOUSSEAU V., 2003, Elicitation des préférences pour l'aide multicritère à la décision., *Mémoire HDR, U.F.R. Sciences des Organisations, Université Paris Dauphine*

MUNIER B., 1996, Prix du risque et rationalité, *Revue d'économie financière, N°37, p.31-58*

MUNIER B., 2001, Risks Attitudes Appraisal and Cognitive Coordination in Decentralized Decision Systems, *Group Decision and Negotiation N°10: 141-158*

MUNIER B., 2002, Le management des risques : un défi global, *Les nouvelles logiques de l'entreprise, cahier français n°309*

MUNIER B., 2004, L'ingénierie du subjectif, véritable fondement du management des risques, *PCM le pont, 2004, vol. 102, no 5*

MUNIER B., 2005, DIOR - A knowledge Based Process for Technological Global Risk Management, *Conférence invitée, 10 décembre 2005, Polytechnic University of New York*

MUNIER B., 2008, Subjective expected utility, *Encyclopedia of Quantitative Risk Assessment and Analysis, publiée par Wiley*

MUNIER B., 2008, L'analyse de la décision et ses techniques, source d'une gestion efficiente des risques de l'entreprise, *La lettre techniques de l'ingénieur, N°8*

MUNIER B., BESSE P., LASSAGNE M., 2006, Safety policy as a tool in new technology offering : a flow assurance case, *Proceedings of OMAE2006, 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering June 4-9, 2006, Hamburg, Germany*

MUNIER B., TAPIERO C., 2008, Risk attitude, *Encyclopedia of Quantitative Risk Assessment and Analysis*

MUNIER B., TAVERDET-POPIOLEK N., 1999, Choix multicritères dans le risque et variables multidimensionnelles : proposition de méthode et application aux réseaux de transport d'énergie, *RAIRO. Recherche opérationnelle, 1999, vol. 33, no4, pp. 543-568*

MURPHY M., PATÉ-CORNELL E., 1996, The SAM Framework: Modeling the effects of Management Factors on Human Behavior in Risk Analysis, *Risk Analysis, vol. 16, N°4*

PATÉ-CORNELL E., 2002, The engineering Risk Analysis Method and Some Applications, *Advances in Decision Analysis, Ed. Cambridge University Press, pp. 302-324*

PATÉ-CORNELL E., FISCHBECK P., 1992, Probabilistic risk analysis and risk-based priority scale for the tiles of the space shuttle, *Reliability Engineering and System Safety 40 pp.221-238*

PATÉ-CORNELL E., FISCHBECK P., 1992, PRA as a management tool: organizational factors and risk-based priorities for the maintenance of the tiles of the space shuttle orbiter, *Reliability Engineering and System Safety 40 pp.239-257*

PICAND S., MUNIER B., 2008, Gestion des risques de projet à caractère innovant - Application à l'industrie mécanique, *XVIème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Avignon 6-10 octobre 2008, communication C4-B*

POIGNOT J-L., 2005, Marketing industriel B to B, *Support de cours, Sup de CO, Amiens, France*

PRADIER P-C., 2005, Notion de risque en économie, *Editions La Découverte*

PRATT J.W., 1964, Risk Aversion in the Small and in the Large, *Econometrica Vol. 32, No. 1/2 (1964) pp. 122-136*

PRELEC D., 2004, A Bayesian Truth Serum for Subjective Data, *Science, 2004, vol. 306, no5695, pp. 462-466*

PROJECT MANAGEMENT INSTITUT, 2004, A guide to the Project management Body of Knowledge, *Editions Project Management Institute*

QUIGGIN J., 1982, A theory of anticipated utility, *J. Economic Behavior and Organisation, 3(4), 323-343*

QUIGGIN J., 1993, Generalized Expected Utility Theory - A rank dependant model, *Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London*

RABBIN M., 2000, Risk Aversion and Expected-Utility Theory: A Calibration Theorem, *Econometrica, Vol. 68, No. 5, (Sep., 2000), pp. 1281-1292*

RAUFASTE E., HILTON D., 1999, Les mécanismes de la décision face au risque, *Risques n° 39 / Septembre 1999*

ROYER I., 2005, Le management de projet : Evolutions et perspectives de recherche, *Lavoisier, Revue française de gestion, 2005/1 - n°154 pp. 113-122*

SAVAGE L.J., 1954, The foundations of Statistics, *Wiley, New-York*

SCHACHTER R., 1986, Evaluating Influence Diagrams, *Operations Research, Vol.34, N°6, pp.871-882*

SCHNEIDER D.K., 1996, Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle, *Mémoire de thèse, Faculté des sciences économiques et sociales de l'Université de Genève*

SPENCER A., COVEY J., CHILTON S., TAYLORD M., 2004, Testing the internal consistency of the lottery equivalents method using health outcomes: a comment to Oliver, *Health Economics, 14 pp.161–167 (2005)*

SPETZLER C.S., STAËL VON HOLSTEIN C-A. S., 1975, Probability Encoding in Decision Analysis*, Management Science, Vol. 22, N°3, pp.340-358*

TEA C., 2009, Retour d'expérience et données subjectives : quel système d'information pour la gestion des risques? Le cas de la sécurité dans le transport ferroviaire*, Mémoire de thèse, ENSAM/GRID, Paris*

TRAUB S., SEIDL C., SCHMIDT U., GRÖSCHE P., 1999, K-O for Descriptive Utility or Experimental-Design Error? *, Journal of Economics Vol.70, N°2, pp. 109-126*

TVERSKY A., FOX C.R., 1995, Weighing Risk and Uncertainty*, Psychological Review, Vol. 102, N°2, pp. 269-283*

VALANCOGNE J., WYBO J-L., NICOLET J-L., 2003, De la défense en profondeur à la cartographie des risques*, Risques n°55/ Septembre 2003*

VALLEE T., 2007, Présentation de la théorie des options réelles*, Slides de cours, IEMN-IAE, Université de Nantes*

VAN SANTEN T., 2003, Cartographie des risques : un outil stratégique de création de valeur*, Risques n°55/Septembre 2003*

VERDEL T., 2000, Méthodologies d'évaluation globale des risques - Applications potentielles au Génie Civil*, Risque et génie civil. Colloque, Paris, FRANCE (08/11/2000), pp. 23-38*

VERVLIET N., 2008, Management des risques dans les projets innovants, une aide à la conception de scénarios projet*, Revue de thèse RCI - Bouc Bel Air - Laboratoire CPI, ENSAM, Paris*

WEICK K.E., 1987, Organizational Culture as a Source of High Reability*, California management review, vol. XXIX, N°2*

WENG P., 2006, Modèles qualitatifs et approches algébriques pour la décision dans l'incertain: fondements axiomatiques et application à la décision séquentielle*, Mémoire de thèse, UFR, Université Paris VI*

WINKLER H., 2008, Erstellung eines Marktforschungskonzepts
zur Erfassung der Marktanforderungen an neue Liebherr-France SAS Produkte*, Mémoire de stage, LIEBHERR-France*

WISSLER F.E., 2006, Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte*, Mémoire de thèse, Fakultät für Maschinenbau der Universität Stuttgart*

YANNOU B., 2006, Mieux gérer la cohérence des paramètres d'un produit complexe au cours de sa conception*, Editions collection "L'esprit économique", série "Economie et innovation", L'Harmattan-Innoval, Paris*

YANNOU B., DESHAYES P., 2006, Intelligence et innovation en conception de produits et services*, Editions L'Harmattan, Paris*

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS ..... **I**

RESUME/ABSTRACT ..... **III**

SOMMAIRE ..... **V**

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS ..... **VII**
I Sur les références bibliographiques VII
II Liste des abréviations VII
III Propositions de définitions VIII
IV Liste des Notations X

INTRODUCTION **1**

PARTIE 1 : LA GESTION DES PROJETS RISQUES DANS L'INDUSTRIE MECANIQUE **3**

CHAPITRE 1.1 : Projets de développement de produits innovants et objectifs de la thèse **5**
1.1.1 Délimitation du domaine de recherche et objectifs 5
1.1.1.1 Statistiques et constats sur les projets de développement innovants 5
1.1.1.2 De quels risques parle-t-on ? 7
Les risques projet ciblés dans cette thèse 7
Menaces et opportunités 7
Ecarts par rapport aux objectifs initiaux 8
Ne pas rechercher le risque zéro 8
Risques auxquels des indicateurs peuvent être associés 9
Les risques non pris en compte dans cette thèse 9
Les risques liés à la sécurité des opérateurs à l'intérieur de l'usine 9
Le Nœud Papillon 10
Cartographie des risques en entreprise 11
Les risques liés à la sécurité de l'utilisation du produit par le client. 11
Ce qu'impose la réglementation pour l'analyse de la sécurité de l'utilisation de la machine. 11
Analyse de la sûreté de fonctionnement 12
Conclusion sur les risques liés à la sécurité du produit 14
Les risques techniques liés à la qualité du produit développé 15
Les risques financiers 15
1.1.1.3 But de la thèse 16
1.1.2 Gestion de projet et innovation 17
1.1.2.1 La gestion de projet dans l'industrie : origines, apports et dérives 17
Origines et définitions 17
Apports de la gestion par projets 17
Dérives de la gestion par projets 18
1.1.2.2 L'innovation dans l'industrie 19
Définition et enjeux 19
Organiser l'innovation 20
1.1.3 L'avant projet : interface entre projet de développement et innovation 22
1.1.3.1 L'importance grandissante des phases amont du projet 22
1.1.3.2 Caractérisation et organisation de l'avant-projet 23
Structure de l'avant-projet 23
Propositions de définition 26

1.1.3.3 Avant-projet et gestion des risques et opportunités 26
L'importance reconnue de la gestion des risques de projet 26
Cohérence des évaluations des risques et opportunités avec la stratégie de la direction 27
1.1.4 Caractérisation de l'industrie mécanique 28
1.1.4.1 Définition de l'industrie 28
1.1.4.2 Définition de l'industrie mécanique 28
1.1.4.3 Raisons de la restriction du domaine d'étude à l'industrie mécanique 29
1.1.5 Synthèse du chapitre : récapitulatif des besoins pour l'outil de gestion des risques à développer 30
1.1.5.1 Description générale de l'outil cible 30
1.1.5.2 Principe de fonctionnement 31

CHAPITRE 1.2 : Méthodes existantes de gestion des risques dans le domaine : apports, manques et limites 33
1.2.1 La gestion des risques de projets appliquée en entreprise 33
1.2.1.1 Les outils les plus utilisés en entreprise 33
Les méthodes « descendantes » 34
Les méthodes « ascendantes » 35
Les méthodes basées sur les processus stochastiques 36
1.2.1.2 Exemples de processus de gestion des risques de projet en entreprise 37
1.2.1.3 Normalisation des étapes d'analyse des risques de projet 40
1.2.1.4 Les manques relevés dans les applications en entreprise 42
Anticipation des scénarios de risques et opportunités 43
Globalité de la gestion des risques de projet 43
Rationalité des évaluations et cohérence par rapport à la stratégie de l'entreprise 44
Importance de la phase d'évaluation des risques 44
1.2.2 Caractérisation et attentes pour l'évaluation des risques de projet 44
1.2.2.1 La science de la décision 45
L'aide à la décision : principes de base 45
Quel type de décision pour l'aide à la décision? 46
Intérêts de l'aide à la décision 47
1.2.2.2 La rationalité 47
Rationalité individuelle 51
Rationalité d'une entreprise 53
1.2.2.3 Subjectivité et globalité des situations 54
Globalité des situations 54
Probabilités subjectives 55
1.2.3 Les méthodes actuelles pour l'évaluation des risques 56
1.2.3.1 Evaluer et hiérarchiser les risques dans les méthodes couramment utilisées en entreprise 56
Matrice de risque 57
Evaluation des risques du type AMDEC 57
1.2.3.2 Méthodes d'évaluation multicritères 59
Les méthodes de l'approche du critère unique de synthèse 59
Les méthodes de l'approche de surclassement de synthèse 59
Les méthodes d'évaluation multicritère issues de Von Neumann et Morgenstern (VNM) 60
Les modélisations de la décision politique issues de Von Neumann et Morgenstern (VNM) 62
1.2.3.3 Méthodes de représentation de la situation et des choix du décideur 62
Les diagrammes d'influence 63
Théorie des options réelles 64
1.2.4 Synthèse de la revue de littérature 65

CHAPITRE 1.3 : Question et méthodologie de la recherche 67
1.3.1 Question de recherche 67
1.3.2 Apports de la thèse et positionnement 69
1.3.2.1 Positionnement par rapport à la recherche en management de projets 70
1.3.2.2 Positionnement par rapport à la recherche sur la science de la décision et la MAUT (Multiattribute Utility Theory) 71
Courants de recherche 71
Les disciplines de la décision dans le risque 72
Aspects prescriptif, descriptif et normatif de la démarche 73
Utilisation de la théorie de l'utilité espérée 74

1.3.3 Encadrement et contexte de la recherche 76
1.3.3.1 La recherche-intervention 76
1.3.3.2 L'entreprise 77
1.3.3.3 Le laboratoire 78

Conclusion de la première partie 78

PARTIE 2 : LE RECOURS A L'ANALYSE DE LA DECISION : FONDEMENT ET ADAPTATION AU PROBLEME 81

CHAPITRE 2.1 : La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) : origines et applications 83
2.1.1 Les origines de la théorie de l'utilité espérée (EU) 83
2.1.1.1 Principe de fonctionnement 83
2.1.1.2 Notion d'utilité 84
De l'espérance mathématique à l'utilité espérée 84
Utilité ordinale, cardinale et neumanienne 86
2.1.1.3 Notion de probabilité 87
2.1.1.4 Théorie de l'utilité espérée (EU) et de l'utilité espérée subjective (SEU) 88
1944, Axiomatisation de Von Neumann et Morgenstern (VNM) 88
1953, Paradoxe d'Allais 89
1954, Théorie de l'utilité espérée subjective, axiomatisation de Savage 91
1961, Paradoxe d'Ellsberg 92
1979, La Prospect Theory (PT) de Kahneman et Tversky 93
1982, La théorie de l'utilité à dépendance de rang (RDU) de Quiggin (1982) et Wakker & Deneffe (1996) 95
1989, La théorie de l'utilité espérée de Choquet (CEU), de Schmeidler 96
1992, La Cumulative Prospect Theory (CPT) de Tversky et Kahnman 96
Synthèse de l'historique de la théorie de l'utilité espérée 96
2.1.2 La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) 97
2.1.2.1 La forme Multilinéaire 99
2.1.2.2 La forme Multiplicative 100
2.1.2.3 La forme Additive 100
2.1.3 Mise en œuvre de la MAUT et méthodologies d'encodage 101
2.1.3.1 Elicitation des fonctions d'utilité et biais 102
Les méthodes classiques 102
Les biais 104
Transformation des probabilités 104
Aversion aux pertes 105
Framing Effect 105
5 sources de biais pour Hershey 105
La méthode des Trades-off 106
La méthode des loteries équivalentes 107
Résultats et interprétations 109
2.1.3.2 Encodage des probabilités 110
Méthodes d'encodage 110
Probabilités discrètes 110
Probabilités continues 111
Encodages et informations disponibles 111
2.1.3.3 Constantes d'échelle 112
2.1.3.4 Mise en commun des résultats 113
2.1.4 Etat des lieux concernant l'utilisation de la MAUT en entreprise. 113
2.1.4.1 Conditions favorables pour l'application de la MAUT 114
B to B ou B to C 114
Complexité de la situation et enjeux 114
2.1.4.2 Exemples d'applications 114
2.1.4.3 Origines des blocages en entreprise 115

CHAPITRE 2.2 : Construction d'un outil basé sur la MAUT pour répondre au problème posé 117
2.2.1 La fonction d'utilité du projet : structure et justifications 117

2.2.1.1 Les indicateurs principaux d'un projet de développement 118
2.2.1.2 Indépendance des objectifs principaux et fonction multi-attributs 121
Indépendance des paramètres 121
Forme de la fonction d'utilité multi-attributs 122
Elicitation des constantes d'échelle 122
2.2.1.3 Utilité partielle sur les délais 123
2.2.1.4 Utilité partielle sur la rentabilité 124
2.2.1.5 Utilité partielle sur la performance 127
Les critères de performance du produit 128
Pouvoir discriminant des critères 128
Le cas du prix 129
Critères de performance et valeur pour le client 129
Prise en compte de l'innovation dans les critères de performance 129
Critères de performance et image de marque 129
Structure de la fonction d'utilité sur les performances 130
Utilités partielles sur les critères de performance 131
Intégrer les valeurs de la concurrence aux informations dont dispose l'expert 131
Critères qualitatifs et quantitatifs 131
Délimiter des plages de valeurs sur lesquelles varient les attributs 135
2.2.1.6 Justifier l'intervention de différents experts 136
2.2.2 Méthodologies d'encodage des fonctions d'utilité 137
2.2.2.1 Elicitation des fonctions d'utilités partielles 137
Choix de la méthode d'élicitation 137
Prise en compte des domaines de gain et de perte 138
Minimiser les biais 139
Déroulement des interviews 140
Généralités 141
Utilité partielle sur la rentabilité : précisions 141
Utilité partielle sur les délais : précisions 142
Utilité partielle sur les critères de performance : précisions 142
2.2.2.2 Elicitation des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multiplicative sur les performances .. 143
Le concept de désutilité 143
Origines et apports du concept de désutilité 143
Principe d'intégration dans la fonction d'utilité globale 145
Méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle 146
Méthodologie proposée par Keeney et Raïffa 146
Choix sur les paramétrages 147
Amélioration de la méthodologie d'élicitation 148
Déroulement des interviews 150
2.2.2.3 Elicitation des constantes d'échelle de la fonction d'utilité multilinéaire globale 151
Méthodologie d'encodage et algorithmisation 151
Description de l'algorithme d'encodage 151
Déduction des constantes d'échelle 153
Déroulement des interviews 154
2.2.3 Probabilités : cibler et encoder 155
2.2.3.1 Choix des experts 155
2.2.3.2 Méthodologie d'encodage 156
2.2.4 Calcul de l'utilité globale d'une option dans un scénario risqué 157

CHAPITRE 2.3 : Méthode expérimentale : mise en œuvre d'un logiciel 159
2.3.1 Logiciels d'élicitation de fonctions d'utilité multi-attributs existants 159
2.3.1.1 LDW 160
2.3.1.2 S.E.R.U.M. (2001) 161
Détermination de la fonction de transformation des probabilités 161
Elicitation des utilités partielles 162
Elicitation des constantes d'échelle multi-attributs 163
Génération des résultats 164
Bilan sur SERUM 164
2.3.1.3 ASSESS (2003) 165
Comparaison avec SERUM 165

Description de l'interface d'ASSESS 165
Bilan sur ASSESS 166
2.3.1.4 MADE (2007) 167
Elicitation des croyances 167
Elicitation des fonctions d'utilités partielles 167
Elicitation des constantes d'échelle 168
Calcul des utilités espérées 169
Bilan sur MADE 169
2.3.2 Description du logiciel développé : E.U.R.O.P.I. 170
Remarques préliminaires 172
1) Paramétrage des indicateurs de performance 172
2) Elicitation des utilités partielles pour la performance 174
3) Elicitation des constantes d'échelle pour la performance 178
4) Calcul de l'utilité sur les performances 181
5) Paramétrage des indicateurs de la situation globale du projet 183
6) Elicitation des utilités partielles pour la situation globale du projet 186
7) Elicitation des constantes d'échelle pour la situation globale du projet 186
2.3.3 DPL pour la modélisation de la situation de choix 188
2.3.3.1 Traduction des résultats obtenus avec E.U.R.O.P.I. dans DPL 188
2.3.3.2 Modélisation de la situation de choix 189
2.3.3.3 Modélisation et encodage des probabilités avec DPL. 190
Probabilités sur des évènements discrets à 2 issues 190
Probabilités sur des évènements discrets à 3 issues ou plus 191
Probabilités sur des évènements continus 191

Conclusion de la seconde partie 192

PARTIE 3 : MISE EN ŒUVRE DANS LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE..... 193

CHAPITRE 3.1 : Description de l'entreprise et protocole expérimental 195
3.1.1 Description de l'entreprise d'accueil 195
3.1.1.1 L'Histoire du groupe 195
3.1.1.2 Le produit et le contexte concurrentiel 196
3.1.1.3 Position dans l'entreprise 197
3.1.2 Supports organisationnels pour le processus de gestion des risques 197
3.1.2.1 Formalisme apporté par le service EPM à une structure flexible 197
3.1.2.2 Réalisation des étapes de la boucle de gestion des risques 198
Détection des risques 199
Evaluation des risques 200
Traitement des risques résiduels et suivi 200
Capitaliser l'expérience 201
3.1.3 Sujets d'étude 201
3.1.3.1 Problématiques des projets de développement 202
3.1.3.2 Similarités entre les projets et regroupement des analyses 202
3.1.4 Définition des attributs 204
3.1.4.1 Indicateur sur les délais 204
3.1.4.2 Indicateur sur la rentabilité 204
3.1.4.3 Indicateur sur la performance 206
Choix des critères de performance et indicateurs 206
Données marketing disponibles 206
Liste retenue des critères de performance 206
Exemples de traduction en attributs 208
Le prix de vente 209
Force de pénétration et force de cavage 209
La consommation 209
La vitesse de rotation de la tourelle 210
La force de traction 210
Les experts retenus 211

CHAPITRE 3.2 : Résultats **213**
3.2.1 Validation expérimentale de la méthodologie. 213
3.2.1.1 Méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle sur la performance 213
Protocole expérimental résumé 214
Synthèse des résultats des expérimentations 215
Conclusions des expérimentations 217
3.2.1.2 Test de l'hypothèse de linéarité sur la fonction d'utilité partielle sur le prix 218
3.2.1.3 Test pour la validation de la méthode des loteries équivalentes 219
3.2.1.4 Tests réalisés sur le logiciel développé (E.U.R.O.P.I.) 220
Notations 221
Courbes d'indifférences entre les attributs prix et consommation avec E.U.R.O.P.I. 222
Forme théorique des courbes d'indifférence 223
Conclusions des tests réalisés sur le logiciel 225
3.2.2 Analyse et interprétation des résultats obtenus sur le terrain 225
3.2.2.1 Les élicitations réalisées 226
3.2.2.2 Fonctions d'utilité partielles sur les performances 226
3.2.2.3 Constantes d'échelle sur les performances 229
Comparaison avec les classements issus des sondages concessionnaires 229
Comparaison avec les rapports d' « affaires perdues » 230
Elicitations réalisées au Salon Intermat 2009 231
3.2.2.4 Constantes d'échelle sur la situation globale des projets. 232
Analyse des différents résultats 233
Conclusions des élicitations des constantes d'échelle des fonctions multilinéaires 236
3.2.3 Aides à la décision possibles 237
3.2.3.1 Application standard de l'outil 237
3.2.3.2 Application centrée sur les performances du projet 240

CHAPITRE 3.3 : Discussions **243**
3.3.1 Sur les bases théoriques de la méthode 243
3.3.1.1 Interprétation des formes des fonctions d'utilité 243
Interprétation des courbes en « S » 243
Concavité, convexité, et attitude par rapport au risque 245
Remise en question de l'interprétation standard sous UE (Utilité Espérée) 245
Emploi de fonctions de valeurs dans le certain. 247
Fonction de valeur dépendant du niveau de risque ? 247
Fonctions d'utilité et buts du décideur 247
3.3.1.2 Méthodologie : limites et perspectives 249
Interrogations sur le rôle de la constante d'échelle multiplicative C 249
L'intervention de plusieurs experts fausse-t-elle les résultats ? 250
3.3.2 Sur l'aspect « opérationnel » de l'outil en entreprise 252
Coût et apports de l'outil en entreprise 252
Compétences et ressources requises pour son utilisation 252
Les apports possibles pour une entreprise 254
Evaluer l'efficacité de la gestion des risques et des opportunités 255
Limites et perspectives d'amélioration 256
Taille des échantillons 256
Crédibilité des prescriptions 256
3.3.3 Vers des domaines d'application plus larges 257
3.3.3.1 Séparation de l'outil en 2 applications : gestion de projet et marketing 257
Outil « gestion de projet » : application aux projets de plus grande envergure 257
Outil « performance » : application au domaine marketing 258
Une nouvelle voie pour le marketing industriel 259
Révision des critères de performance 260
Résultats des analyses : sources d'arguments de ventes 260
3.3.3.2 Gérer les risques et opportunités liés à un portefeuille de projets 260

Conclusion de la troisième partie **261**

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES **263**

BIBLIOGRAPHIE 265

TABLE DES MATIERES 275

TABLE DES ILLUSTRATIONS 283
Liste des figures 283
Liste des tableaux 286

ANNEXES 287
Annexe A : Démonstration mathématique de l'existence d'une solution unique dans le cadre de l'amélioration de la méthodologie d'élicitation des constantes d'échelle d'une fonction d'utilité multi-attributs multiplicative 289
Annexe B : méthodologie d'évaluation de la sécurité des projets de développement, extraits de la procédure établie 297
Annexe C : Liste des critères d'évaluation de la performance d'une pelle hydraulique sur chenille. 307
Annexe D : Liste détaillée des élicitations réalisées 309
Annexe E : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : MM. A. et S. 310
Annexe F : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : M. B. 311
Annexe G : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : Dr. B. 312
Annexe H : Représentation par tranche de la fonction d'utilité multi-attributs multilinéaire globale : MM. A. et S. 313
Annexe I : Algorithme pour l'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires dans le cas n=3 314

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 - Diagramme en "nœud papillon" 10
Figure 2 - Définition de la sûreté de fonctionnement..... 13
Figure 3 - Détermination du PL requis dans le cadre de la sûreté de fonctionnement..... 14
Figure 4 - L'innovation technologique, d'organisation ou de marketing pour les entreprises industrielles de 20 salariés ou plus dans l'ensemble des pays européens. 19
Figure 5 - Les relations R/I/D 21
Figure 6 - Représentation simplifiée des phases d'un projet de développement..... 24
Figure 7 - Les activités de l'avant-projet 25
Figure 8 - Fonctionnement global attendu de l'outil développé 31
Figure 9 - Exemple de document support pour la réalisation d'un AMDEC 34
Figure 10 - Exemple d'un arbre de défaillances 35
Figure 11 - Exemple d'une chaîne de Markov..... 36
Figure 12 - Méthode ADIP pour la gestion des risques projet..... 37
Figure 13 - Logigramme représentant le processus de gestion des risques 39
Figure 14 - Processus de traitement du risque..... 41
Figure 15 - Les étapes de l'analyse de la décision..... 46
Figure 16 - Proposition de représentation d'un mécanisme individuel de choix..... 52
Figure 17 - Représentation des liens entre les objectifs des projets et ceux de l'entreprise 55
Figure 18 - L'évaluation des risques selon la norme IEC 62198..... 57
Figure 19 - Exemple de diagramme d'influence..... 63
Figure 20 - Coordination des activités de gestion des risques avec les phases du projet de développement 71
Figure 21 - Les cinq étapes de la recherche-intervention..... 77
Figure 22 - Exemple de loterie représentant une situation de gains et de pertes 84
Figure 23 - Loterie proposée dans le paradoxe de St Petersburg 85
Figure 24 - Illustration du paradoxe d'Ellsberg à 3 couleurs..... 92
Figure 25 - Forme en "S" des fonctions d'utilité sous la Prospect Theory..... 94
Figure 26 - Exemple de fonction de transformation des probabilités 95
Figure 27 - Illustration d'une courbe d'indifférence dans le cas d'une situation à 2 attributs... 98
Figure 28 - Illustration d'une loterie et de son équivalent certain 103
Figure 29 - Processus de choix des méthodes d'élicitation des préférences..... 106
Figure 30 - Variante 1 de l'application de la méthode des loteries équivalentes 108
Figure 31 - Variante 2 de l'application de la méthode des loteries équivalentes 108
Figure 32 - Forme de la fonction d'utilité et attitude vis-à-vis du risque 109
Figure 33 - Fonction de répartition des probabilités sur une variable..... 110
Figure 34 - Représentation de la structure de la fonction d'utilité retenue..... 118
Figure 35 - Exemple de fonction d'utilité partielle sur les délais attendue 124
Figure 36 - % de remboursement des frais fixes de production en fonction du prix de vente125
Figure 37 - Exemple de fonction d'utilité partielle sur la rentabilité attendue 127
Figure 38 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut qualitatif "pur", non-ordonné..... 132
Figure 39 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut qualitatif "ordonné" 133
Figure 40 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut quantitatif "ordonné" 133

Figure 41 - Décomposition multi-attributs d'une fonction d'utilité partielle sur un critère de performance 134
Figure 42 - Exemple de fonction d'utilité partielle pour un attribut quantitatif "non-ordonné" 135
Figure 43 - Méthode LE retenue pour l'élicitation des fonctions d'utilité 140
Figure 44 - Exemple de représentation sous forme de « camembert » 141
Figure 45 - Intégration du concept de désutilité dans notre structure 145
Figure 46 - Méthode LE retenue pour l'encodage des probabilités discrètes 156
Figure 47 - Méthode LE retenue pour l'encodage des probabilités continues 156
Figure 48 - Interface SERUM pour l'encodage des fonctions de transformation des probabilités 162
Figure 49 - Interface SERUM pour l'élicitation des fonctions d'utilité partielles 162
Figure 50 - Interface SERUM pour l'élicitation des constantes d'échelle 163
Figure 51 - Génération des résultats avec SERUM 164
Figure 52 - Interface ASSESS pour l'élicitation des fonctions d'utilité partielles par la méthode des loteries équivalentes 166
Figure 53 - Interface ASSESS pour l'élicitation des constantes d'échelle par la méthode des probabilités équivalentes 166
Figure 54 - Interface MADE pour l'élicitation des fonctions d'utilités partielles 168
Figure 55 - Interface MADE pour l'élicitation de la constante d'échelle K2 169
Figure 56 - Diagramme de séquençage pour l'utilisation d'E.U.R.O.P.I. 171
Figure 57 - Echelle à renseigner pour chaque attribut (E.U.R.O.P.I.) 173
Figure 58 - Cartouche titre de l'onglet "Echelles" (E.U.R.O.P.I.) 174
Figure 59 - Liste des conséquences pour l'élicitation des utilités partielles sur la performance (E.U.R.O.P.I.) 175
Figure 60 - Loteries pour l'élicitation des utilités partielles (E.U.R.O.P.I.) 175
Figure 61 - Représentation de la fonction d'utilité partielle sur les performances (E.U.R.O.P.I.) 177
Figure 62 - Cartouche titre de l'onglet "Echelles" (E.U.R.O.P.I.) 179
Figure 63 - Liste attributs pour l'élicitation des constantes d'échelle sur la performance (E.U.R.O.P.I.) 179
Figure 64 - Situation de choix pour l'élicitation de la constante d'échelle relative au prix (E.U.R.O.P.I.) 180
Figure 65 - Tableau de synthèse pour le calcul de l'utilité sur les performances (E.U.R.O.P.I.) 181
Figure 66 - Représentation graphique des constantes d'échelle (E.U.R.O.P.I.) 182
Figure 67 - Génération des courbes d'indifférences avec E.U.R.O.P.I. 183
Figure 68 - Paramétrage de l'attribut performance avec E.U.R.O.P.I. 184
Figure 69 - Paramétrage de l'attribut délais avec E.U.R.O.P.I. 185
Figure 70 - Cartouche titre de l'onglet "Echelles Projet" (E.U.R.O.P.I.) 186
Figure 71 - Interface E.U.R.O.P.I. pour l'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires 187
Figure 72 - Résultats pour les constantes d'échelle multilinéaires (E.U.R.O.P.I.) 188
Figure 73 - Modélisation de la fonction d'utilité sous DPL 189
Figure 74 - Roue ajustable pour les probabilités sous DPL 190
Figure 75 - Pelles hydrauliques sur chenilles LIEBHERR, de 25 tonnes (gauche) et 800 tonnes (droite) 196
Figure 76 - Charges fixes et variables d'un projet de développement 205
Figure 77 - Les différents prix du processus d'achat 209
Figure 78 - Calcul de l'angle maximal franchissable d'une pelle 211
Figure 79 - Différences P2 - P2th trouvées en fonction de P1 216

Figure 80 - Nombre d'échantillons en fonction de la valeur de la différence P2 - P2th (en %) 217
Figure 81 - Fonction d'utilité partielle sur le prix (en k€) d'une pelle 218
Figure 82 - Fonction d'utilité partielle sur le prix (en k€) d'une pelle : prix « magique » 219
Figure 83 - Fonction d'utilité sur la rentabilité du projet élicitée avec la méthode des Trade-Off 220
Figure 84 - Fonction d'utilité sur la rentabilité du projet élicitée avec la méthode des loteries équivalentes 220
Figure 85 - Fonction d'utilité partielle sur la consommation générée par E.U.R.O.P.I. 222
Figure 86 - Courbes d'indifférence, générées avec E.U.R.O.P.I. 223
Figure 87 - Courbes d'indifférences : résultats du logiciel comparés aux courbes théoriques 225
Figure 88 - Fonctions d'utilité de type linéaire, exponentiel et qualitatif 226
Figure 89 - Fonction d'utilité en "S" sur le volume de chargement 227
Figure 90 - Fonction d'utilité en "S" 228
Figure 91 - Fonction d'utilité sur le volume de chargement, après réduction de l'intervalle des possibles 229
Figure 92 - Valeur des différentes constantes d'échelle pour la future pelle X 229
Figure 93 - Valeurs des constantes d'échelle multilinéaires 233
Figure 94 - Valeur de l'attribut sur la performance : comparaison avec les concurrents (factice) 234
Figure 95 - Forme de la fonction d'utilité partielle élicitée sur les délais 235
Figure 96 - Paramétrage de l'impact de la décision sur l'attribut "consommation" sous DPL 238
Figure 97 - Paramétrage de l'impact de la décision sur l'attribut "rentabilité" sous DPL 239
Figure 98 - Paramétrage de l'impact de la décision sur l'attribut "Délai" sous DPL 239
Figure 99 - Espérance d'utilité de chaque option de choix sous DPL 239
Figure 100 - Courbes d'indifférence entre le prix de vente et la longueur de chargement 241
Figure 101 - Exemple de fonction d'utilité en "S" sur l'attribut X 244
Figure 102 - Concavité de la fonction d'utilité et aversion au risque 245
Figure 103 - Positionnement des abscisses et formes des fonctions d'utilité 246
Figure 104 - Cycle pour l'obtention des statistiques d'utilisation des clients à partir des fonctions d'utilité encodées auprès des vendeurs 248
Figure 105 - Comportement de la fonction d'utilité multiplicative en fonction de la valeur de C 250
Figure 106 - Structure de la fonction d'utilité pour l'application "gestion de projet" 258
Figure 107 - Structure de la fonction d'utilité pour l'application "performance" 259
Figure 108 - Structure de la fonction d'utilité pour l'application « Portefeuille de projets » . 261

Liste des tableaux

Tableau 1- Les principaux obstacles aux activités innovantes 6
Tableau 2 - Pourquoi les projets innovant restent-ils inexploités? 6
Tableau 3 - Etat de l'Art des méthodes de management des risques Projet 42
Tableau 4 - The disciplinary roots of decisions Science 73
Tableau 5 - Loteries proposées par Allais pour illustrer son paradoxe 90
Tableau 6 - Liens entre les variables conditionnant la profitabilité d'un produit nouveau et les méthodologies d'aide à la conception. 120
Tableau 7 - Résumé de l'algorithme d'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires 152
Tableau 8 - Tableau récapitulatif des équations générées par l'algorithme d'élicitation des constantes d'échelle multilinéaires 154
Tableau 9 - Méthodologie d'élicitation des fonctions d'utilités partielles sous SERUM 163
Tableau 10 - Domaines à risques en fonction des différentes phases du projet de développement 199
Tableau 11 - Résultat du sondage marketing pour les critères de performance 206
Tableau 12 - Liste finale critères retenus pour l'évaluation de la performance 208
Tableau 13 - Application numérique sous Excel de la fonction théorique 224
Tableau 14 - Synthèse des paramètres des options de choix 238
Tableau 15 - Utilité globale sur les performances du projet 240

ANNEXES

ANNEXE A : DEMONSTRATION MATHEMATIQUE DE L'EXISTENCE D'UNE SOLUTION UNIQUE DANS LE CADRE DE L'AMELIORATION DE LA METHODOLOGIE D'ELICITATION DES CONSTANTES D'ECHELLE D'UNE FONCTION D'UTILITE MULTI-ATTRIBUTS MULTIPLICATIVE

Rappel : Nous souhaitons éliciter une fonction d'utilité multi-attributs multiplicative à n attributs. Notons x_i ces attributs qui peuvent varier entre une valeur idéale (x_i*) et une valeur considérée comme la pire au sens des préférences de l'utilisateur (x_i°). Nous avons donc, au niveau des fonctions d'utilité partielles de chacun de ces paramètres, $u_i(x_i°)=0$ et $u_i(x_i*)=1$. La fonction d'utilité multi-attributs multiplicative s'écrit donc de la forme suivante :

$$U(x_1...x_n) = \frac{1}{k}\left[\prod_{i=1}^{n}\left(1+kk_iu_i(x_i)\right)-1\right]$$

Les k_i sont les constantes d'échelle relatives aux attributs x_i et k est la constante d'échelle multiplicative, seule donnée représentant l'interdépendance entre les différents attributs.

Nous avons également établi (Cf. 2.2.2.2) (n-1) équations entre les différentes constantes d'échelle en trouvant, pour tout i différent de 1, l'équivalence entre les 2 situations suivantes auprès d'un expert:

$$\text{Tel que } (x_1^0,...,x_i^*,...,x_n^0) \approx (x_1^i,...,x_i^0,...,x_n^0)$$

En égalisant les utilités des deux situations, on peut alors écrire :

$$k_i = k_1u_1(x_1^i)$$

Notons $q_i = u_1(x_1^i)$. On a donc $\forall i \neq 1,\ k_i = k_1q_i$ avec $q_i \in]0;1]$.

On peut ajouter à ce système d'équations :

- L'équation de contrainte :

$$k = \left[\prod_{i=1}^{n}\left(1+kk_i\right)-1\right]$$

- L'équation issue de la nouvelle équivalence que nous nous proposons de trouver :

$$(x_1^*,...,x_i^0,...,x_n^0) \quad \sim \quad \begin{cases} \xrightarrow{p} (x_1^0,...,x_i^*,...,x_n^*) \\ \xrightarrow{1-p} (x_1^0,...,x_i^0,...,x_n^0) \end{cases}$$

$$\rightarrow \quad k_1 = p \times \frac{1}{k}\left[\prod_{i=2}^{n}(1+kk_i)-1\right]$$

Le système d'équations à résoudre est donc le suivant :

$$\begin{cases} k+1=\prod_{i=1}^{n}(1+kk_i) \quad avec \quad k \in]-1;\infty[\\ k=\frac{p}{k_1}\left[\frac{1}{k_1}-\frac{(p+1)}{p}\right] \quad avec \quad p \in]0;1] \\ k_i = q_i k_1 \quad avec \quad q_i \in]0;1] \; \forall i \;\; et \; q_1 = 1 \end{cases}$$

Montrons à présent qu'il admet une unique solution [k, k1, …, kn].

1. Reformulation du problème

En égalant la valeur de k dans les deux premières équations et en injectant les expressions des k_i dans la première, on obtient l'équation suivante :

$$\prod_{i=1}^{n}\left[1+q_i p\left(\frac{1}{k_1}-\frac{(p+1)}{p}\right)\right]-1=\frac{p}{k_1}\left[\frac{1}{k_1}-\frac{(p+1)}{p}\right] \text{ Avec } \quad k_1 \in]0;1[$$

Effectuons un changement de variable pour simplifier les notations :

$$\text{Soit } K_1=\frac{1}{k_1}-\frac{p+1}{p} \Leftrightarrow k_1=\frac{p}{K_1 p+P+1} \quad \text{Avec} \quad K_1 \in \left]\frac{-1}{p};+\infty\right[$$

Trouver les solutions du système d'équation consiste alors à trouver les solutions K1 de l'équation suivante :

$$\prod_{i=1}^{n}[1+q_i pK_1]-1=K_1(K_1 p+p+1) \text{ Avec } \quad K_1 \in \left]\frac{-1}{p};+\infty\right[$$

On remarque premièrement que K_1=0 est solution évidente de cette équation polynomiale en K_1. Or K_1=0 correspond à la situation k_1= p/(p+1), c.à.d. k=0, ce qui signifie une forme additive de la fonction d'utilité multi-attributs. Une telle solution n'est valide que si la somme des k_i vaut 1, c.à.d:

$$\sum_{i=1}^{n} q_i \frac{p}{p+1} = 1$$

Cette hypothèse peut se vérifier avant la résolution du système d'équation. Pour écarter cette solution de notre étude, on simplifie par K1 les deux membres de l'équation et on cherche les racines du polynôme H de degré n-1 sur l'intervalle $\left]\frac{-1}{p};+\infty\right[$:

$$H(K_1) = \frac{1}{K_1}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[1+q_i pK_1\right]-1\right]-\left(K_1 p + p + 1\right)$$

Sous sa forme simplifiée (simplification par K1 dans le premier membre de la fonction), cette fonction est Cn sur l'intervalle considéré. En effet, il s'agit alors d'un polynôme de degré n-1. Cependant, pour simplifier la rédaction de la démonstration, nous conserverons la notation ci-dessus dans la suite du papier.

2. Limites de H (K1) et H'(K1) aux bornes de l'intervalle considéré.

$H(K_1) = \frac{1}{K_1}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[1+q_i pK_1\right]-1\right]-\left(K_1 p + p + 1\right)$ donc

$H\left(-\frac{1}{p}\right) = 0 \; car \; q_1 = 1$ par définition, et

$$\lim_{K1\to\infty} H(K_1) = p^n K_1^{n-1}\prod_{i=1}^{n} q_i - K_1 p + o\left(K_1^{n-1}\right) = \begin{cases} +\infty & pour \; n > 2 \\ -\infty & pour \; n = 2 \end{cases}$$

De même,

$$H'(K_1) = \frac{1}{K_1}\left[\sum_{i=1}^{n} q_i p \prod_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n}\left[1+q_i pK_1\right]\right] - \frac{1}{K_1^2}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[1+q_i pK_1\right]-1\right] - p \text{ donc}$$

$$H'\left(\frac{-1}{p}\right) = p\left[p\left(1-\prod_{i=2}^{n}\left(1-q_i\right)\right)-1\right] < 0 \text{ et}$$

$$\lim_{K1\to\infty} H'(K_1) = (n-1)p^n K_1^{n-2}\prod_{i=1}^{n} q_i - p + o\left(K_1^{n-2}\right) = \begin{cases} \infty & pour\ n > 2 \\ p\left(p\prod_{i=1}^{n} q_i - 1\right) < 0 & pour\ n = 2 \end{cases}$$

Dans le cas n=2, H est un polynôme de degré 1 en K_1, d'où H''= 0 et H'= cste sur l'intervalle considéré. Etant donné que H'(-1/P) < 0, on en conclue que H est strictement décroissante sur l'intervalle considéré. Or H(-1/p) étant strictement négatif, on peut en déduire que l'équation $H(K_1) = 0$ n'admet pas de solution. Par conséquent, dans le cas n = 2, si le décideur est capable de donner une probabilité équivalente p à la loterie, c'est un choix incohérent qui ne permet pas de dégager une solution.

Pour étudier le cas n > 2, nous devons étudier le signe de H''. Pour ce faire, étudions le signe des dérivées kième de H en -1/p.

3. Etude du signe de la dérivée ki^{ème} de la fonction H pour tout n

Soient A et B les fonctions telles que :

$$H(K_1) = \frac{1}{K_1}\left[\prod_{i=1}^{n}\left[1+q_i pK_1\right]-1\right] - \left(K_1 p + p + 1\right) = A(K_1) - B(K_1)$$

On note que pour $k \geq 2$, on a

$$H^{(k)}(K_1) = A^{(k)}(K_1)$$

Dans la suite de la démonstration, on considère n > 2 et $2 \leq k \leq (n-1)$.

Dérivons $H(K_1)$ (donc $A(K_1)$) à l'ordre k comme un produit de 2 fonctions :

$$H^{(k)}(K_1) = \sum_{m=0}^{k} \left[C_k^m \frac{(-1)^{k-m}(k-m)!}{K_1^{k-m+1}} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} q_i p \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} q_j p \ldots}_{\text{m sommes}} \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n} (1+q_z p K_1) \right] - \frac{(-1)^k k!}{K_1^{k+1}}$$

$$= \sum_{m=0}^{k} \left[\frac{k!}{m!(k-m)!} \times \frac{(-1)^{k-m}(k-m)!}{K_1^{k-m+1}} p^m m! \underbrace{\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j>i}}^{n} q_j \ldots}_{\text{m sommes}} \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n} (1+q_z p K_1) \right] - \frac{(-1)^k k!}{K_1^{k+1}}$$

Après simplifications, on obtient donc :

$$H^{(k)}\left(-\frac{1}{p}\right) = k!\, p^{k+1} \left(1 - \sum_{m=0}^{k} \left[\underbrace{\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j>i}}^{n} q_j \ldots}_{\text{m sommes}} \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n} (1-q_z) \right] \right) \qquad (A1)$$

Posons alors :

$$X(n,k) = \sum_{m=0}^{k} \left[\underbrace{\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j>i}}^{n} q_j \ldots}_{\text{m sommes}} \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n} (1-q_z) \right]$$

Il apparaît déjà que $X(n,k) \geq 0$

Montrons alors, par récurrence sur n, que $X(n,k) < 1 \quad \forall n \in \mathbb{N}^*,\ k \leq n-1$

Vérification Initiale pour n = 1 et k = 0 :

$$X(1,0) = \prod_{i=1}^{n} 1 - q_i = 1 - q_1 < 1 \quad car \quad q_1 \in \left]0;1\right]$$

Hypothèse de récurrence :

Soit n tel que X(n,k) < 1 $\forall k \le n-1$. Montrons que X(n+1,k+1) < 1 $\forall k \le n-1, k \in \mathrm{N}$.

On a, par définition :

$$X(n+1,k+1) = X(n,k)(1-q_{n+1}) + q_{n+1}\sum_{m=0}^{k-1}\left[\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j>i}}^{n} q_j \ldots \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n}(1-q_z)\right]$$

$$= X(n,k)(1-q_{n+1}) + q_{n+1}X(n,k-1)$$

$$= X(n,k) - q_{n+1}(X(n,k) - X(n,k-1))$$

$$= X(n,k) - q_{n+1}\left(\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j>i}}^{n} q_j \ldots \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n}(1-q_z)\right)$$

$$\le X(n,k) \quad car\ q_{n+1}\left(\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j>i}}^{n} q_j \ldots \prod_{\substack{z=1 \\ z\neq i \\ z\neq j \\ \ldots}}^{n}(1-q_z)\right) \ge 0$$

$D'où\ X(n+1,k+1) < 1$

Conclusion :

Nous pouvons donc dire que X(n,k) < 1 $\forall n \in \mathrm{N}^*, k \le n-1$, ce qui signifie, d'après l'équation (A1), que :

$$H^{(k)}\left(-\frac{1}{p}\right) > 0 \quad \forall n, \forall k\ tel\ que\ 2 \le k \le n-1$$

Par ailleurs, on a :

$$H^{(n-1)}(K_1) = (n-1)!\,p^n \prod_{i=1}^{n} q_i > 0$$

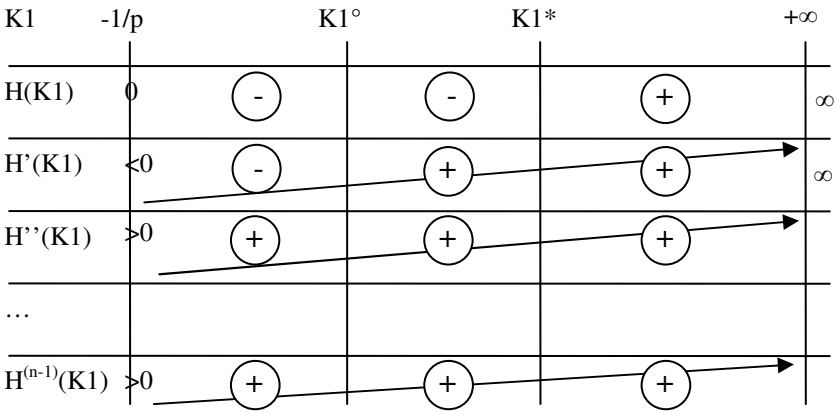
4. Conclusions sur le cas n > 2

Etant donné que $H^{(n-1)}(K_1) > 0 \; sur \left[-\frac{1}{p}; \infty \right[$ et $H^{(k)}\left(-\frac{1}{p}\right) > 0 \; \forall n, \forall k \mid 2 \le k < n-1$, On en conclue que les dérivées kième (k ≥ 2) sont toutes strictement croissantes et strictement positives sur l'intervalle considéré.

Or comme H'' est strictement positive, H'(-1/p) < 0 et Lim(H'(K1→∞)) = ∞, on en déduit qu'il existe K1° tel que H'(K1°)=0.

De la même façon, sur [K1° ; ∞ [, il existe un unique K1* tel que H(K1*)=0.

Ces déductions sont résumées dans le tableau de variation de la fonction H ci-dessous :



De plus, on remarque que :

$$H(0) = p\sum_{i=1}^{n} q_i - (p+1)$$

Ce qui implique :

$$\frac{p}{(p+1)}\sum_{i=1}^{n} q_i > 1 \Rightarrow K_1^* < 0 \Rightarrow k_1^* \in \left] \frac{p}{p+1}; 1 \right[$$

$$\frac{p}{(p+1)}\sum_{i=1}^{n} q_i < 1 \Rightarrow K_1^* > 0 \Rightarrow k_1^* \in \left] 0; \frac{p}{p+1} \right[$$

Cela nous permet alors de conclure que, dans le cas n>2, si le décideur est capable de donner une probabilité p pour laquelle il est équivalent entre les deux loteries, il est possible de

résoudre le système d'équation, ce dernier admettant une unique solution k1*. On sait de plus que cette unique solution est à chercher sur :

$$\begin{cases} \left]0;\frac{p}{p+1}\right[& si \quad \frac{p+1}{p}\sum_{i=1}^{n} q_i < 1 \\ \left]\frac{p}{p+1};1\right[& si \quad \frac{p+1}{p}\sum_{i=1}^{n} q_i > 1 \end{cases}$$

Rappel : Le cas $k_1 = (p+1)/p$ correspond à la forme additive de la fonction multi-attributs et peut être testé avant de résoudre le système d'équation.

ANNEXE B : METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA SECURITE DES PROJETS DE DEVELOPPEMENT, EXTRAITS DE LA PROCEDURE ETABLIE

1. Déclenchement de l'analyse

Cette analyse est imposée par la directive « machines » 2006/42/CE et doit être réalisée pour chaque projet de développement.

2. Préparation de l'analyse

Formation des groupes de travail

Les groupes de travail ne doivent pas excéder 6 personnes. D'après l'ISO 14121, toutes les phases de vie de la machine doivent être analysées. Un groupe de travail doit être constitué pour chaque phase de vie ou groupe de phases de vie de la machine.

Recensement des sujets à aborder

- Envoyer aux participants la liste des dangers de l'EN 474-1/5 et des dangers supplémentaires découverts au cours des analyses précédentes.

- Demander aux participants de nous fournir la liste de tous les points importants concernant la sécurité des machines qu'ils voulaient voir abordés lors de la réunion.

- Analyser l'historique des accidents survenus sur les machines des précédentes conceptions pour pouvoir illustrer, lors des réunions d'analyse, des cas concrets survenus par le passé.

Organisation des réunions

L'idéal est de pouvoir projeter la version 3D de la machine durant la/les réunions pour pouvoir observer, à la demande des participants, toutes les facettes de la nouvelle conception. Pour une question de concentration des participants, la durée des réunions ne doit pas excéder 2h.

Une feuille synthétisant les échelles de notation doit être distribuée à tous les participants avant la réunion.

3. Réalisation de l'analyse

3.1 Fonctionnement du support Excel

Onglet « Evaluation des risques »

Phase de vie de la machine : ISO 12100-1 : à renseigner obligatoirement pour chaque risque à partir de la liste déroulante :

0. Fabrication interne;
1. Transport, Montage, Installation;
2. Démarrage, Mise en route;
3. Réglage, Apprentissage, Programmation;
4. Utilisation ;
5. Nettoyage;
6. Recherche de panne/défauts, Réparation;
7. Maintenance;
8. Mise hors service, Démontage.

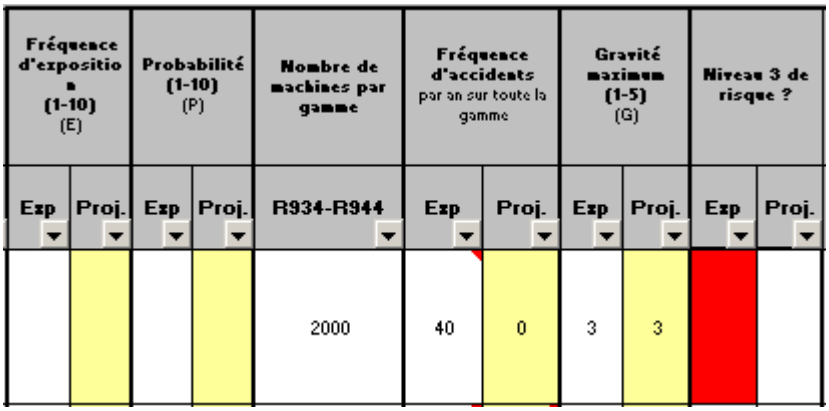
Description de l'accident : décrire l'accident ou l'accident potentiel, les conditions dans lesquelles il se produit,…

Nature de la gravité : nature de la conséquence, à renseigner à partir de la liste déroulante. Si un risque implique des conséquences de natures différentes, il est nécessaire d'ajouter une ligne de plus.

Danger d'après l'EN 474-1/5 : renseigné pendant ou suite à l'analyse, il s'agit du numéro se trouvant dans la liste des dangers de l'EN 474-1/5 correspondant à l'accident potentiel décrit.

Calcul fréquence : s'il est possible aux participants de donner la fréquence d'accident par an pour toute la gamme de machines, cocher « non » dans cette colonne. Dans le cas contraire, cocher « oui ».

Dans les 11 colonnes suivantes, les colonnes blanches concernent les projets précédents (Exp. pour expérience) et la colonne jaune concerne le nouveau projet (Proj. pour projet).



Fréquence d'exposition (1-10) (E)		Probabilité (1-10) (P)		Nombre de machines par gamme	Fréquence d'accidents par an sur toute la gamme		Gravité maximum (1-5) (G)		Niveau 3 de risque ?	
Exp	Proj.	Exp	Proj.	R934-R944	Exp	Proj.	Exp	Proj.	Exp	Proj.
				2000	40	0	3	3		

Fréquence d'exposition (1-10) : A remplir uniquement si les participants ne sont pas capables de donner une fréquence d'accidents par an pour toute la gamme (dans le cas des accidents de faible gravité, par exemple). Il s'agit de la fréquence d'exposition au risque d'accident par machine. Consulter l'échelle située dans l'onglet « Fréquence » pour donner la note de 1 à 10. Pour les risques de type « 0. Fabrication Interne », il faut donner ici le nombre de fois où l'opérateur est exposé au risque pour chaque machine montée.

Probabilité (1-10) : A remplir uniquement si les participants ne sont pas capables de donner une fréquence d'accidents par an pour toute la gamme (dans le cas des accidents de faible gravité par exemple). Il s'agit de la probabilité de réalisation du risque lors d'une situation d'exposition au risque. Consulter l'échelle située dans l'onglet « Fréquence » pour donner la note de 1 à 10.

Nombre de machines par gamme : Nombre approximatif de machines composant la gamme considérée, nombre de machines de ce type qui seront produites en 10 ans. Pour les risques de type « 0. Fabrication Interne », il faut donner ici le nombre de machines produites par an.

Fréquence d'accidents par an sur toute la gamme : Si « oui » a été coché dans la colonne « Calcul Fréquence », cette fréquence est calculée automatiquement en appuyant sur le bouton « MàJ données » sur le haut du document. Dans le cas contraire, cette colonne est à renseigner.

Gravité maximum (1-5) : Il s'agit d'évaluer la conséquence maximale de l'accident potentiel considéré. Consulter l'échelle située dans l'onglet « Gravité » et tenir compte de la nature de la conséquence de l'accident potentiel (Humaine, Matérielle ou Environnementale) pour donner la note de 1 à 5.

Niveau 3 de risque : Ne pas remplir ces colonnes. Elles se remplissent automatiquement en rouge si le risque considéré est situé dans la zone « inacceptable ».

Mesure de réduction du risque à travers la conception : Ces mesures sont celles qui doivent encore être prises à la conception pour réduire le risque d'accident potentiel.

Comportement autorisé dans le manuel de conduite et d'entretien ou le manuel technique : Si ce critère est coché à «non», le risque ne sera pas pris en compte dans la matrice des risque; c.à.d. le calcul du niveau de sécurité de la machine ne tiendra pas compte de ce risque.

Normes : Permet de recenser les normes en relation avec cet accident potentiel.

Justifications/Etat de l'Art : Contient les justifications et remarques importantes concernant l'évaluation du risque. Permet également de renseigner l'état de l'Art pour le traitement de ce risque, c.à.d. ce qui existe dans notre industrie pour traiter ce risque.

Risque acceptable : Cette colonne doit être renseignée par le chef de projet et/ou la direction (dans le cas d'un risque de niveau 3).

En complément du renseignement des colonnes, des commentaires peuvent être insérés dans les cellules, notamment pour apporter des précisions lors de l'évaluation des risques d'accidents.

Calcul du niveau de sécurité de la machine

Les 15 colonnes situées à droite (remplies automatiquement), recensent les fréquences d'accident par an pour toute la gamme de machine, uniquement pour les accidents engendrés par des comportements autorisés dans les conditions d'utilisation de la machine. (Colonne « Comportement autorisé dans le manuel de conduite et d'entretien ou le manuel technique » à « oui ».).

Les fréquences recensées sont celles du projet en cours. Elles sont ensuite sommées pour calculer le niveau de sécurité de la machine (matrice des risques). La somme est effectuée pour chaque nature d'accident (Humain, Matériel ou Environnement) et chaque gravité d'accident (1-5).

La Somme des fréquences est ensuite convertie sur une échelle de 1 à 5 présente dans l'onglet « Fréquence ». Des croix apparaissent alors automatiquement dans les matrices de risque situées juste en dessous pour illustrer le niveau de risque de la machine complète.

Les zones verte, orange et rouge ont été définies par la direction et sont disponibles dans l'onglet « Matrice des risques ».

Remarque : La somme des fréquences a été retenue comme critère pour l'évaluation du niveau de sécurité de la machine afin de ne pas pouvoir diminuer les risques en augmentant la précision de la description du risque. Par exemple, dans le cas d'un risque de chute, imaginons que l'on puisse tomber soit du réservoir, soit du contrepoids, et que la fréquence potentielle d'accident est de 1 fois par an pour toute la gamme de machine, pour chacun de ces accidents. Si l'on prend le risque « chute » sans préciser l'endroit d'où peut tomber l'opérateur, on a un risque avec une fréquence de 2 accidents par an. Si l'on précise maintenant cet endroit, on se retrouve avec deux risques de fréquence de 1 fois par an, ce qui constitue un risque deux fois moins important puisque sa fréquence est deux fois moins élevée. Effectuer la somme des fréquences pour les accidents de nature comparable nous permet donc de résoudre ce biais.

La « Punchlist»

La Punchlist est la liste des risques du nouveau projet dont la fréquence n'est pas nulle, et qui n'ont pas, ou pas encore été acceptés par le chef de projet et/ou la direction (pour les risques de niveau 3).

Onglet «Gravité»

Contient les échelles permettant de noter de 1 à 5 la gravité maximale des accidents potentiels, suivant que la conséquence de cet accident soit de nature humaine, matérielle ou environnementale. Des exemples concrets figurent également en face de chaque critère de notation.

Ces échelles ont été établies à Colmar avec les responsables des services :

- Hygiène, sécurité, Environnement
- Bureau des Etudes
- Homologation, règlementation

Cette échelle, tout comme celle permettant l'évaluation des fréquences, doit être à la disposition des participants lors des évaluations des risques.

Onglet «Fréquence»

Seuls les deux tableaux ci-dessous sont nécessaires pour évaluer les risques d'accident.

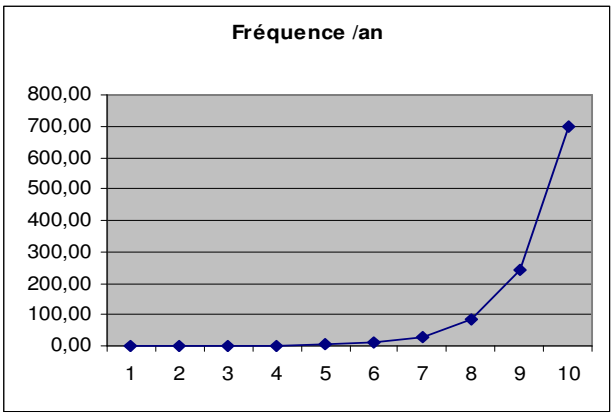
Fréquence d'exposition par machine**		
E	Description	/an
1	Moins d'une fois tout les 10 ans (peut ne pas arriver dans la vie d'une pelle)	0,05
2	Une fois dans tout les 10 ans, une fois dans la vie de la machine	0,14
3	Une fois tous les deux ans	0,42
4	Une fois par an	1,2
5	Une fois par trimèstre	3,5
6	Une fois par mois	10
7	Moins d'une fois par semaine	29
8	Plus d'une fois par semaine	83
9	Une fois par jour	242
10	Plusieurs fois par jour	700

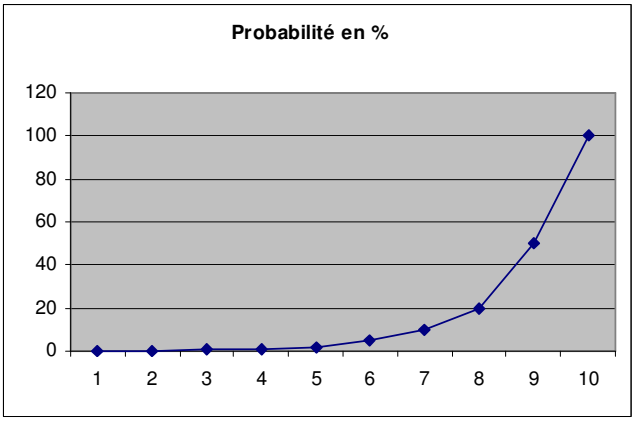
En vert, les échelles les plus parlantes pour l'évaluation des risques

Probabilité du risque en situation de danger			
P	Description	% chance	Ratio
1	Probabilité quasi nulle	0,05	<1/2000
2	Très rare	0,1	1/1000
3	Rare	0,5	1/200
4	Faible probabilité	1	1/100
5		2	1/50
6	Probable	5	1/20
7		10	1/10
8	Très probable	20	1/5
9		50	1/2
10	Quasi sure	100	1

Nous tenons compte dans ce critère de la possibilité d'éviter le danger de la part de l'utilisateur.

Les échelles pour les fréquences ont été établies de manière exponentielle afin de faciliter l'évaluation des risques par les experts :





La formule utilisée pour la construction de ces échelles est la suivante :

N : notation de 1 à 10

X= Xmin x p^(N-1) avec p= (Xmax/Xmin)^(1/9)*Xmin

Par exemple, pour N=2 : (700/0,05)^(1/9)*0,05=2,88 et 0,05*2,88=0,14443…

Et 0,14 fois par an équivaut à une fois tous les 10 ans, à savoir 1 fois dans la vie d'une machine.

Onglet «Matrice de risque»

Ces matrices sont présentes à titre informatif, elles permettent de définir 3 niveaux de risques pour la machine :

- Vert pour un niveau de risque acceptable.
- Orange pour un niveau de risque qui nécessite des discussions/réductions de risques avant de pouvoir être accepté.
- Rouge pour un niveau de risque inacceptable. Pour ce niveau de risque, seule la direction peut accepter de tolérer la situation.

3.2 Méthodologie recommandée en réunion

Méthodologie générale

Balayer les thèmes dégagés lors de la préparation de la réunion et pour chaque risque évoqué, remplir directement toutes les colonnes correspondantes, de la description du risque à l'Etat de l'Art en passant par l'évaluation du risque.

Evaluation du risque

On remplit d'abord la colonne correspondant aux machines existantes (Exp.) et on remplit par défaut la colonne correspondant au projet de développement (Proj.) avec la même valeur. On regarde ensuite si la conception du nouveau projet fait que l'on doit modifier ces estimations de fréquence et/ou de gravité.

Exemple illustré :

	Fréquence d'exposition (1-10) (E)		Probabilité (1-10) (P)		Nombre de machines par gamme	Fréquence d'accidents par an sur toute la gamme		Gravité maximum (1-5) (G)		Niveau 3 de risque ?		Elimination possible du risque par la conception ?
Calcul Fréquence	Exp	Proj.	Exp	Proj.	R934-R944	Exp	Proj.	Exp	Proj.	Exp	Proj.	oui/non
non					2000	40	0	3	3			oui
oui	2	2	3	2	2000	1,4	0,28	3	3			non

L'extrait de tableau ci-dessus nous montre l'évaluation de 2 accidents potentiels portant sur un projet de développement dont on a estimé le nombre de machines de ce type allant être produites, à 2000.

Pour le premier accident potentiel, le groupe de travail a pu donner une fréquence d'accident par an sur toute la gamme (40). Par conséquent, la colonne « Calcul fréquence » a été cochée à « non » et les colonnes « exposition au risque » et « probabilité d'occurrence » n'ont pas été renseignées. La gravité du risque a été estimée à 3, ce qui fait que le niveau de risque pour le projet actuel est dans la zone rouge pour ce seul accident potentiel. Le coloriage de la zone rouge a été obtenu en cliquant sur le bouton « mise à jour des données » et dépend des zones définies dans l'onglet « Matrices de risque ». On remarque également que grâce aux mesures prises lors de la conception, l'accident ne pourra plus arriver avec le nouveau projet, c'est pourquoi la fréquence (Proj) a été mise à 0. Cette nouvelle conception doit se retrouver dans la colonne « justification » de l'accident potentiel concerné.

Pour le second accident potentiel, le groupe de travail n'a pas pu donner une fréquence d'accident par an sur toute la gamme. Par conséquent, la colonne « Calcul fréquence » a été cochée à « oui » et les colonnes « exposition au risque » et « probabilité d'occurrence » ont été renseignées. En cliquant sur le bouton « Mise à jour des données », une fréquence d'accident par an sur toute la gamme a été calculée pour les machines actuelles (1,4) et pour le projet de développement (0,28).

1.4 Réduction des risques

Une fois les différentes réunions d'évaluation des risques terminées, une réunion de relecture est nécessaire.

Préparation de la réunion

Le nombre de personne à inviter à cette réunion doit être très restreint (3-4 personnes) pour des raisons de confidentialité. Le chef de projet doit obligatoirement y participer. Le support de travail pour cette réunion est la Punchlist Initiale qui aura été générée et sauvegardée avant la réunion.

Réunion de réduction des risques

La réunion consiste à balayer les risques de la Punchlist initiale et à définir, si nécessaire, un plan d'action et ses différents responsables. Les délais seront ensuite définis avec ces personnes suite à la réunion.

Suivi du plan d'action

Il appartient ensuite au responsable gestion des risques de suivre la réalisation du plan d'action. Pour chaque tâche achevée, une réévaluation du risque lié à (aux) l'accident(s) potentiels correspondants doit être effectuée dans l'onglet « Evaluation des risques ». La description succincte de ces modifications doit figurer dans la colonne « suivi » de la Punchlist initiale, ceci afin de pouvoir retrouver quelle action est à la source de quelle modification de l'évaluation des risques.

ANNEXE C : LISTE DES CRITERES D'EVALUATION DE LA PERFORMANCE D'UNE PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLE.

Paramètres possibles[39]			Quantitatif/ Qualitatif	Moyen de mesure
Economique		Prix d'achat	Quantitatif	
		Valeur de revente	Quantitatif	
		Réseau de distribution et SAV	Qualitatif	
		Coûts d'exploitation et d'entretien	Quantitatif	Retours clients
		Consommation	Quantitatif	Essais pelle
		Solutions spécifiques au client	Qualitatif	
Technique	Puissance Moteur		Quantitatif	Donnée fournisseur
	Forces d'excavation	Force de pénétration (bras)	Quantitatif	Calculé par BE
		Force de Cavage (godet)	Quantitatif	Calculé par BE
		Forces de levage	Quantitatif	Calculé par BE
	Vitesse de travail	Temps de cycle à 90°	Quantitatif	Calculé par BE
		Vitesse de rotation	Quantitatif	
		Couple de rotation	Quantitatif	
		Vitesse de translation	Quantitatif	Calculé par BE
		Capacité du godet	Quantitatif	Calculé par BE
	Cinématique équipement	Hauteur maximale d'excavation	Quantitatif	Calculé par BE
		Hauteur maximale de déversement	Quantitatif	Calculé par BE
		Profondeur maximale d'extraction	Quantitatif	Calculé par BE
		Profondeur d'extraction en paroi verticale (-)	Quantitatif	Calculé par BE

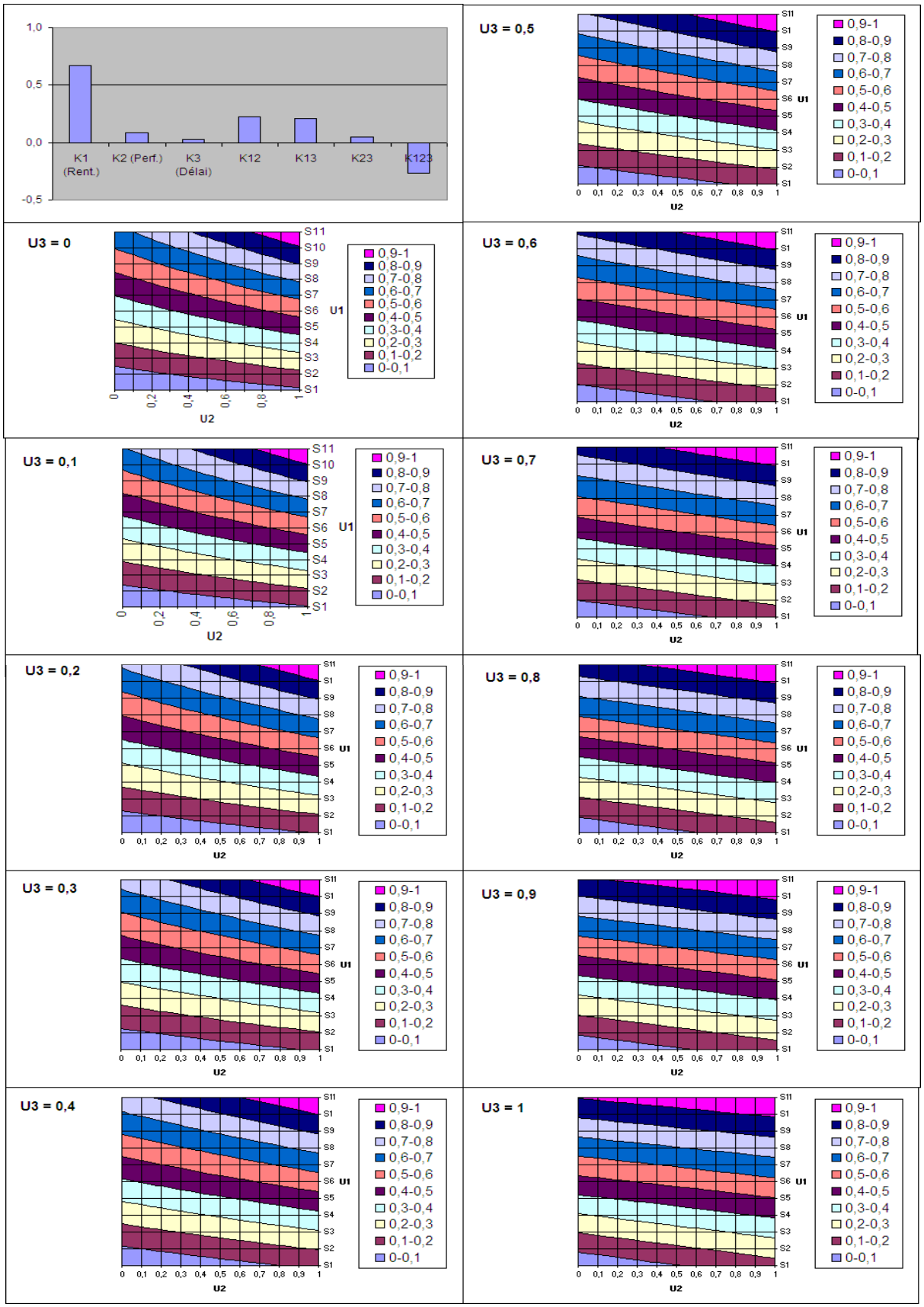
[39] Ces paramètres sont issus d'une proposition effectuée dans le cadre de cette thèse, et ne constituent pas un standard LIEBHERR-France

		Portée maximale d'excavation	Quantitatif	Calculé par BE
		Portée maximale d'excavation au niveau du sol (-)	Quantitatif	Calculé par BE
		Rayon de rotation minimum	Quantitatif	Calculé par BE
	Compacts	Rayon de giration avant	Quantitatif	Calculé par BE
		Rayon de giration arrière	Quantitatif	Calculé par BE
	EES	Intelligence machine	Qualitatif	Description des ajouts de la partie EES
Transport	Poids		Quantitatif	Calculé par BE
	Dimensions		Quantitatif	Calculé par BE
Qualité	Aspect	Finition	Qualitatif	Affectif
		Design	Qualitatif	Affectif
	Maintenance	Fiabilité de la machine	Qualitatif	
		Accessibilité à la maintenance	Qualitatif	
	Sécurité	Sécurité d'utilisation	Qualitatif	Analyses de risques sécurité
Cabine	Visibilité		Qualitatif	
	Confort	Ergonomie	Qualitatif	Respect des normes, comparaison concurrence, Interview conducteur
		Calme	Qualitatif	Bruit de la porte, isolation par rapport aux bruits extérieurs, absence de bruit désagréables.
		Espace	Quantitatif	Calculé par BE
Environ-nement	Taux de recyclabilité		Quantitatif	Existant

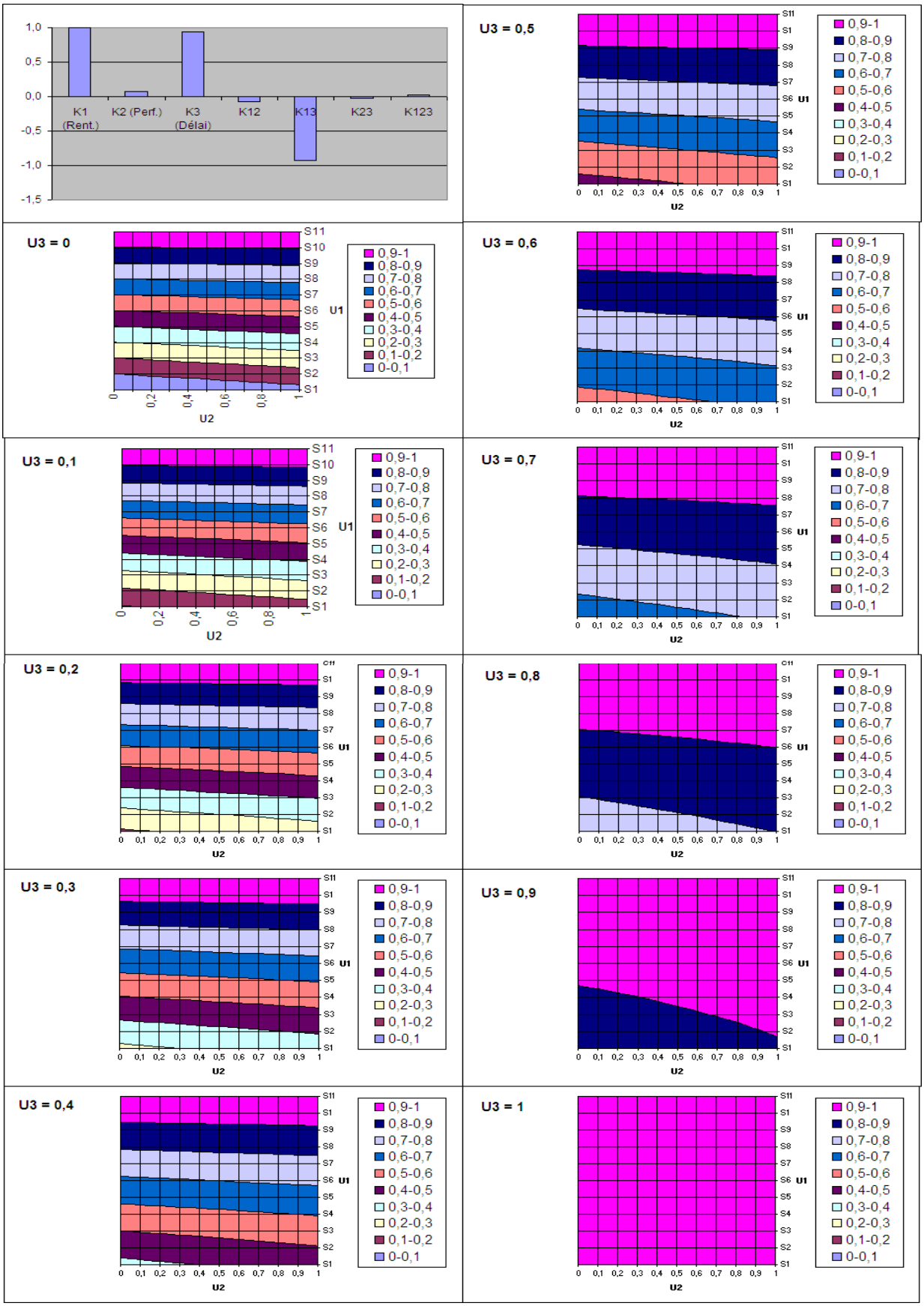
ANNEXE D : LISTE DETAILLEE DES ELICITATIONS REALISEES

N°	Date	Nbre Pe	Personnes interviewées	Lieu	Type d'interview	Support	Projet(s)	Durée	Durée totale
1	26/11/2008	1	Céline TEA (GRID)	GRID	Trade-off - Design	Fichier Excel Trade-offs	Test	0:15	0:15
2	26/11/2008	1	Céline TEA (GRID)	GRID	CE avec Proba cste - Design	ASSESS	Test	0:20	0:20
3	27/11/2008	1	Roxanne Duret (ESTP)	GRID	Trade-off - Délai de sortie	Fichier Excel	Test	0:20	0:20
4	20/01/2009	1	M. Kientzy (Ventes France)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (13) Performances LE pour UP - Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		3:15	3:15
5	29/01/2009	1	M. Nussbaumer (Ventes France)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (14) Performances LE pour UP - Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		2:15	2:15
6	09/02/2009	1	M. Hoerner (Ventes France)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (14) Performances LE pour UP - Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		2:30	2:30
7	06/03/2009	3	M. Hoerner (Ventes France) M. Nussbaumer (Ventes France) M. Kientzy (Ventes France)	LFR	Synthèse des résultats constes échelle - K1 détermination de compromis	Graphiques de synthèse		1:30	4:30
8	16/03/2009	2	M. Jenny (Démonstration) M. Taglang (Démonstration)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (11) Performances LE pour UP	Fichier Excel Performances		2:30	5:00
9	23/03/2009	2	M. Albrecht (Démonstration) M. Carreira (Démonstration)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (10) Performances LE pour UP	Fichier Excel Performances		2:15	4:30
10	02/04/2009	1	M. Rohmer (Ventes France)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (12) Performances LE pour UP - Cstes Echelle	Fichier Excel Performances		2:15	2:15
11	17/04/2009	1	M. Kientzy (Ventes France)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (13) Performances Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		0:40	0:40
12	21/04/2009	1	Vendeur 1 (TECMAT France)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (12) Performances Cstes Echelle	Fichier Excel Performances		0:25	0:25
13	21/04/2009	1	M. Donne (Ventes France agence Paris)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (12) Performances Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		0:30	0:30
14	21/04/2009	1	Chauffeur 1 (Macon)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (12) Performances Cstes Echelle	Fichier Excel Performances		0:30	0:30
15	21/04/2009	1	M. Papret (concessionnaire Tilmat)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (10) Performances Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		0:20	0:20
16	21/04/2009	1	Vendeur 2 (concessionnaire Tilmat)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (13) Performances Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		0:20	0:20
17	21/04/2009	2	M. Leroux (concessionnaire LeMans) Vendeur 3 (concessionnaire LeMans)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (13) Performances Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		0:25	0:50
18	21/04/2009	1	Vendeur 4 (concessionnaire Tilmat)	Intermat	Fonction multi. Multiplicative (11) Performances Cstes Echelle	Fichier Excel Performances		0:15	0:15
19	23/04/2009	1	M. Zimmermann (Contrôle de gestion)	LFR	LE - Rentabilité du projet	Fichier Excel Projet		0:15	0:15
20	23/04/2009	1	M. Zimmermann (Contrôle de gestion)	LFR	Trade-off - Rentabilité du projet	Fichier Excel Trade-offs		0:30	0:30
21	30/04/2009	1	M. Nussbaumer (Ventes France)	LFR	Fonction multi. Multiplicative (13) Performances Cstes Echelle - K1	Fichier Excel Performances		0:30	0:30
22	30/04/2009	2	Schmitt (Gestion de projets) Ariaux (Gestion de projets)	LFR	LE - Délai de sortie du projet	Fichier Excel Trade-offs		1:00	2:00
23	07/05/2009	2	M. Albrecht (Démonstration) M. Taglang (Démonstration)	LFR	Synthèse des résultats UP détermination de compromis	Fichier Excel Performances		1:00	2:00
24	07/05/2009	3	M. Rohmer (Ventes France) M. Nussbaumer (Ventes France) M. Kientzy (Ventes France)	LFR	Synthèse des résultats Cste échelles détermination de compromis	Graphiques de synthèse		0:40	2:00
25	07/05/2009	2	Schmitt (Gestion de projets) Ariaux (Gestion de projets)	LFR	Fonction multi. Multilinéaire (3)	Fichier Excel Projet		0:30	1:00
26	05/06/2009	1	M. Bohrer (Direction Ventes)	LFR	Fonction multi. Multilinéaire (3)	Fichier Excel Projet		0:45	0:45
27	05/06/2009	1	Dr Burget (Président)	LFR	Présentation des résultats - Orientations	Fichier Excel Projet		1:00	1:00
28	10/06/2009	1	Pascal Kientzy (Ventes France)	LFR	K1 de 2 manière différentes	Fichier Excel Performances		0:20	0:20
29	24/06/2009	1	Dr Burget (Président)	LFR	Fonction multi. Multilinéaire (3)	Fichier Excel Projet		0:40	0:40
30	07/05/2009	2	Schmitt (Gestion de projets) Ariaux (Gestion de projets)	LFR	Fonction multi. Multilinéaire (3)	Fichier Excel Projet		1:00	2:00

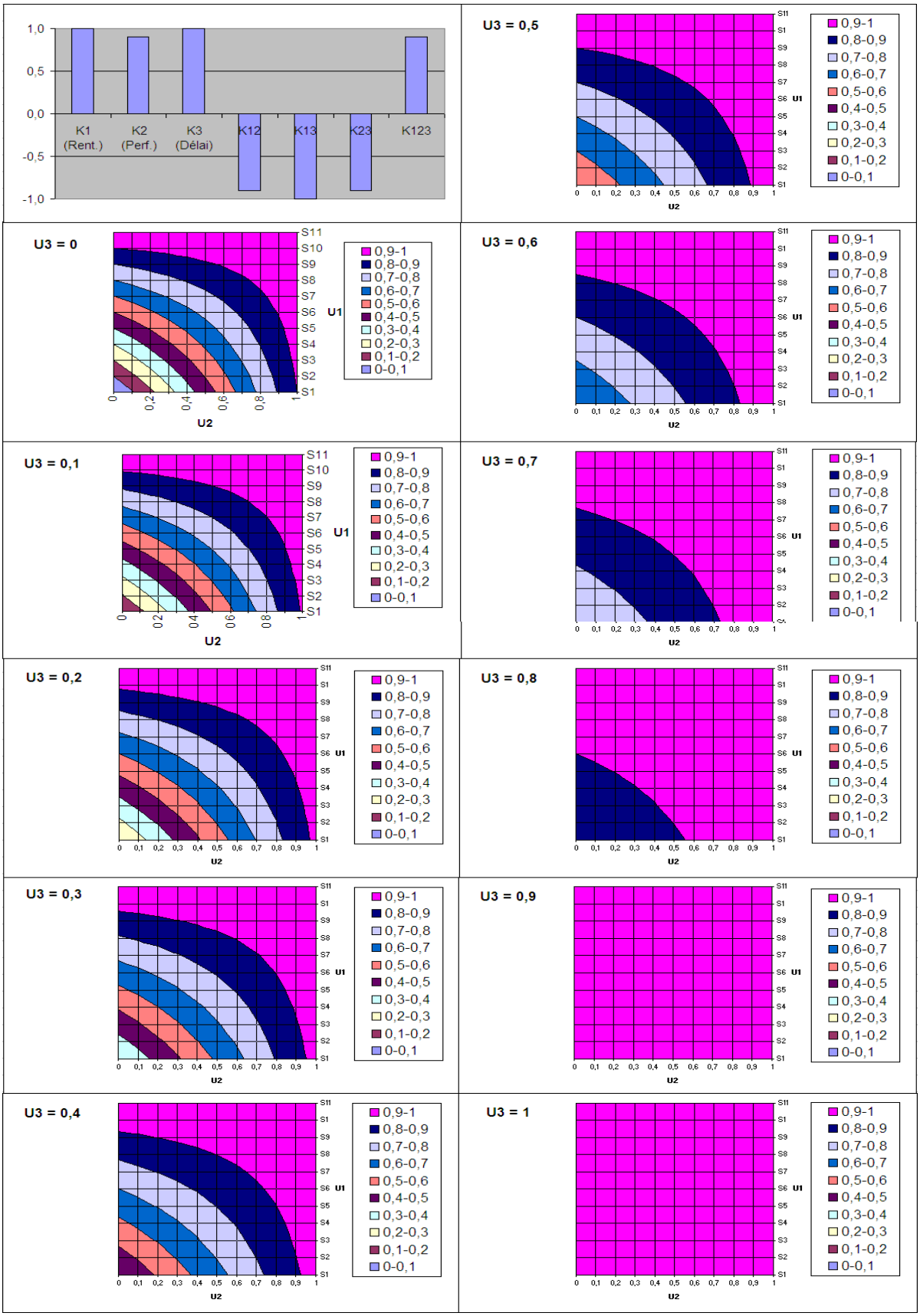
ANNEXE E : REPRESENTATION PAR TRANCHE DE LA FONCTION D'UTILITE MULTI-ATTRIBUTS MULTILINEAIRE GLOBALE : MM. A. ET S.



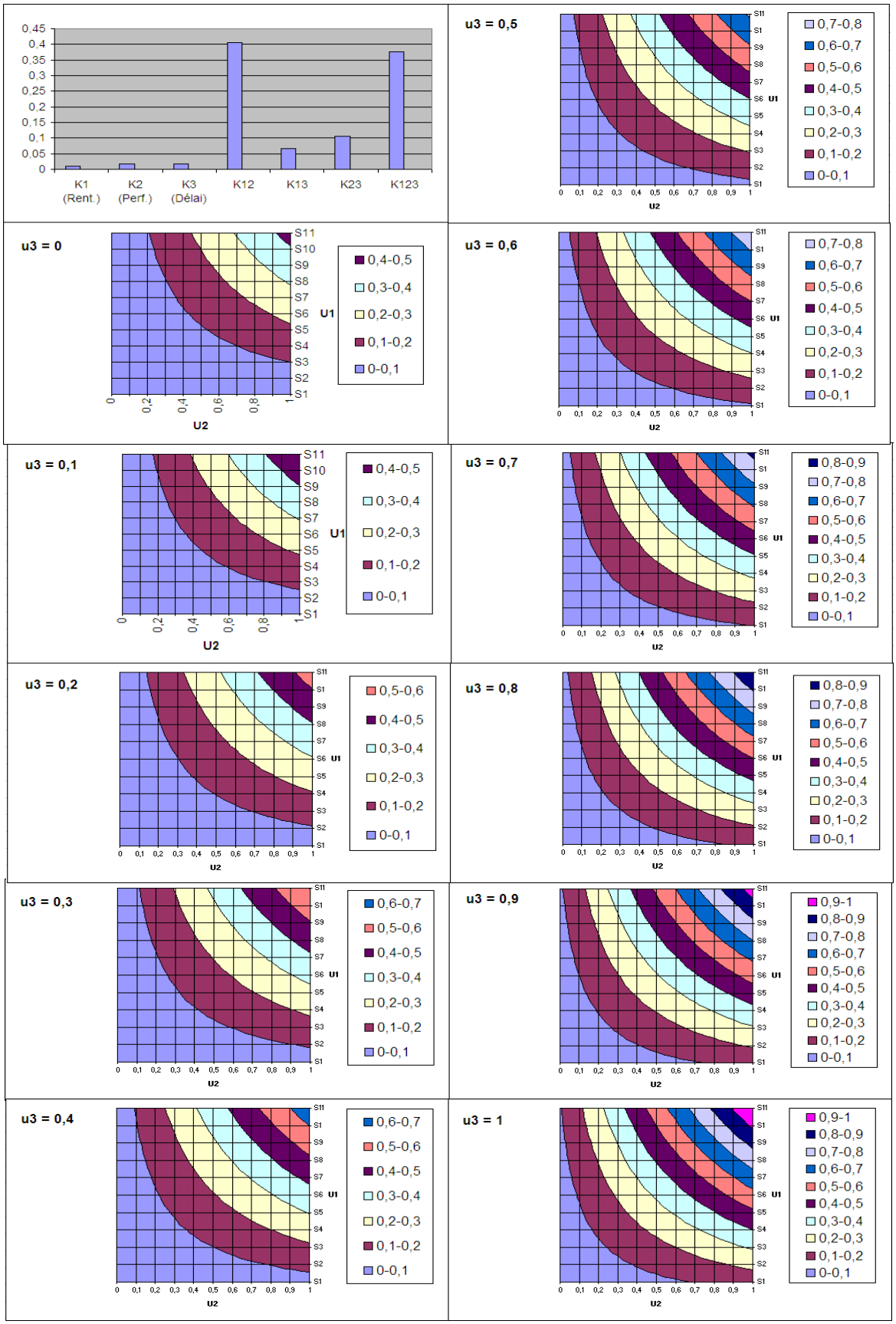
ANNEXE F : REPRESENTATION PAR TRANCHE DE LA FONCTION D'UTILITE MULTI-ATTRIBUTS MULTILINEAIRE GLOBALE : M. B.



ANNEXE G : REPRESENTATION PAR TRANCHE DE LA FONCTION D'UTILITE MULTI-ATTRIBUTS MULTILINEAIRE GLOBALE : DR. B.



ANNEXE H : REPRESENTATION PAR TRANCHE DE LA FONCTION D'UTILITE MULTI-ATTRIBUTS MULTILINEAIRE GLOBALE : MM. A. ET S.



ANNEXE I : ALGORITHME POUR L'ELICITATION DES CONSTANTES D'ECHELLE MULTILINEAIRES DANS LE CAS N=3

6 équivalences pour déterminer les coefficients d'une fonction d'utilité multilinéaire à 3 attributs

Sébastien Picand

	1er Choix		2nd Choix		Equivalence*	Equation générée	Matrice d'équation M						
							k1	k2	k3	k12	k13	k23	k123
1	l-- vs -l-	A	l-- vs ll-	C	l-- = lla	k1=k1+k2+ak3+k12+ak13+ak23+ak123	0	1	a	1	a	a	a
	A B		C D	D	l-- = al-	k1=ak1+k2+aK12	a-1	1	0	a	0	0	0
		B			l-- = -a-	k1=ak2	-1	a	0	0	0	0	0
2	-l- vs --l	A	-l- vs -ll	C	-l- = bll	k2=bk1+k2+k3+bk12+bk13+k23+bk123	b	0	1	b	b	1	b
	A B		C D	D	-l- = -bl	k2=bk2+k3+bK23	0	b-1	1	0	0	b	0
		B			-l- = --b	k2=bk3	0	-1	b	0	0	0	0
3	--l vs l--	A	--l vs l-l	C	--l = lcl	k3=k1+ck2+k3+ck12+k13+ck23+ck123	1	c	0	c	1	c	c
	A B		C D	D	--l = l-c	k3=k1+ck3+cK13	1	0	c-1	0	c	0	0
		B			--l = c--	k3=ck1	c	0	-1	0	0	0	0
4	ll- vs l-l	A			ll- = ldl	k1+k2+k12=k1+dk2+k3+dk12+k13+dk23+dk123	0	d-1	1	d-1	1	d	d
	A B		ll- vs l--	C	ll- = l-d	k1+k2+k12=k1+dk3+dk13	0	-1	d	-1	d	0	0
			C D	D	ll- = d--	k1+k2+k12=dk1	d-1	-1	0	-1	0	0	0
5	-ll vs ll-	A			-ll = lle	k2+k3+k23=k1+k2+ek3+k12+ek13+ek23+ek123	1	0	e-1	1	e	e-1	e
	A B		-ll vs -l-	C	-ll = el-	k2+k3+k23=ek1+k2+ek12	e	0	-1	e	0	-1	0
			C D	D	-ll = -e-	k2+k3+k23=ek2	0	e-1	-1	0	0	-1	0
6	l-l vs -ll	A			l-l = fll	k1+k3+k13=fk1+k2+k3+fk12+fk13+k23+fk123	f-1	1	0	f	f-1	1	f
	A B		l-l vs --l	C	l-l = -fl	k1+k3+k13=fk2+k3+fk23	-1	f	0	0	-1	f	0
			C D	D	l-l = --f	k1+k3+k13=fk3	-1	0	f-1	0	-1	0	0
7	Equation contrainte					k1+k2+k3+k12+k13+k23+k123=1	1	1	1	1	1	1	1

M X K1 K2 ... K123 = 0 0 : 0 1

Précisions

Avantages: aucune relation entre les coefficients n'a besoin d'être connue; aucune loterie n'est utilisée (mal accueillie en général auprès des experts).

* ll- = la- signifie : (x1*;x2*;x3°)~(x1*;x2a;x3°)

Ces choix peuvent être respectivement repris des situations 1, 2 et 3,

Pour chaque série (123 et 456), les choix A ou B ne peuvent pas être effectués 3 fois de suite. Par exemple, 1A et 2A impliquent 3B, ou encore 4B et 5B impliquent 6A.

PRISE EN CHARGE DES RISQUES DES PROJETS DE DEVELOPPEMENT A CARACTERE INNOVANT

PROPOSITION D'UN OUTIL DE MISE EN ŒUVRE DANS L'INDUSTRIE MECANIQUE

Résumé : Les méthodologies existantes de gestion des risques et des opportunités des projets de développement présentent des faiblesses. Celles-ci trouvent principalement leur source dans la phase dite d'évaluation. En effet, les aspects de globalité, de rationalité et d'anticipation n'y sont, à l'heure actuelle, pas assez présents. Nous proposons donc, dans le cadre de cette thèse-action en entreprise, un outil fondé sur la théorie de l'utilité espérée, permettant de rendre plus pertinente et plus lisible, l'aide à la décision réalisée lors des projets de développement à caractère innovant. Nous avons ainsi appliqué cet outil à 2 projets de développement dans une entreprise concevant et produisant des pelles hydrauliques sur chenilles. Les résultats de cette mise en œuvre tendent à valider l'opérationalité d'un tel outil en entreprise. Ils ouvrent par ailleurs de nombreuses discussions et perspectives, notamment l'application de ce genre d'outil dans le domaine du marketing industriel.

INNOVATIVE PROJECT RISKS MANAGEMENT

TOOL PROPOSAL FOR IMPLEMENTATION IN THE ENGINEERING INDUSTRY

Abstract: Existing methodologies for project risks management show weaknesses, which are mainly rooted in the assessment phase. Indeed, we have highlighted a lack of globality, rationality and anticipation in the current state of the Art in this field. We thus propose, through this applied thesis, a tool based on the expected utility theory, which allows a better and more understandable help for the decision makers during the different phases of an innovative project. We then applied this tool to 2 development projects, in a firm that designs and produces crawler excavators. The results of this application tend to confirm the feasibility of using such a tool in the engineering industry. They also open many discussions and perspectives, including the possibility of using this tool in a B to B marketing context.

IAE PARIS PANTHÉON-SORBONNE

ARTS ET MÉTIERS ParisTech

HEC PARIS