

UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Faculté de Génie
Département de génie civil

ANALYSE DE SENSIBILITÉ CATÉGORIELLE :
NOUVELLE APPROCHE DE CONSENSUS CONSTRUIT DANS UN CONTEXTE
DE CARENCE DE DONNÉES ET DE DIVERGENCE D'OPINION EN MATIÈRE
ENVIRONNEMENTALE.

Thèse de doctorat ès sciences appliquées
Spécialité : génie civil

Thierry CONRAUD

Sherbrooke (Québec), Canada

Avril 2002

Résumé

La prise de décision dans un contexte de carence de données et de divergence d'opinion en matière environnementale, comme cela peut être le cas de pays en développement tel le Mexique, est un processus difficile et complexe. La technique DELPHI, une méthodologie d'analyse multicritère basée sur des entrevues itératives d'un panel d'expert, a été couramment utilisée pour la recherche de consensus dans des situations complexes, et plus particulièrement dans le domaine de l'environnement. Dans cette étude, il est montré que les paramètres communément utilisés - principalement la médiane - comme mesures de tendance centrale par cette méthode et destinés à informer les experts des résultats des missions de consultation antérieures, sont mal adaptés à la caractérisation de la satisfaction des experts et tronquent de l'information importante incluse dans le bruit dû à la dispersion des données.

L'objectif de ce travail est de développer une méthodologie d'analyse de sensibilité catégorielle qui permette de construire un consensus dans ce type de contexte. Cette analyse de sensibilité repose sur le développement d'un filtre de paramètres statistiques destiné à la caractérisation des Satisfactions Clairement Exprimées (SCE) des experts. La détermination de ces SCE et de leurs Ecart Type Catégoriels (ETC) respectifs, ainsi que de deux indicateurs de convergence d'opinion (ICO) et de précision des données (IPE) constituent les éléments répondant à l'objectif fixé.

L'exemple choisi pour valider cette méthode est celui de la charge en sel des effluents des tanneries de la ville de León, au Mexique, problème qui a été abordé en tentant d'intégrer les principes généraux inscrits dans le concept de développement durable.

L'analyse des principaux résultats ont permis de montrer que, dans la problématique traitée ici, la médiane n'était fiable que dans 23% des cas, ce qui confirme d'une certaine manière l'hypothèse originale. Par ailleurs, la détermination des types de satisfaction ouvre de nouvelles possibilités d'interprétation, plus susceptibles de comprendre les tenants et aboutissants de la problématique traitée et d'en tirer les conséquences au moment de l'élaboration de nouveaux scénarios-solutions. De cette façon, les inévitables études technico-économiques postérieures qui permettent de quantifier les impacts, ce que peuvent rarement faire les méthodes d'analyse multicritère basées sur les entrevues d'un panel d'expert incluant la société civile, sont ainsi ciblées et réduites à leur strict minimum. Le temps dédié aux projets peut ainsi s'en trouver réduit de façon significative, ce qui engendre des coûts moindres. Enfin, cette post-optimisation réalise un pas en avant vers le consensus construit, plutôt que le compromis obtenu par les méthodes traditionnelles.

En conclusion, la méthodologie présentée ne prétend pas remettre en question les post-optimisations des techniques type Delphi, mais attire l'attention du lecteur sur certains dangers à vouloir interpréter, sous la seule lentille mathématique, des résultats issus d'un groupe d'expert. La méthodologie d'analyse de sensibilité catégorielle basée sur la satisfaction des experts peut avantageusement compléter et renforcer les techniques traditionnelles.

Abstract

Making a decision in a context of lack of data and divergence of opinion, as it could be the case in a developing country such as Mexico, is a difficult and complex process. The DELPHI technique, a multicriterion analysis method based on repeated interviews of a panel of experts, has been frequently used to look for consensus in complex situations, and more especially in the environment field. In this study, it is shown that within this method, commonly used parameters as a central trend measure and aimed to inform experts of the results from previous consultations missions, are not well adapted to the characteristic of the experts' satisfaction and omit part of the relevant information enclosed in the noise due to data dispersion.

The purpose of this work is to carry out a methodology of a category-based sensitivity analysis to be able to construct a consensus in this type of context. This sensibility analysis is based on the development of a filter of statistics parameters directed towards the characterization of the Clearly Expressed Satisfactions (CES) of experts. The determination of these CES and their respective Category-based Typical Deviation (CTD), as well as two indicators of convergence of opinion (ICO) and data accuracy (IPE) forms the elements responding to the fixed purpose.

The selected example to validate this method is the one of the salt load in the effluvium of the tanneries of the city of Leon, in Mexico, problem that has been approached trying to integrate the general principles registered in the concept of sustainable development.

The principal results of the analysis realized enable to show that, in this particular study, the median was reliable only in 23% of the cases, which confirm in a certain way the original hypothesis. Moreover, the determination of these types of satisfaction open new possibilities of interpretation, more susceptible to understand the characteristics of the problem treated and deduct consequences to elaborate new scenarios-solutions. The inevitable following technical and economical studies destined to quantify impacts, what expert panel based multicriterion analysis that integrated civil society are not able to provide, are therefore reduced to their strict minimum. The time dedicated to these projects can therefore be reduced in a significant way, which would give rise to lower cost. Finally this post-optimization makes a step forward toward a built consensus, instead of a commitment obtained through traditional methods.

As a conclusion, the introduced methodology does not pretend to question the post-optimization techniques such as DELPHY, but draws the attention to the reader to the risk to try to interpret, through a mathematical lens only, results based on a group of experts. The methodology of category-based sensibility analysis that rely on the satisfaction of experts can positively complete and reinforce the traditional techniques.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon Directeur de thèse, Monsieur Alexandre Cabral, pour m'avoir accepté comme étudiant au doctorat au sein de son équipe, et pour m'avoir dirigé et constamment soutenu tout au long de ces trois années. Mes remerciements vont également à Monsieur Robert Hausler, pour ses incessants conseils et son soutien permanent.

Je remercie également Monsieur Guy Claveau, Co-directeur de Nacia, ainsi que Ressources Humaines et Développement Canada et le Ministère de Relations Internationales du Québec, qui m'ont soutenu financièrement.

Ma profonde reconnaissance à Paula Urrea, Marjorie Harvey, François Cloutier, Marylène Cormier, Carl Graham et Sacha Villeneuve : rien de ce qui est écrit ici n'aurait été possible sans leurs conseils et leur aide. Qu'ils trouvent ici le témoignage de mes remerciements et de mon amitié.

Enfin, ce travail est dédié à ma famille : mes parents, ma sœur et bien sur Jülide et mes filles Nilay et Fanny.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	10
1- CONTEXTE DE LA PROBLÉMATIQUE	13
1.1- Introduction	13
1.2.- Gestion des déchets industriels au Mexique.....	13
1.3 Cas particulier de l'Etat de Guanajuato	16
1.3.1 Situation des résidus	16
1.3.2 Enjeux.....	17
1.4 Cas des tanneries de la ville de León	18
1.5- Contexte socio-économique différent des pays développés	20
1.6-Cadre réglementaire	21
1.6.1- Contexte international.....	22
1.6.2- Réglementation mexicaine	22
1.7- Difficultés d'application des lois	24
2.- ETAT DES CONNAISSANCES	28
2.1- L'analyse multicritère.....	28
2.1.1- Antécédents historiques	28
2.1.2- La décision multicritère dans les modèles descriptifs de la décision humaine	30
2.1.3- Méthodologies de l'analyse multicritère.....	32
2.1.4- Ensemble d'élection	34
2.1.5- Attributs et critères	35
2.1.6- Fonctions de transformation et fonctions d'utilité.....	35
2.1.7- Matrice de décision.....	37
2.2- Analyse de la valeur et analyse fonctionnelle.....	37
2.3- Analyse de la satisfaction	38
2.4- La méthode DELPHI	39
2.4.1- Définitions et antécédents.....	39
2.4.2- Méthodologie de la technique Delphi.....	40
2.4.3- Détermination des critères et alternatives	43
2.4.4- Détermination des pondérations	45
2.4.5- Choix et taille du groupe d'expert	46
2.4.6- Critique de la technique Delphi	47
2.5- Cas particulier : le développement durable	49
2.6- Analyses de la sensibilité.....	52

3.- MÉTHODOLOGIE	57
3.1- Introduction	57
3.2- Techniques de consensus.....	57
3.2.1- Panel de consultation d'experts	58
3.2.2- Technique DELPHI	59
3.2.3- Sélection de la technique	60
3.3- Application de la méthodologie DELPHI.....	61
3.3.1- Introduction	61
3.3.2- Sélection des experts	62
3.3.3- Description du conflit d'intérêt entre catégories d'expert	65
3.3.4- Fonction de transformation et fonction d'utilité	67
3.3.5- Pondérations	69
3.3.6- Procédure de sondage	70
3.4- Elaboration du dossier d'évaluation.....	70
3.4.1- Détermination des critères	71
3.4.2- Détermination des scénarios	77
3.4.3- Matrice d'évaluation.....	87
3.4.4- Autres informations	88
4- ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ.....	90
4.1- Modifications apportées à la technique DELPHI conventionnelle	90
4.2- Définitions de termes.....	92
4.3- Outils statistiques et de probabilités	92
4.4- Outils de mesure d'une Satisfaction Clairement Exprimée (SCE)	95
4.4.1- Outils de discrimination horizontale.....	95
4.4.2- Outils de discrimination verticale.....	99
4.4.3- Outils statistiques complémentaires	100
4.5- Types de satisfaction	105
4.5.1- Satisfaction unimodale (SU).....	105
4.5.2- Satisfaction plurimodale (SP).....	107
4.5.3- Satisfaction d'intervalle (SI).....	108
4.5.4- Détermination de l'écart type catégoriel.....	108
4.5.5- Cas particulier des modes multiples	110
4.6- Hiérarchisation des outils	111
4.7- Filtre de détermination du type de satisfaction	114
5.- RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	115
5.1- Introduction	115
5.2- Résultats de l'analyse de la satisfaction.....	116
5.2.1- Analyse des données brutes pour les critères issus de l'analyse fonctionnelle.....	116
5.2.2- Analyse des pondérations	117

5.2.3- Comparaison des scénarios.....	119
5.2.4- Critères issus du concept de développement durable	122
5.2.5- Commentaires sur les résultats obtenus	128
5.3- Analyse de la sensibilité catégorielle.....	129
5.3.1- Traitement des données	130
5.3.2- Résultats de l'application du filtre de paramètres.....	134
5.3.3- Représentations graphiques	138
5.3.4- Indicateur de convergence et précision des résultats	140
5.4- Analyse de sensibilité sur la valeur des seuils	143
5.4.1- Sensibilité du paramètre $P_{<2}$	144
5.4.2- Sensibilité du paramètre $R_{1/2}$	145
5.4.3- Sensibilité du paramètre $R_{1/3}$	146
5.4.4- Sensibilité sur la représentativité des pics de fréquence	147
5.4.5- Conclusion sur la valeur des seuils	148
5.5- Interprétation des types de satisfaction.....	149
5.5.1- Signification de la satisfaction unimodale	150
5.5.2- Signification de la satisfaction plurimodale.....	151
5.5.3- Signification de la satisfaction d'intervalle	152
6.- DISCUSSION	155
6.1- Justification de la méthode proposée.....	155
6.2- Sur la méthodologie d'analyse de sensibilité.....	159
6.3- Consensus versus compromis	161
6.4- Sur la notion d'expert	163
7.- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	165
7.1- Conclusions	165
7.2- Perspectives et nouveaux travaux	167
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	169
Annexes.....	175
Annexe 1: Dossier d'évaluation.....	176
Annexe 2 : Critères du développement durable	182
Annexe 3 : Résultats du type de satisfaction et de l'ETC	200
Annexe 4 : Résultats du calcul de l'ETC pour les 6 scénarios.....	194

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Processus de production dans une tannerie	21
Figure 3.1	Schéma de la méthodologie adoptée	60
Figure 3.2	Diagramme méthodologique de la technique DELPHI	65
Figure 3.3	Procédure de sondage	74
Figure 3.4	Diagramme de l'analyse fonctionnelle	77
Figure 3.5	Déduction de scénarios à partir de l'analyse fonctionnelle	86
Figure 4.1	Schéma méthodologique du développement de l'analyse de sensibilité	94
Figure 4.2	Diagramme de la méthodologie DELPHI modifiée	96
Figure 4.3	Apport de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale	106
Figure 4.4	Apport de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction pondérée totale	106
Figure 4.5	Illustration de la hiérarchisation des outils	118
Figure 4.6	Filtre de détermination du type de satisfaction	120
Figure 5.1	Schéma méthodologique de la présentation des résultats	122
Figure 5.2	Exemple de tableau de bord décisionnel : cas du critère NAT 5 et scénario 1	138
Figure 5.3	Exemple de tableau de bord décisionnel : cas du critère HUM 8 et scénario 6	139
Figure 5.4	Représentation graphique des résultats par catégorie de critère	145
Figure 5.5	Représentation graphique critère par critère: scénarios 2, 4 et 5	147
Figure 5.6	Conséquences relatives à l'obtention d'une SU, SI et SP	158

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3.1	Echelle de satisfaction et correspondances	71
TABLEAU 3.2	Echelle de pondération et correspondances	73
TABLEAU 3.3	Description des critères issus de l'analyse fonctionnelle	78
TABLEAU 3.4	Description des critères issus du développement durable	80
TABLEAU 3.5	Options du Contrat du Rio Turbio	82
TABLEAU 3.6	Rappel des scénarios	89
TABLEAU 4.1	Acronymes des différents types de satisfaction	119
TABLEAU 5.1	Résultats des totaux des évaluations avec les critères de l'analyse fonctionnelle	124
TABLEAU 5.2	Classement des critères issus de l'analyse fonctionnelle	125
TABLEAU 5.3	Classement des scénarios par catégorie de critère. Cas des satisfactions pondérées	127
TABLEAU 5.4	Classement des scénarios par catégorie de critère. Cas des satisfactions seules	127
TABLEAU 5.5	Résultats des évaluations avec les critères issus du développement durable	130
TABLEAU 5.6	Classement des critères issus du développement durable	131
TABLEAU 5.7	Classement des scénarios par catégorie de critères du développement durable. Cas des satisfactions pondérées	132
TABLEAU 5.8	Classement des scénarios par catégorie de critères du développement durable. Cas des satisfactions seules	132
TABLEAU 5.9	Influence des critères du développement durable sur le classement final des scénarios	134
TABLEAU 5.10	Résultats de l'analyse de sensibilité catégorielle : Satisfactions Unimodales	142
TABLEAU 5.11	Résultats de l'analyse de sensibilité catégorielle : Satisfactions Plurimodales	143
TABLEAU 5.12	Résultats de l'analyse de sensibilité catégorielle : Satisfactions d'Intervalle	144
TABLEAU 5.13	Résultats de l'ICO et IPE pour les 6 scénarios	149
TABLEAU 5.14	Analyse de sensibilité sur le paramètre $P_{<2}$	152
TABLEAU 5.15	Analyse de sensibilité du paramètre $R_{1/2}$	153
TABLEAU 5.16	Analyse de sensibilité du paramètre $R_{1/3}$	154
TABLEAU 5.17	Analyse de sensibilité des pics significatifs	155

LISTE DE SYMBOLES ET ACRONYMES

<u>Symbole</u>	<u>Définition</u>
SCE	Satisfaction Clairement Exprimée
ETC	Ecart Type Catégoriel
SU	Satisfaction Unimodale
SP	Satisfaction Plurimodale
SI	Satisfaction d'Intervalle
$P_{<2}$	Probabilité de présence des données autour de la médiane à une distance inférieure à 2 sur l'échelle de satisfaction
$R_{1/2}$	Rapport du mode 1 sur le mode 2
$R_{1/3}$	Rapport du mode 1 sur le mode 3
ε	Ecart significatif d'échelle

Introduction

Le travail présenté ici se situe dans le cadre des analyses multicritères, et concerne plus particulièrement le développement d'une méthodologie d'analyse de la sensibilité catégorielle dans un contexte de carence de données et de situation de conflit d'intérêts en matière environnementale. Cette méthodologie peut s'appliquer à chaque fois qu'il est nécessaire de solliciter l'opinion d'un panel d'expert, l'objectif étant l'évaluation de scénarios destinés à résoudre des problèmes caractérisés par un grand nombre de critères, comme cela peut être le cas, par exemple, de projets qui intègrent le concept de développement durable.

Ce dernier est, selon la Commission Brundtland, un « développement qui permet d'assouvir les besoins des personnes sans affecter la possibilité, pour les générations futures, de combler les leur ». Pour arriver à rencontrer cet objectif, cette commission suggère, entre autre, d'intégrer dans les choix décisionnels l'ensemble des partenaires impliqués directement ou indirectement dans la problématique.

Aujourd'hui, dans une société toujours plus globale et informée, il devient difficile, voire impossible d'imposer un scénario sans avoir pris la précaution préalable d'associer les différentes composantes de ces personnes. Ceci est d'autant plus vrai pour les initiatives dont les conséquences affecteront une population caractérisée par des groupes aux intérêts distincts.

Les tanneries de la ville de Léon au Mexique font partie de ce cas de figure. Au nombre approximatif de 800 et situées, pour la plupart, en pleine zone urbaine, elles déversent chaque année des milliers de tonnes d'effluents hautement pollués directement dans les drainages municipaux¹. Le faible roulement financier des tanneries, leur accès extrêmement réduit à des sources de crédits adaptés et le faible niveau de formation de leur personnel entraîne des pratiques industrielles bien peu respectueuses de l'environnement. De fait, le problème majeur répertorié par la très grande majorité des intervenants tant industriels que gouvernementaux est la quantité de sel dans les

¹ Les chiffres exacts ne sont connus de personne. Cette carence de données est courante au Mexique, comme il sera montré dans le chapitre 1.

effluents : les tanneurs achètent leurs peaux à des fournisseurs distants en moyenne de plus de 800 km, et la préservation de ces dernières durant le voyage requiert l'ajout de sel en grandes quantités. L'impact de cet élément, accumulé durant des décennies sur les aquifères locaux, est devenu catastrophique dans une région semi aride dont l'accès à l'eau conditionne tant la vie économique que sociale. Malheureusement, la rareté et le manque de fiabilité de l'information existante sur la quantification de ces impacts n'a pas permis aux dirigeants de prendre des initiatives à la mesure du défi. C'est pourquoi on assiste aujourd'hui à une montée croissante de l'insatisfaction sociale, où l'on repère l'émergence de trois groupes de pression majeurs : les industriels du tannage, le gouvernement à ses différents niveaux de compétence, et la société civile.

Devant un tel constat, il semble peu probable qu'une solution purement technologique soit une réponse adaptée aux circonstances. Dans ces circonstances, la complexité inhérente des facteurs en jeu et l'aspect conflictuel social oblige le futur preneur de décision à avoir recours à une approche plus intégrée et large (Barba et al., 1997; Sixto et al., 1989).

L'analyse multicritère fait partie de ces outils susceptibles d'apporter une aide à la prise de décision. Une des analyses parmi les plus connues et anciennes est la méthode DELPHI. Ces méthodes consistent, pour la plupart, à avoir recours à un panel d'expert que l'on interroge sur leur opinion par rapport à un scénario, en fonction d'un certain nombre de critères préalablement définis. La dispersion des données obtenues après une première mission de consultation oblige fréquemment l'analyste à répéter l'opération autant de fois qu'il est nécessaire jusqu'à arriver à une certaine convergence d'opinion.

Mais cette démarche comporte plusieurs inconvénients. Tout d'abord, de par le nombre de missions de consultation nécessaires, elle est longue et laborieuse et requiert de solliciter fréquemment les experts (Hsu, 1999). Deuxièmement, la mesure de tendance centrale fournie aux experts – le plus fréquemment la médiane obtenue durant la mission de consultation antérieure – a tendance à tronquer significativement l'opinion de l'ensemble, surtout lorsqu'ils sont partagés par des intérêts distincts et marqués (Woudenberg, 1991; Hsu, 1999). De même pour l'analyse de sensibilité ou post-optimisation des résultats : basées sur des méthodes mathématiques visant à mesurer la robustesse du classement des alternatives étudiées (Bastidas et al., 1999; Qureshi et al., 1999), elles brouillent, là encore, l'opinion initiale des experts selon des critères qui ont peu à voir avec la tentative

de compréhension des motivations qui les ont poussés à opiner de telle ou telle manière. Enfin, les experts provenant de la société civile sont peu à même d'évaluer des concepts techniques. Les études technico-économiques postérieures deviennent inévitables, mais il est important de pouvoir cibler et donc réduire leur ampleur à leur strict minimum, afin de les rendre accessibles aux preneurs de décision. Il nous semblait dès lors justifié de chercher à améliorer cette méthode.

L'hypothèse de cette étude s'exprime donc de la façon suivante : il est possible de construire un consensus à partir d'une analyse de sensibilité catégorielle dans un contexte de carence de données et de divergence d'opinion entre les experts. Par l'intermédiaire d'un filtre de paramètres spécialement développé à cet effet, une méthodologie d'analyse de sensibilité catégorielle est proposée afin de proportionner les valeurs d'un certain écart type catégoriel (ETC), basé non plus sur des considérations purement mathématiques mais sur la satisfaction clairement exprimée (SCE) des experts en fonction de seuils préalablement définis et qu'il est possible de faire varier. Plutôt que de chercher à éliminer le bruit dû à la dispersion des données, ce dernier est intégré dans l'analyse des résultats et considéré comme source importante d'information. En d'autres termes, un effort particulier est fait sur la caractérisation des courbes de fréquence des réponses des experts, dont l'objectif est de révéler, lorsqu'il y a lieu, un certain type de satisfaction. Cette approche permet de diminuer significativement le temps dédié aux projets et l'ampleur des études technico-économiques postérieures, ce qui doit amener à des économies conséquentes.

Après un survol des connaissances actuelles en matière d'analyse multicritère et des différentes méthodes d'analyse de sensibilité, le chapitre de la méthodologie décrira les différentes étapes nécessaires à la mise en place d'une analyse type DELPHI basée sur la problématique de la charge en sel des effluents des tanneries de la ville de León. Le chapitre 4 dédié à l'analyse de la sensibilité introduira, via la conformation du filtre de paramètres, les outils de discrimination statistiques nécessaires à la définition du type de satisfaction et de la mesure de l'écart type catégoriel. Dans le chapitre 5 seront présentés les résultats obtenus à partir de la méthode conventionnelle et ceux issus de l'application de la nouvelle méthode d'analyse de sensibilité catégorielle, résultats qui seront commentés avant la conclusion finale, dans le chapitre 6 réservé à la discussion.

1- Contexte de la problématique

1.1- Introduction

Le travail présenté ici s'est développé dans un cadre particulier, celui des tanneries de la ville de Léon au Mexique. Ce contexte se caractérise, comme il sera montré dans les sections suivantes, par une carence de données disponibles sur la situation réelle de ce secteur industriel, carence qui a conduit à la situation décrite tout au long de ce chapitre. Par ailleurs, les antécédents historiques du développement de ce secteur et des relations entre celui-ci et les instances gouvernementales et sociétales ont produit de nombreuses frictions entre les parties. Cet ensemble d'éléments explique en partie la situation dans laquelle se meuvent les acteurs, responsables ou témoins de ce qui paraît un statu quo inextricable.

C'est la raison pour laquelle un sous chapitre particulier (1.4) est dédié à la description de la problématique particulière des tanneries mexicaines, même si la méthodologie de recherche de solution décrite tout au long de ce document prétend pouvoir s'appliquer à tout problème complexe caractérisé par ces deux éléments, à savoir la carence de données et la situation de divergence nette d'opinion entre les parties.

Dans le chapitre 1, un panorama général de la gestion des déchets sera dressé, de façon générique tout d'abord, puis de manière plus précise en nous attachant sur le cas des déchets industriels du secteur du cuir et du contexte particulier d'un pays émergent, en l'occurrence le Mexique. La préoccupation relative à la génération et l'élimination de ces déchets concerne l'impact que peuvent avoir ces activités sur la qualité des eaux.

1.2.- Gestion des déchets industriels au Mexique

Depuis la révolution mexicaine et ses politiques successives de développement industriel, les impacts environnementaux négatifs dérivés de la croissance industrielle sont assumés comme des effets locaux et perçus à une échelle qui, on le pensait ainsi, ne mérite pas

qu'on s'y attarde. Quant à l'utilisation des ressources naturelles, à l'instar de bien d'autres pays, l'idée qui prédominait est qu'elles étaient inépuisables et, par la même, ne requéraient pas de restrictions particulières.

L'industrie contribue à la génération de polluants de manière très diverse, dépendant des caractéristiques des processus de production et du type d'intrants et extrants. Détail important : selon une enquête réalisée par le CRDI², les trois quarts des entreprises mexicaines ont une capacité de production inutilisée. Ces entreprises préféreraient remettre en service des équipements non utilisés plutôt que d'investir dans une technologie nouvelle non polluante.

Selon la SEMARNAP et l'INE³, en 1996, le Mexique a produit environ 8 millions de tonnes de résidus dangereux d'origine industrielle, dont 260 000 pour le seul Etat de Guanajuato, ce qui exclut les déchets miniers, entre 300 000 et 500 000 tonnes par jour, résidus considérés également comme dangereux.

Les industries chimiques basiques, secondaires et pétrochimiques sont les principales génératrices de résidus industriels, dans la mesure où elles apportent 40% du total général. Elles sont suivies par les industries de métal mécanique (10%) et l'industrie électrique (8%).

Etant donné la disproportion existante entre le volume croissant de résidus dangereux et les capacités actuelles de gestion, vigilance et contrôle, on observe fréquemment une élimination clandestine dans des dépotoirs municipaux à ciel ouvert, falaises, bords de routes, drainages municipaux ou étangs; de fait, on considère que ce sont ces deux dernières options qui prédominent et on l'évalue à environ 90% pour l'ensemble des résidus dangereux. Or, ces pratiques constituent un danger majeur pour la qualité des eaux souterraines.

Il est donc devenu extrêmement important de procéder à un inventaire de la génération de ces résidus. La plupart des initiatives en ce sens se confrontent à des limitations

² Le CRDI explore, des réformes fiscales pour protéger l'environnement au Mexique (www.idrc.ca/books/reports/1997/10-01f.html)

³ SEMARNAP: Ministère de l'Environnement, des Ressources Naturelles et Pêche.
INE : Institut National d'Écologie

importantes dans la mesure où elles se basent sur des facteurs de génération estimés dans d'autres pays – en l'occurrence les Etats Unis - et qui s'appliquent la plupart du temps par rapport au nombre d'employés par entreprise. On peut dire par ailleurs que le travail de validation sur le terrain est très insuffisant pour obtenir des résultats plus réalistes et en accord avec la réalité industrielle mexicaine. En d'autres termes, les données sur lesquelles pourrait se fonder une prise de décision éclairée sont pour ainsi dire inexistantes.

Il n'existe pas de schéma méthodologique pour déterminer le potentiel d'impact de ces résidus et évaluer les risques sur la santé et l'environnement. Les études d'évaluation environnementale réalisées au Mexique se sont focalisées principalement sur des problèmes spécifiques ou des accidents.

L'infrastructure et les systèmes de gestion et opération sont eux aussi pour ainsi dire inexistantes. La SEMARNAP, dans son rapport de 1999 (SEMARNAP, 1999) relève la profonde disparité existante entre les différents Etats de la République quant aux infrastructures pour le confinement des déchets industriels. Certains de ces derniers ne possèdent même pas un seul site d'enfouissement moderne. Les autorités, peu enclines à investir en infrastructures qui ne se voient pas et donc qui ne rapportent pas de votes (sous entendu « politiques »), attendent le dernier moment pour ouvrir de nouvelles décharges et, dans la précipitation, laissent déverser les déchets dans un endroit provisoire qui, dans bien des cas, devient définitif.

Cependant, le même rapport cité précédemment présente une nouvelle alternative dont il fait la promotion : les CIMARIS ou SIMARIS, Centres ou Systèmes pour la Gestion Intégrale et Utilisation des Résidus Industriels. Ceux-ci permettraient de rationaliser la gestion des résidus industriels dangereux en offrant une gamme d'options technologiques, soit à l'intérieur d'une même installation (CIMARIS), soit en forme de réseaux d'installations (SIMARIS) situés sur des sites stratégiques relativement proches.

Le problème des déchets industriels est loin d'être réglé et représente un vrai défi pour les autorités chargées d'y apporter un remède. D'un côté des pratiques bien peu respectueuses de l'environnement, de l'autre une carence réelle d'infrastructures susceptibles de faire face aux quantités croissantes de déchets générés. Il devient donc

vital de proposer de nouvelles alternatives qui prennent en compte tant le contexte socio-économique du pays que les réelles possibilités et limites d'action des industriels.

1.3 Cas particulier de l'Etat de Guanajuato

1.3.1 Situation des résidus

Selon le dernier recensement de l'Institut National de Statistiques (INEGI) de 1970⁴, il y a dans l'Etat de Guanajuato 5 365 entreprises dont les principales activités se résument comme suit : manufacture de produits alimentaires, textile, fabrication de chaussures et vêtements, production de boissons, exploitation de mines, banques de matériaux, extraction de sable et graviers, production de cuir et peaux, et de minéraux métalliques et non métalliques. En 1995, le nombre de ces entreprises est passé à 7 680⁵.

Selon l'Institut d'Ecologie de l'Etat de Guanajuato⁶, il se génère 260 000 tonnes de résidus dangereux par an, ce qui équivaut à 3,25% du total national, et 4 578 tonnes par jour de résidus municipaux. Vingt quatre municipalités ont des décharges contrôlées à ciel ouvert et une seule d'entre elles un site d'enfouissement⁷.

Il est également important de mentionner que, au vu de l'insuffisance de lieux de confinements pour les résidus dangereux, nombreuses sont les entreprises qui les ont éliminés dans les systèmes de décharge municipaux, avec tous les risques que cela peut comporter pour la santé humaine et l'environnement.

L'Etat de Guanajuato dispose en tout et pour tout de trois entreprises qui se dédient à la collecte, transport et stockage de résidus dangereux, et seules sept autorisations officielles ont été accordées en 1998 pour ces activités⁸. Fait intéressant : aucune

⁴ INEGI. Recensement de population et résidences, 1970, 1980, 1990

⁵ Annuaire statistique de l'Etat de Guanajuato, 1995.

⁶ Programa de mejoramiento ambiental y descentralización, 1999.

⁷ Ce site est celui de la ville de León et vient d'être terminé, mais ne bénéficie pas encore de toutes les infrastructures et des équipements nécessaires qui lui permettraient de rencontrer les normes.

⁸ Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México, INE, SEMARNAP, 1997.

autorisation n'a été sollicitée pour la réutilisation, le recyclage, le traitement, incinération ou confinement de résidus dangereux cette même année.

En ce qui concerne le cas particulier et révélateur des déchets hospitaliers, selon l'information de la Direction Générale de Matériaux, Résidus et Activités Risquées de l'INE, il s'en générerait dans l'Etat de Guanajuato 23 678 kg par jour, dont 10 655 kg sont considérés comme biologiques infectieux. Selon la même institution, il n'existe à l'heure actuelle aucune infrastructure susceptible de les prendre en charge, ce qui implique qu'ils sont simplement déposés dans des décharges à ciel ouvert avec tous les risques de se convertir en foyers d'infection pour la population et de contaminer les eaux souterraines.

1.3.2 Enjeux

Selon une récente table ronde industrielle⁹, pour maintenir la position des industries mexicaines dans le monde, celles-ci devront tripler leur production dans les cinq années suivantes. Cet objectif, s'il est atteint, provoquera une énorme pression sur les ressources naturelles ainsi que sur les matières premières et les ressources humaines. C'est vrai en particulier pour les industries de l'Etat de Guanajuato, lorsque l'on sait qu'elles se trouvent localisées dans une zone semi aride du bassin versant Lerma-Chapala-Santiago (entre 600 et 2000 mm de pluie en moyenne par an). De plus, ce bassin est relativement peuplé et représente près du tiers de la population totale du Mexique, pour une surface légèrement inférieure à 10% de la surface totale. Par ailleurs, elle supporte près de 3,12% de l'agriculture et 6,11% du nombre total d'entreprises mexicaines. Ces dernières doivent se partager moins de 1,5% des réserves souterraines en eau et un pourcentage infime des eaux de surface du Mexique. Pour cette raison, une croissance économique et sociale dans cette région doit obligatoirement se baser sur le développement de nouvelles sources de matières premières et énergies alternatives, ainsi que sur une diminution drastique de la génération de déchets et une protection accrue des ressources hydriques, et ceci, dans un contexte de plus en plus compétitif.

⁹ Rencontre Internationale: la relation effective entre le secteur productif et les Institutions d'Éducation Supérieures, 1999, Monterrey, Mexique.

1.4 Cas des tanneries de la ville de León

Avant tout, il est nécessaire de replacer le secteur des tanneries dans leur contexte national et international. En 2000, le Mexique fait partie des dix premiers pays producteurs de peaux dans le monde. La production au Mexique est estimée à environ 4% des peaux tannées à l'échelle mondiale, soit environ cinq cent millions de pieds carrés, et l'on y produit également plus de deux cent millions de paires de chaussures¹⁰. L'Etat de Guanajuato représente à lui seul 70% de la production nationale. Il emploie en moyenne 7241 travailleurs, alors que le second en liste, l'Etat de Jalisco, donne du travail à seulement 1750 personnes¹¹. Quant à l'importance de cette industrie au Mexique, elle se chiffre à 8.6% du pourcentage du PIB par secteur d'activité¹².

Selon un recensement réalisé par l'IEEG¹³, la ville de León regroupe près de huit cent tanneries à elle seule, dont plus de 90% sont des micros tanneries de type familial. Sauf rares exceptions, elles se situent en zone urbaine.

Les principaux déchets générés par ce secteur concernent les effluents aux hautes concentrations en sulfures, chrome, sels, matières en suspension et matières organiques, et les résidus solides sont constitués principalement par de la matière organique. De fait, on estime que chaque tonne de peau brute traitée au Mexique produit plus de 500 kg de déchets après les différentes étapes de transformation. A noter également l'importance de la consommation d'eau, étant donné qu'elle représente de 50 à 80 fois le poids des peaux.

La production des peaux dans une tannerie comprend deux étapes principales, même si toutes les tanneries ne procèdent pas forcément aux deux étapes : la partie humide et la partie finition (figure 1.1).

Dans la partie humide, les peaux provenant des différents fournisseurs (pour la très grande majorité des cas, ces peaux proviennent des Etats Unis ou de villes comme Monterrey, Mexico D.F ou Veracruz) sont d'abord traitées afin d'éliminer le sel de

¹⁰ Folleto de la auditoria ambiental sectorial en la industria de la curtiduría, SEMARNAP, PROFEPA, Diciembre 1998.

¹¹ INEGI. Recensement 1994.

¹² Systèmes des comptes nationaux du Mexique. Calcul préliminaire 1994, INEGI. Les valeurs du PIB de 1994 ont été obtenus à partir des chiffres annualisés aux prix de 1980.

¹³ Instituto Estatal de Ecologia, 1998

conservation qui permet de conserver les peaux durant le transport. Ensuite, successivement, plusieurs étapes supplémentaires se chargent d'éliminer les poils et de tanner les peaux, le plus souvent avec des produits à base de Chrome. Cette étape est, de loin, celle qui consomme le plus d'eau (environ 90%) et celle qui génère le plus de pollution au niveau des effluents. Par ailleurs, il s'agit d'une étape plutôt standardisée et peu de différences existent dans ce processus entre les différentes tanneries de la ville. Le produit obtenu à la fin de cette étape s'appelle le Wet Blue, en référence à la couleur bleue typique du chrome.

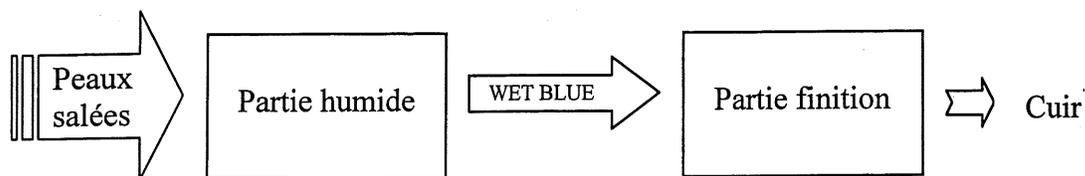


Figure 1.1: Processus de production dans une tannerie

La partie finition est, quant à elle, beaucoup plus spécifique à chaque tannerie et dépend beaucoup des exigences des clients. En effet, cette étape se charge de donner une couleur, texture, élasticité ou plasticité aux peaux. Hormis un processus de re-tannage (optionnel), cette partie de la production fait un usage plus limité de l'eau mais utilise en contrepartie toutes sortes de produits toxiques, tels que des solvants, des pigments ou autres. Les déchets sont donc principalement solides.

Toutes les tanneries, sans aucune exception à cette date, déversent leurs effluents directement dans le drainage municipal et leurs résidus solides sont envoyés vers les sites d'enfouissement existants ; or ces mêmes sites ressemblent plus à des décharges à ciel ouvert qu'à des sites d'enfouissement respectant les normes environnementales.

Dernièrement, la ville de Léon a acheté et aménagé un terrain qui devait permettre la délocalisation de ces tanneries vers un futur parc industriel. Malheureusement, une fois aménagé, les autorités se sont rendu compte qu'il y avait eu fraude et que le terrain était instable et ne permettait donc pas, à un coût raisonnable, la construction de bâtiments pouvant recevoir ces tanneries. Pour autant, ce parc est pour ainsi dire vide.

Parallèlement, les autorités ont construit un macro système de traitement des eaux usées, terminé au début de l'année 2000, avertissant que plus aucun effluent ne sera accepté des tanneries à partir de Juin 2000 s'ils ne remplissent pas certaines conditions de qualité et de charge. En date de Juin 2001 aucune tannerie¹⁴ ne dispose d'un système de traitement de ses effluents.

Une certaine proportion de ces tanneries s'est regroupée dans une chambre d'industrie, CICUR¹⁵. Son rôle consiste à aider ces dernières à se développer, à s'informer sur les dernières technologies, à agrandir leurs marchés, etc. CICUR comptait plus de 800 membres en 1990 ; aujourd'hui le nombre s'est réduit à moins de 300. Les principales raisons invoquées concernent l'incapacité de cette dernière à les aider à relever le défi de leur développement économique devant une pression réglementaire environnementale croissante qu'elle aurait sous évalué, et la carence d'informations pertinentes et adaptées sur des nouvelles technologies plus propres et sobres. Tout le monde semble s'entendre sur le fait que la très grande majorité des micros et petites tanneries de la ville sont vouées à disparaître devant l'impossibilité pour elles de relever ce défi et leur entêtement à ne pas vouloir se regrouper. Or ce secteur arrive en seconde position, derrière le commerce, en ce qui concerne la participation au PIB de l'Etat. On ose à peine imaginer les conséquences funestes de la disparition de ces tanneries sur l'emploi et le dynamisme de cette grande ville.

1.5- Contexte socio-économique différent des pays développés

Au Mexique, il est bien connu que jusqu'en 1970, pratiquement aucun critère environnemental n'a été appliqué au développement industriel, malgré la présence d'indices d'impacts croissants, particulièrement en termes de pollution atmosphérique et génération de déchets. On estime qu'entre 1950 et 1960, ces effets ont augmenté en même temps que l'industrie se rétablissait¹⁶, au bénéfice de certains secteurs et technologies particulièrement polluantes.

¹⁴ Sauf une macro tannerie, qui dispose d'un système de pré traitement.

¹⁵ CICUR : Chambre d'Industrie du Cuir de l'Etat de Guanajuato.

¹⁶ Actuellement, et en raison du type de politique mené depuis la révolution mexicaine, ce sont les manufactures (« maquiladoras ») qui sont majoritairement représentées dans les industries mexicaines.

La politique de bas prix de l'énergie a favorisé son utilisation intensive et coûteuse, ainsi qu'une croissance de la demande énergétique plus rapide que la valeur et le volume de la production industrielle. De son côté, le protectionnisme, en favorisant la fixation des prix sans référence internationale, a introduit une structure de coûts dans laquelle l'énergie n'avait pas grande importance, étant donné que les prix publics étaient subventionnés. Ceci a provoqué une distorsion de la structure des prix relatifs et a contribué en plus à la croissance de la consommation. De 1950 à 1970, la consommation de gaz a augmenté de 33 fois, celui de diesel de 8.2, de lubrifiants de 40, d'électricité de 4, et durant la même période le nombre de véhicules a été multiplié par 6. On peut donc affirmer que toutes ces circonstances, en y ajoutant la carence d'une véritable politique environnementale, ont configuré le cadre d'une rapide croissance des indices de pollution.

Fait important: la présence croissante des entreprises publiques parmi les plus polluantes. L'absence d'un cadre normatif et de contrôle adéquat a provoqué que celles-ci ont pris une responsabilité croissante dans l'impact environnemental en comparaison avec les entreprises privées. Étant donné les dimensions de plusieurs d'entre elles, comme c'est le cas de la Commission Fédérale d'Électricité et PEMEX (Pétroles mexicains), cette donnée est importante à considérer si l'on se met à la place des personnes chargées à cette époque de formuler les politiques environnementales.

Enfin, la dernière crise économique mexicaine de 1995 a laissé exsangue la très grande majorité des secteurs industriels, qui se sont retrouvés avec des dettes insurmontables, une absence totale d'accès à des crédits abordables, et donc dans l'incapacité d'investir dans leur développement, encore moins dans l'adoption de mesures coercitives destinées à diminuer leur impact sur l'environnement. À ce propos, et de façon révélatrice, l'Institut National d'Écologie¹⁷ parle d'univers potentiel de génération de résidus dangereux, faisant référence non seulement à l'incapacité financière des entreprises à traiter convenablement leurs déchets, mais aussi au peu d'empressement qu'ils manifestent à les déclarer. Les chiffres sont éloquentes : sur 100 000 entreprises potentiellement génératrices de résidus dangereux, seulement 12 514 les déclarent. Sur les huit millions de tonnes produits par année, seulement trois millions sont officiellement connus des autorités.

¹⁷ INE, Universo potencial de generación de residuos peligrosos (www.ine.gob.mx/dgmrar/ri/universo.htm)

1.6-Cadre réglementaire

1.6.1- Contexte international

A la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement en 1993 à Rio (Brésil), le Mexique a adhéré aux principes contenus dans les chapitres 19 et 20 de l'Agenda 21, chapitres relatifs à la gestion environnementale adéquate des matériaux et résidus dangereux, respectivement. Le Forum intergouvernemental de Sécurité Chimique (FISQ), duquel le Mexique a occupé la place de la Vice Présidence lorsqu'il a été créé en 1994, a pour mission de faire la promotion de la mise en marche des dispositions du chapitre 19 de l'Agenda 21, et d'en informer la Commission de Développement Durable.

Aussi, lors de son entrée à l'Organisation de Coopération et Développement Economique (OCDE) en 1994, le Mexique s'est engagé à incorporer dans ses politiques, réglementations et procédures administratives les considérations contenues dans les Actes du Conseil des Ministres de cette organisation, du moins celles considérées comme des décisions en matière environnementale, qui justement se réfèrent à la gestion des substances chimiques, les résidus dangereux et les accidents chimiques.

Dans le cadre du Traité de Libre Commerce (TLC) et de l'Accord de Coopération Environnementale d'Amérique du Nord (CCAAN), le Mexique a pris également des engagements qui sont en relation avec la gestion des pesticides ainsi que le développement de plans d'actions régionaux afin de réduire les risques dans la gestion des substances toxiques prioritaires, en particulier celles qui sont persistantes et bioaccumulantes comme c'est le cas du DDT, des biphénols polychlorés et du Mercure (Résolution 95-5). De la même façon, le Mexique s'est engagé à contribuer à créer un Registre d'Emissions et Transfert de Polluants (RETC) pour l'Amérique du Nord.

Il est important de souligner que, en accord avec la Loi des Traités Internationaux, lorsqu'un pays a souscrit, comme c'est le cas du Mexique pour l'OCDE et le TLC, à un accord international ratifié par le Congrès de l'Union et le Pouvoir Exécutif, ces accords acquièrent le statut de Loi Nationale et doivent se retrouver dans les lois, politiques et programmes particuliers des dépendances qu'ils impliquent.

1.6.2- Réglementation mexicaine

La législation mexicaine ne présente pas de régulation systématique faisant référence à la protection environnementale dû à l'impact des activités industrielles. Cependant, il existe une série de dispositions juridiques qui régulent cette relation de manière indirecte. La plus importante de toutes est la Loi Générale de l'Equilibre Ecologique et Protection de l'Environnement (LGEEPA) et ses règlements respectifs. De la même façon, on trouvera des références importantes dans la Loi Organique de l'Administration Publique Fédérale (LOAPF), la Loi Générale de Santé et autres législations mineures.

Les spécifications et requis techniques pour le respect de la LGEEPA et ses règlements sont contenus dans les Normes Officielles Mexicaines (NOM), lesquelles sont des résolutions de contrôle de caractère obligatoire exercées spécifiquement dans le domaine administratif.

Les normes actuellement existantes et qui concernent l'industrie des tanneries sont les suivantes :

- NOM-021-ECOL-1993 : Cette norme établit les limites maximales permises de polluants dans les corps récepteurs naturels.
- NOM-031-ECOL-1993 : Cette norme établit les limites maximales permises de polluants dans les systèmes de drainages et canalisations urbaines ou municipales.
- NOM-052-ECOL-1993 : Cette norme établit les caractéristiques des résidus dangereux, leur liste et les limites qui font d'un résidu un résidu dangereux de par sa toxicité pour l'environnement. A noter que, dans le cas des tanneries, cette norme ne s'applique qu'aux résidus issus du processus de tannage, mais qu'une révision de cette norme est en cours qui propose de classer la totalité de ces résidus comme dangereux.
- NOM-053-ECOL-1993 : Elle établit la procédure à suivre pour déterminer les constituants qui font d'un résidu un résidu dangereux.
- NOM-054-ECOL-1993 : Elle établit la procédure à suivre pour déterminer l'incompatibilité entre deux ou plusieurs résidus considérés comme dangereux par la norme NOM-052-ECOL-93.

Les résidus qui actuellement ne rentrent pas dans la norme NOM-052-ECOL-1993, ne sont donc pas considérés comme dangereux et rentrent donc sous la compétence des Etats. Jusqu'à aujourd'hui, tous les résidus des tanneries qui ne proviennent pas du processus de tannage rentrent dans cette catégorie.

En ce qui concerne les effluents industriels des tanneries, elle sont sous la triple compétence fédérale, étatique et municipale. Leur contenu en matières toxiques les placent sous juridiction fédérale ; l'eau est patrimoine national et donc de compétence fédérale à travers la Commission Nationale de l'Eau (CNA) et municipale en ce qui concerne l'utilisation des drainages et canalisations urbaines. Enfin, le reste des résidus contenu dans les effluents et qui ne sont pas toxiques doivent rendre des comptes à l'Etat. Mentionnons également que cette situation se répète en ce qui concerne les boues issues des tanneries.

Sachant qu'une réglementation plus sévère ne peut, à elle seule, résoudre le problème des déchets industriels, le Mexique songe maintenant à recourir à des instruments économiques pour stopper la dégradation de l'environnement¹⁸. De tels moyens d'intervention économique, axés sur les forces du marché, remplaceront ou compléteront la réglementation existante en augmentant les coûts que doivent assumer les pollueurs. Elles présentent un double avantage : leur application n'exige pas une machinerie aussi importante que les moyens habituels et les risques de corruption sont moins élevés. Si ce même rapport indique que la très grande majorité des PME fait fi de la réglementation, aucune d'entre elles ne pourra échapper aux nouvelles politiques économiques.

1.7- Difficultés d'application des lois

Les difficultés d'application des lois sont de plusieurs ordres. Tout d'abord, elles concernent le manque de moyens, qu'ils soient financiers ou logistiques. Dans l'Etat de Guanajuato, les budgets consentis sont dérisoires par rapport à la tâche, et doivent se

¹⁸ Le CRDI explore, des réformes fiscales pour protéger l'environnement au Mexique (www.idrc.ca/books/reports/1997/10-01f.html)

partager entre la PROPAEG¹⁹ et l'Institut d'Ecologie. La PROPAEG a pour mandat de vérifier que les normes environnementales en vigueur, du moins celles de compétence étatique, soient respectées et, le cas échéant, de procéder à des sanctions. Or celle-ci n'emploie que six inspecteurs pour tout l'Etat. Quant à l'Institut d'Ecologie, sa situation n'est guère plus brillante, et c'est sans mentionner des incessantes pressions et menaces qu'il doit subir. On comprend donc aisément que ces structures, dont l'existence remonte à guère plus de 5 ans, rencontrent bien des difficultés à remplir leurs engagements.

L'autre problème de la difficulté d'application des lois concerne la complexification extrême des lois, normes et règlements, surtout lorsqu'ils sont mis en parallèle avec ces mêmes normes au niveau fédéral et même municipal. C'est pour cela que l'Institut National d'Ecologie a implanté des représentations dans chaque Etat via, entre autres, la PROFEPA et le CNA. Ici encore, les non conformités se multiplient, donnent lieu à des procès interminables qui débouchent quasi inévitablement sur des compromis plus ou moins satisfaisants. Un exemple frappant est celui justement des tanneries : de toutes les étapes qui constituent la production du cuir, seules celles qui font intervenir le chrome sont réglementées par la Fédération, même si la future norme NORM 052 –ECOL 2000 considère indistinctement tous les résidus des tanneries comme dangereux, et donc sous sa compétence. Pour l'instant, tous les résidus autres que ceux provenant du processus de tannerie proprement dit, sont sous compétence de l'Etat, sauf certains comme les boues, qui dépendent de la municipalité. Mais des boues qui contiendraient des traces de chrome repasseraient sous la tutelle de la fédération, avec ses propres critères et recommandations de confinement ou destruction.

Par ailleurs, il existe des cas où a été promulgué une loi sans que celle-ci ait été suivie par un Règlement ou sans que ces dernières se mettent en pratique à travers l'appui de normes qui établissent les spécifications techniques nécessaires pour celles-ci²⁰. Dans le meilleur des cas, quand ces trois éléments cités précédemment ont été considérés, on se rend compte qu'il existe des vides quant au développement de procédés et méthodes indispensables pour la vérification de l'application des dispositions légales promulguées.

¹⁹ PROPAEG : Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente. L'équivalent d'un Ministère de Protection de l'Environnement.

²⁰ Voir à ce sujet la liste d'objectifs pour l'année 2000 de l'Institut National d'Ecologie : « Instituto Nacional de Ecología: Metas 2000 », INE, SEMARNAP, Février 2000.

Pire encore, l'expérience de l'INE a montré que le fait d'avoir des ordres juridiques ainsi que des instruments complémentaires ne garantit en rien que soient atteints les objectifs. Surtout si l'on n'a pas les moyens suffisants et adéquats pour leur instrumentation ou leur vérification, via une inspection par exemple.

Le dernier aspect concernant la difficulté d'appliquer les lois est de caractère socioculturel. A ce sujet, le cas des tanneries de Léon est significatif : en 1986, les autorités politiques et les représentants des tanneries de la ville signent un accord cadre dans lequel ces derniers s'engagent à rencontrer les normes dans les quatre années suivantes. Après cette période, et étant donné que rien n'avait été entrepris, ils ont bénéficié d'une seconde période de grâce de quatre années. Ce processus s'est répété jusqu'en 1999, où les représentants des tanneries ont préféré tout simplement quitter la table de négociations avec fin de non recevoir (voir appendice B, El Heraldo, Janvier 1999, page 1).

Le Mexique, à l'instar d'autres pays, procède actuellement à une évaluation des différentes régulations dont il dispose, estimant leur efficacité afin d'atteindre les buts poursuivis à un coût social acceptable et sans tomber dans des excès réglementaires qui représentent une charge pour les agents responsables de ces régulations, pour les autorités chargées de vérifier leur accomplissement et pour la société en général.

C'est pour toutes ces raisons que la Loi Fédérale de Métrologie et Normalisation a introduit la nécessité de chercher en premier lieu des mécanismes non régulateurs et de coûts effectifs (« costo – efectivos »), de façon à ne recourir à la normativité que dans les cas où l'on n'obtienne pas de succès par cette voie et quand l'impact régulateur de la normativité n'excède pas les bénéfices de celle-ci.

Pour terminer, une partie des conclusions de ce chapitre se résume en la liste suivante des problèmes considérés comme prioritaires par les autorités mexicaines²¹ :

- Mauvaise utilisation des données exigées au secteur productif afin d'améliorer constamment leur gestion grâce à des statistiques, par exemple ;

²¹ « Taller sobre minimización de residuos y producción mas limpia en America Latina y el Caribe » (1995), SEMARNAP, Mexico.

- Sur-régulation, dans la mesure où des Ministères différents légifèrent sur les mêmes aspects et certaines réglementations se contredisent ;
- Manque d'harmonisation dans la classification des matériels dangereux et dans le concept de risque ;
- Nécessité d'obtention, pour l'opération du secteur productif, de trop de Licences de Fonctionnement et d'Autorisations, qui freinent ou bloquent l'activité économique sans pour autant remplir les objectifs de protection environnementale ;
- Manque d'efficacité dans la coordination de différents autorités qui ont des compétences partagées ;
- Manque de personnel et de ressources techniques et financières ;
- Lenteur des processus de décentralisation et de participation sociale.

2.- ETAT DES CONNAISSANCES

« Rien n'est plus dangereux qu'une idée quand on n'en a qu'une ».

Paul Claudel

2.1- L'analyse multicritère

2.1.1- Antécédents historiques

L'apparition vers 1944 des travaux de Neumann et al. (1944) représente probablement le point de départ du traitement scientifique des problèmes de décision individuelle, dont le but est de rendre compatible la rationalité scientifique avec l'inévitable présence de la subjectivité dans de telles situations. Les travaux du prix Nobel professeur Arrow (1951) sont, parallèlement et à partir de 1951, à l'origine de l'étude des décisions collectives.

Aux Etats Unis, la Loi de Politique Environnementale Nationale (*National Environmental Policy Act, NEPA*) entre en vigueur le 1^{er} Janvier 1970. L'essence de cette loi consiste à garantir que le processus de prise de décision soit équilibré en ce qui concerne l'environnement et les intérêts publics²². A cette fin, cette loi rend obligatoire – entres autres – l'élaboration d'études d'impacts environnementaux qui décrivent les conséquences des activités humaines pouvant affecter significativement la qualité de l'environnement humain. Dans la planification des initiatives et dans la prise de décision, devront être pris en compte les aspects propres au génie, à l'économie et à l'environnement (Bender et al., 1997).

L'inclusion d'objectifs multiples dans les processus de planification, dépassant par la même le processus économique classique monocritère, est d'ores et déjà recommandé ou imposé par la loi dans certains pays, par exemple lorsqu'il s'agit de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles telles que l'eau, les mines, etc. Dans le cadre international,

²² Ce n'est qu'en 1999 que Lootsma et al., (1999) développe cette idée en introduisant dans l'analyse multicritère des solutions mathématiques visant à garantir la justesse et l'égalité dans la distribution des bénéfices.

l'UNIDO²³ a publié en 1972 des normes pour l'évaluation de projets dans les pays en voie de développement qui doivent prendre en compte des objectifs multiples : emploi, redistribution de la rente, balance de paiements, etc.

Selon Barba et al. (1997), la raison principale d'utiliser l'analyse multicritère réside dans le fait qu'il n'est plus possible d'ignorer que chaque décision consiste de fait en un compromis entre plusieurs solutions, chacune avec ses avantages et inconvénients, dépendant de la position que l'on adopte. Dans cet ordre d'idées, cet auteur constate qu'il devient plus difficile pour les organisations de ne pas prendre en considération les différents points de vue, motivations ou buts. Le temps de la fiction mono-objective (le bénéfique, le bien être social, l'environnement, etc.) arrive à son terme ; il devient vital désormais de prendre en compte les désirs des différents acteurs ainsi que la pluralité de leurs intentions.

Aujourd'hui, la globalisation des activités économiques, la démocratisation des décisions collectives et la prolifération des réseaux d'affaires ont profondément bouleversé les systèmes conventionnels de prise de décision (Oral et al., 2001). Tout d'abord en raison des personnes ou institutions qui sont impliquées et caractérisées par une multitude de systèmes politiques, économiques et sociaux, originaires de différentes régions dans le monde. Ensuite par le nombre croissant d'individus et de groupes impliqués dans le processus de prise de décision, ce qui conduit à de fortes divergences d'opinion dans la mesure où chacun d'entre eux a son propre système de valeurs, suit différents objectifs et fait face à des contraintes locales. Selon le même auteur, la complexité des processus de négociation pose un défi aux hommes d'affaires et aux universitaires pour désigner des modèles de prise de décision qui prennent en compte la présence de divers actionnaires avec des objectifs conflictuels et qui permettent d'arriver à un degré supérieur de consensus.

Du point de vue des applications dans les entreprises et les organisations, l'analyse multicritère s'utilise de deux formes distinctes (Barba et al., 1997). Une première, la décision multicritère discrète, s'intéresse au choix entre un nombre fini d'alternatives possibles (projets, investissements, candidats, etc.). La seconde se centre,

²³ Voir site de United Nations Industrial Development Organization, au www.unido.org.

fondamentalement, en la programmation linéaire avec des critères multiples, sujet qui ne sera pas traité ici.

La décision multicritère discrète apporte une aide effective dans la pratique de la prise de décision et de la gestion des organisations. La principale raison pour laquelle celle-ci est pour ainsi dire encore inconnue des techniciens et dirigeants d'organisation est probablement d'ordre culturelle, étant donné que la culture scientifique continue de privilégier la notion de la « meilleure décision » (Barba et al., 1997). Cependant, comme il sera montré par la suite, l'« optimum », dans son sens strict du terme, n'existe pas dans l'analyse multicritère, ni d'ailleurs probablement dans la très grande majorité des situations réelles de décision (Sixto et al., 1989).

Quant à la législation environnementale mexicaine, elle préconise également l'implication et la participation du public dans la prise de décision, afin de réduire les conflits environnementaux à travers un processus de participation, en particulier en ce qui concerne l'accès aux ressources (FIRA, 1989, SEDUE, 1988). Par exemple, Malczewski et al. (1997) réalisent un projet sur l'allocation de terres au Mexique, basé sur l'analyse multicritère pour la prise de décision, dont le but est de maximiser le consensus entre individus, au-delà des intérêts des différents groupes en présence. Dans ce travail, les auteurs incluent des attributs directement liés à la problématique environnementale.

L'analyse multicritère est donc une méthode adaptée aux problèmes complexes, dont l'environnement fait partie, et peut être utilisée comme aide structurée de décision pour évaluer, prioriser et sélectionner des alternatives, critères ou indicateurs (Mendoza, 2000).

2.1.2- La décision multicritère dans les modèles descriptifs de la décision humaine

L'existence de critères plus ou moins en conflits dans le cerveau de chaque individu est connue depuis longtemps. Cependant, c'est Simon (1955) le premier qui a doté cette constatation d'une valeur scientifique, en introduisant cette idée dans son modèle de la *rationalité limitée* et en conférant une légitimité aux solutions « satisfaisantes », et pas forcément optimales.

Cette rationalité limitée provient de la constatation des limitations inhérentes au concept d'optimisation, étant donné que cette dernière se base sur au moins trois points principaux qui sont difficilement obtenus dans la réalité (Simon, 1955): la nécessité d'une connaissance totale de l'ensemble des alternatives, sa stabilité (raison pour laquelle on le considère comme quelque peu intangible) et l'existence d'un préordre complet défini.

Selon Barba et al. (1997), l'inclination à choisir l'option de décision multicritère plutôt que celle d'optimisation monocritère se réalise plus facilement lorsque la *situation évoque irrésistiblement une multiplicité de critères qualitatifs*. Et, plus récemment, dans des *situations de conflits*, surtout d'intérêts ou qui impliquent une décision univoque pour des personnes aux situations initiales différentes, voire contradictoires. En effet, lorsque les différentes parties (direction, syndicats, pollueurs, pollués, pouvoirs publics, ONG's, etc.) divergent fortement dans leurs objectifs, leurs goûts ou, en un mot, leurs préférences, il devient difficile de nier les avantages de la dimension multicritère de la décision. Dans de telles situations, toujours selon cet auteur, le compromis *négocié* est l'unique sortie possible du conflit, mais il paraît utopique de penser que le compromis puisse prendre en compte l'ensemble des critères pour tous les individus. C'est pourquoi l'analyse multicritère doit apporter une *méthodologie et un support structuré de décision* . L'accord obtenu rendra évidemment plus ou moins compte des relations de force, des menaces et de l'habileté des différents protagonistes. A tel point que, selon Barba et al. (1997), lors d'une négociation un peu complexe, la solution finale de compromis **fait rarement partie des alternatives initialement considérées** . L'analyse multicritère constitue donc un instrument de négociation, mais en même temps sert de témoin de la rationalité et de l'impartialité du décideur, lequel accepte souvent avec grand plaisir et soulagement l'accord obtenu.

Un modèle fermé dans lequel les critères des uns et des autres sont cachés dans la fonction à optimiser ou dans les restrictions initiales – souvent incontournables – est d'une utilité limitée dans un processus de négociation ou discussion. Au contraire, un modèle qui montrerait explicitement tous ces différents critères peut être utilisé avantageusement comme *instrument de recherche du consensus* , ce qui constitue une des facettes les plus intéressantes de l'analyse multicritère (Sixto et al., 1989).

Il existe tout un courant de pensée en analyse multicritère qui se dédie à étudier le thème de la prise de décision dans les organisations (MCDA²⁴ en anglais). Ce thème est amplement révisé par Belton (1990), Daellenbach (1994) et Goodwin and Wright (1998). Ce modèle d'aide multicritère à la décision, développé notamment par Roy (1985), permet une meilleure prise en compte des préoccupations et des valeurs des acteurs lors de l'évaluation des impacts sociaux et naturels des projets. L'aide à la décision contribue à construire, à asseoir et à faire partager des convictions. C'est pourquoi l'objet de la démarche ne consiste pas à déterminer la meilleure solution, mais bien plus à construire un ensemble de solutions susceptibles de rallier une majorité d'acteurs (Coté et Waaub, 2000). Hartog et al. (1989) procèdent à une comparaison de trois différentes méthodes statistiques de MCDA (la méthode Hinloopen-Nijkamp, la méthode Israels-Keller et la méthode d'interprétation numérique), appliquées au choix du site optimal pour la construction d'une usine nucléaire. Hormis les inévitables différences obtenues dans cette analyse de sensibilité, ils concluent finalement que ces trois méthodes permettent d'obtenir des résultats très semblables et stables, surtout en ce qui à trait au classement des différentes alternatives étudiées.

2.1.3- Méthodologies de l'analyse multicritère

La littérature sur les problèmes d'analyse multicritère relatifs aux systèmes d'aide à la décision en génie est généralement divisée en deux approches : l'analyse multicritère de l'utilité (Thurston, 1991) et l'analyse à partir de conditions floues²⁵ (Jothi et al., 1991; Carnaban et al., 1994). La première approche requiert de chaque critère qu'il soit représenté de façon quantitative alors que la seconde n'a pas besoin de cette évaluation précise de la part des évaluateurs (Wang, 2001). Elle permet de décrire la performance de chaque critère avec certains termes linguistiques (tels que « bon », « pauvre », « très bon », etc.) ou grâce à des numéros (numéros réels à l'intérieur d'un intervalle de différents degrés). C'est de cette dernière approche que s'inspire l'étude présentée ici.

Quatre phases distinctes peuvent être identifiées dans l'analyse multicritère (Barba et al., 1997) : la première, la **recompilation de l'information**, correspond à l'obtention de

²⁴ Multi-Criteria Decision Analysis.

²⁵ Fuzzy set analysis, en anglais.

données par rapport aux critères et aux alternatives existantes pour trouver une solution au problème.

La seconde phase correspond au **design** qui consiste en la détermination précise des critères et de ses échelles de mesure, ainsi qu'en la construction complète de l'ensemble d'élection, c'est-à-dire les alternatives, avec ses évaluations respectives pour chacun des critères préfixés.

La **sélection** - troisième phase – est le processus qui aboutit au choix d'une alternative, même s'il est fréquent que l'élection définitive se produise de façon indépendante de l'analyse même, à des moments et au niveau d'instances qui se trouvent en dehors du champ d'analyse multicritère et de ses experts.

En ce qui concerne la **révision** des décisions, quatrième phase de l'analyse multicritère, il est très rare que se mette en place une étude formelle (Barba et al., 1997), même si cette étape existe dans l'esprit des décideurs.

Sixto et al. (1989) expliquent le schéma qui décrit les éléments et phases d'un problème de décision de la façon suivante :

1. Un *décideur* ou *unité de décision* formé par un ensemble d'individus intéressés dans la problématique qui, grâce à des moyens appropriés de conseil scientifique et informatique doit choisir entre :
2. Les *alternatives* ou *décisions possibles* préalablement identifiées.
3. Un *environnement* ou *contexte de la situation de décision* : un *état de l'environnement* ou *de la nature* est un ensemble de caractéristiques qui définissent parfaitement la situation de décision en ce qui se réfère au monde extérieur. Tel environnement peut être de certitude, aléatoire, d'incertitude total ou partiel, de concurrence, etc.
4. Un *système de relations* qui permet d'assigner à chaque alternative et à chaque état un *résultat* ou *conséquence* bien défini. Chacun de ces résultats se définit par certaines mesures (attributs) qui sont en relation avec les objectifs du décideur.

Chacune de ces mesures se définit par une application ou échelle qui indique le degré avec lequel l'objectif correspondant est atteint.

5. L'ensemble Z d'éléments z s'appelle *l'espace de résultats* ou d'*objectifs*. On observe que l'espace de résultats peut être donné explicitement ou bien défini implicitement par un *système de relations et restrictions* qui apparaissent dans l'énoncé du modèle mathématique du système.
6. On considère comme ingrédient essentiel pour l'existence d'un problème de décision que l'unité de décision ait au moins deux alternatives pour obtenir la meilleure solution possible en relation avec ses objectifs.
7. La formulation précise du *critère final* du problème, qui peut être également la nécessité de trouver la décision qui optimise un critère global, ou bien sélectionner un ensemble de décisions acceptables.
8. *L'implantation* de la solution impliquera un ensemble d'aptitudes pratiques pour comparer ses conséquences avec la situation antérieure et autres solutions possibles.
9. Chaque méthodologie a des requis de données et d'informations qui devront être obtenus de l'environnement ou du décideur, et ceci implique une *méthodologie d'assignation appropriée*.
10. Une phase importante consiste en la *validation* du modèle, qui fait référence à l'établissement d'une série de preuves ou vérifications expérimentales et de cohérence qui permettent d'arriver à la conviction de que le modèle qui va être utilisé répond aux buts initiaux. Cette validation peut s'obtenir par une analyse de sensibilité des résultats.

2.1.4- Ensemble d'élection

Les décideurs (ou unités de décision) doivent exercer leur choix par rapport à un nombre fini d'alternatives. L'ensemble de ces alternatives sera désigné comme ensemble d'élection. Dans chaque cas concret, ces alternatives seront des projets, candidats,

emplacements, plans, etc. entre lesquels il faudra choisir. Sauf indication contraire, les alternatives devront être *différentes, exclusives et exhaustives* (Barba et al., 1997).

Une fois la matrice d'alternatives – critères remplie avec les valeurs réelles, il est possible de s'apercevoir qu'une des alternatives est moins bonne que les autres pour tous les critères. On dit de cette dernière qu'elle n'est pas un **Optimum de Pareto**. Maintenant, en examinant les autres alternatives, on s'aperçoit qu'aucune de celles qui restent ne domine l'autre : on dit alors d'elles qu'elles forment des Projets **Optimums de Pareto** (Barba et al., 1997).

2.1.5- Attributs et critères

Afin de mener à bien le choix au sein de l'ensemble d'élection, il est admis que le décideur possède plusieurs axes d'évaluation. Par exemple, le prix, la qualité, l'esthétique, la solidité, etc. Ces axes d'évaluation sont les caractéristiques des alternatives, raison pour lesquelles on les appelle **attributs**. Lorsqu'on rajoute à ces derniers un minimum d'information relative aux préférences du décideur, ces attributs se convertissent en **critères**. Dit d'une autre façon, un critère exprime, avec plus ou moins de précision, les préférences du décideur par rapport à un certain attribut (Barba et al., 1997).

Les critères peuvent se présenter de deux façons distinctes : les critères quantitatifs, ceux qui s'expriment numériquement, en termes de coûts, de pourcentages, vitesses, etc. ; et les critères dits qualitatifs pour lesquels il n'existe pas d'unité canonique de mesure, comme cela peut être le cas de l'image corporative, le risque social, la qualité, etc.

Enfin, pour des raisons pratiques, il est souhaitable de restreindre le nombre de paramètres à calibrer dans le but de réduire les erreurs qui peuvent s'accumuler durant l'analyse informatique des résultats (Bastidas et al., 1999).

2.1.6- Fonctions de transformation et fonctions d'utilité

Barba et al. (1997) proposent une définition de la fonction de transformation : la fonction de transformation consiste en la détermination de la relation existante entre les valeurs

que peuvent prendre les indicateurs ou critères et la qualité du facteur étudié. Elle permet donc la comparaison entre différentes alternatives, à partir d'éléments hétérogènes, à l'origine de type numériques et non numériques. Dans le cas de projets concrets, où un décideur doit évaluer différentes alternatives en fonction d'un certain nombre de critères quantitatifs (coûts réels, pourcentages, nombre d'années, etc.) et qualitatifs (bon, mauvais, faible, moyen, etc.), il est utile de choisir une échelle qui puisse traduire ces derniers à des valeurs numériques en respectant l'ordre du meilleur au pire. La sélection d'une échelle adéquate est un sujet délicat qui peut avoir des répercussions dans le résultat final (Climaco, 1997).

L'utilité exprime les préférences psychologiques réelles du décideur. Elle peut être de deux ordres : ordinale ou cardinale. Une fonction d'utilité est ordinale lorsqu'elle n'indique rien d'autre que l'ordre de préférence du décideur. Une fonction d'utilité est dite cardinale lorsque, en plus de respecter l'ordre des préférences, elle donne des indications sur les différences.

La notion d'utilité cardinale est exigeante et la situation devient complexe s'il s'agit de critères qualitatifs ou quantitatifs (Barba et al., 1997). Dans ce dernier cas, il est important de ne pas confondre la mesure naturelle avec l'utilité. Exemple : une famille est à la recherche d'un appartement dont la dimension idéale est de 125 m². L'utilité sera maximale pour cette surface et sera décroissante au fur et à mesure que l'on s'éloigne de cette valeur ; on obtient ainsi un diagramme en cloche et l'on s'apercevra qu'il n'existe pas de relation directe linéaire entre la surface et l'utilité. Cependant, l'utilité cardinale va plus loin encore que cette « mesure de l'intensité de la préférence psychologique », étant donné qu'elle permet également de mesurer les différences de préférences, que certains auteurs appellent fonction de valeur.

Il est important de mentionner ici que dans le cas de l'utilité cardinale, l'analyste devra être beaucoup plus exigeant par rapport à la qualité de l'information obtenue et le décideur devra être parfaitement informé sur l'échelle à utiliser et les valeurs à donner.

2.1.7- Matrice de décision

Si l'on admet que le décideur est capable de donner, pour chacun des attributs concernés et pour chaque alternative de l'ensemble d'élection, une valeur numérique qui exprime une évaluation d'une alternative par rapport à un attribut, alors il est possible de créer la matrice de décision (l'attribut sera, selon les cas, une note ou un prix ou une appréciation du type « bon », « mauvais », etc.).

2.2- Analyse de la valeur et analyse fonctionnelle

L'analyse de la valeur est née vers la fin de la seconde guerre mondiale aux Etats Unis, et trouve son origine de la confrontation des impératifs, pour les entreprises, de réduire les prix de revient tout en respectant les besoins du marché en ce qui concerne la qualité des produits développés et leur performance (Lachnitt, 1980). L'innovation de cette méthodologie tient dans la remise en cause de la conception des produits, en s'attachant à considérer les fonctions que doit remplir le produit et à la manière dont est obtenue la satisfaction de ces fonctions. L'analyse de la valeur est donc un processus de travail dont l'objectif est de trouver le compromis optimal entre le coût et les fonctions d'un produit, tout en assurant un niveau de qualité nécessaire et suffisant.

La méthodologie de l'analyse de la valeur permet de comparer différents éléments (comme le coût, la fonctionnalité, etc.) en fonction d'une échelle unique, et l'analyse fonctionnelle consiste en l'identification des fonctions à rencontrer pour satisfaire un objectif. Par exemple, Tiwari et al. (1999) utilisent dans leur étude le principe de l'analyse fonctionnelle pour la détermination des critères du développement durable, ces critères s'exprimant à l'origine en fonction d'unités de mesure différentes. A partir d'une finalité ou objectif principal, ils décrivent un certain nombre de fonctions sous jacentes, qui se divisent elles mêmes en d'autres sous fonctions, et ainsi de suite jusqu'à l'obtention de critères. Par la suite, le regroupement logique de ces derniers leur permettent de déterminer un ensemble d'alternatives ou scénarios, ces derniers étant tous liés à un ou plusieurs critères.

L'analyse fonctionnelle repose sur l'élaboration des fonctions de base selon différents niveaux à partir des critères d'importance et de leurs interactions. Ceci permet de réaliser un graphique fonctionnel présentant la hiérarchisation des fonctions entre le besoin et les solutions proposées (Hausler et al., 1994).

2.3- Analyse de la satisfaction

L'analyse de la satisfaction a surtout été utilisée dans les pratiques de gestion et marketing, et plus spécifiquement dans l'analyse de la loyauté d'un client vis-à-vis une marque. La mesure de satisfaction d'un usager est considérée nécessaire par de nombreuses méthodes et techniques, et des recherches extensives ont défini en détail différents processus de comportement du consommateur (Engel et al., 1978). Par ailleurs, Siskos et al. (1998) avertissent que les méthodes statistiques classiques ne leur semblent pas applicables pour mesurer la satisfaction étant donné l'aspect qualitatif des préférences des consommateurs. C'est pourquoi les auteurs mentionnent d'autres outils statistiques basés sur l'analyse des données catégorielles, tels que les modèles log-linéaires (Hanushek et al., 1977) et analyse logit (Agresh, 1990), développés pour résoudre le problème mentionné auparavant. Les modèles log-linéaires décrivent des patrons d'association sur des variables catégorielles et le modèle logit est équivalent au modèle log-linéaire pour des tables de contingence multipistes. Les techniques d'analyse de données ont été également appliquées à la mesure de la satisfaction du client (Green et al., 1973): chaque évaluateur reçoit un jeu de profils de produits et évalue chaque profil en fonction de ses préférences ou probabilités d'achat.

Hausler et al. (1994) utilisent la méthodologie de l'analyse de la satisfaction, comme approche pour le choix d'une technologie d'épuration des eaux. Les solutions proposées se présentent par ordre croissant de niveaux de satisfaction à moindre coût. Les étapes de l'analyse de la satisfaction présentées par Hausler et al. (1994) passent par l'identification des besoins, par une analyse fonctionnelle et par une évaluation des solutions proposées selon des critères d'évaluation. Après avoir obtenu par consensus la pondération des critères, les auteurs invitent les intervenants à assigner pour chaque critère les gains apportés par chacune des solutions selon une échelle de 0 à 10, où 10

correspond au gain maximal. Le niveau de satisfaction d'un critère est obtenu en multipliant la pondération des critères par le gain apporté. La sommation des résultats obtenus pour chacune des solutions permet rapidement un classement des solutions par ordre croissant d'intérêt.

Une autre approche de la mesure de la satisfaction consiste en l'analyse des données d'un questionnaire en utilisant des outils graphiques simples tels que les histogrammes et les points de probabilités (Dendy et al., 1990). Cette méthode considère la différence entre les scores pour le « meilleur » critère et le critère « réel » en tant qu'indicateur de satisfaction du consommateur.

Siskos et al. (1998) présentent un nouveau modèle afin d'évaluer la satisfaction d'utilisateurs, basé sur les principes de l'analyse multicritère, et utilisant les techniques de régression ordinale. Ce modèle fournit des fonctions de satisfaction globales et partiales ainsi que des indices moyens de satisfaction. Selon les auteurs, ces indices sont suffisants pour décrire l'opinion de l'utilisateur et peuvent être utilisés dans la planification stratégique d'une organisation. L'objectif principal du travail présenté par ces auteurs est de présenter un modèle de désagrégation multicritère dans le but de construire une fonction mathématique représentant le critère de satisfaction du client. En ce sens, la méthodologie utilisée est semblable à une technique Delphi : développement du questionnaire, enquête, mise en place du modèle, analyse de sensibilité sur les pondérations et les indices de satisfaction moyennes, analyse du comportement du client et planification stratégique.

2.4- La méthode DELPHI

2.4.1- Définitions et antécédents

La méthode Delphi est une stratégie visant la recherche de consensus (Höjer, 1998). Elle a été créée par la Rand Corporation comme une technique alternative aux méthodes de prospection existantes dans les années cinquante. La technique employée consiste en l'utilisation de l'opinion d'experts de façon anonyme, avec pour objectif celui d'obtenir un consensus d'opinion qui soit le plus fiable possible à partir de l'utilisation d'une série de

questionnaires proportionnés de façon successive aux experts, en tant que feed-back contrôle de l'opinion. En résumé, cette méthode Delphi a été élaborée afin de surmonter la difficulté relative à l'intégration simultanée d'experts provenant de différentes disciplines.

Cette méthode fut révélée en 1963, et elle a démontré depuis son grand champ d'application (Dalkey et al., 1969) : en politique, dans l'administration, dans les forces armées, en matières sociales et technologiques, dans l'industrie, dans les organismes publics pour les programmes de planification (santé, éducation, urbanisme), etc.

Cette technique est citée fréquemment dans la littérature sur la planification, et amplement recommandée dans les manuels sur les évaluations des études d'impact (Canter, 1997; Henry et al., 1999). Malheureusement, ces manuels se concentrent sur une description brève de la technique Delphi et ne mentionnent pas son application à des cas dans le domaine des études d'impact. La seule exception rencontrée concerne un travail de Mohorjy (1997) qui appliqua la technique Delphi pour aborder un problème de gestion des eaux résiduelles dans la ville de Jeddah, en Arabie Saoudite. L'objectif de cette recherche consistait à identifier et valoriser les impacts produits par la mauvaise gestion de ces eaux résiduelles. La méthodologie utilisée fut la suivante : 1) sélectionner le groupe d'experts participants; 2) faire une prédiction d'impacts, en utilisant Delphi; 3) valoriser et interpréter les impacts prévus, en utilisant Delphi; et 4) par le biais d'un forum de discussion, arriver à un consensus sur la signification de l'importance de ces impacts.

Masser *et al.* (1992) ont utilisé la technique Delphi pour étudier trois différents scénarios de la géographie de l'Europe. Elle a été également utilisée afin d'estimer le potentiel des télématiques du transport dans le but d'améliorer leur sécurité (Hyden, 1995). Enfin, Höjer (1998), dans son travail sur le transport dans les systèmes urbains, préconise l'utilisation de la méthode DELPHI dans la mesure où elle permet de fournir de l'information qui peut être utilisée lorsque la formulation de règlements publics concernant le développement du transport est requise.

2.4.2- Méthodologie de la technique Delphi

Selon Dalkey et al. (1969), la technique DELPHI constitue une méthodologie idéale lorsque la meilleure information disponible sur laquelle peut se baser une décision réside

dans le jugement d'un groupe d'experts. Ou encore lorsqu'il y a carence d'information suffisante, fiable et actualisée. En général, les procédures consistent en l'obtention de réponses individuelles à des questions pré formulées, que ce soit sous forme de questionnaire ou tout autre forme de technique de communication. Ensuite, il est nécessaire de répéter le questionnaire une ou plusieurs fois, selon la précision et le consensus obtenu dans les réponses antérieures. Enfin, les résultats obtenus permettent de formuler des statistiques pour la réponse ou choix final.

Turoff (1970) mentionne cinq objectifs possibles pour des exercices Delphi :

- Pour déterminer ou développer des alternatives;
- Pour explorer ou exposer des suppositions sous jacentes qui amènent à différents jugements;
- Pour rechercher de l'information qui peut amener à un consensus;
- Pour corrélérer différents jugements émis par un large éventail de disciplines;
- Pour éduquer un groupe d'experts sur les différents aspects d'un sujet spécifique.

Ce même auteur repère quatre situations différentes où la technique Delphi présente des avantages par rapport à d'autres alternatives :

- Pour améliorer le processus de communication dans un problème complexe à résoudre au sein d'un groupe d'experts;
- Lorsque le problème est d'une telle ampleur qu'il est nécessaire d'inviter à un nombre plus grand d'experts, qui ne pourraient pas participer efficacement à une plénière;
- Lorsque les intérêts sont si distincts et les désaccords si grands entre experts qu'il n'est pas possible de faire autrement;
- Lorsque le temps est limité ou les distances grandes entre experts, ce qui empêche les réunions fréquentes du groupe.

L'idée originale concernant la répétition d'une ou plusieurs missions de consultation consiste principalement à demander aux experts dont l'évaluation se trouvait en dehors des limites préalablement fixées pour l'obtention du consensus, de revenir sur leur décision ou de justifier leur réponse. Cette façon permettrait d'affiner la description des

scénarios, et donc de pouvoir améliorer l'évaluation des experts sur la faisabilité des scénarios et sur les effets à long terme

Höjer (1998) a appliqué la technique Delphi en deux étapes. Après une première évaluation, les formulaires ont été analysés et un nouveau questionnaire, avec des scénarios reformulés, a été envoyé à nouveau aux évaluateurs. Toutes les descriptions de scénarios répondaient à la même structure. Ils commençaient par quelques lignes sur les idées basiques décrivant le scénario et continuaient avec la description du fonctionnement de certaines caractéristiques majeures et des exemples concrets. Ils terminaient tous avec une liste des fonctions les plus importantes contenues dans le scénario.

A ce sujet, Dalkey et al. (1969) insistent sur l'importance qui doit être accordée à l'information proportionnée aux futurs évaluateurs, non seulement dans le but de fournir les éléments propres et nécessaires à l'évaluation, mais également afin de mettre en place des « barrières » ou « gardes fous » et ainsi restreindre l'amplitude des réponses possibles et donc d'arriver plus rapidement à un consensus. En d'autres termes, « *soumettre les évaluations à la réalité connue de la problématique* ». Ils n'écartent donc pas l'importance de la retro-alimentation et, au contraire, l'incluent de fait dans le principe même permettant d'améliorer la précision des réponses.

Certains auteurs préconisent, pour valider la méthode, de vérifier l'influence due aux antécédents socioculturels des experts ainsi que la représentativité des réponses (Höjer, 1998). En d'autres termes, si certains groupes d'experts favorisaient certains types de scénario. Il a demandé aux experts de répondre à certaines questions telles que âge, sexe, éducation, pays d'origine, lieu de travail, champ d'activité et mode de transport pour aller au travail. Ces facteurs socioculturels ont été ensuite pris en compte lors de l'analyse des résultats. Cependant, son étude en particulier n'a pas permis de déceler de corrélation majeure entre ces deux éléments.

Certaines techniques Delphi utilisent, plutôt que la médiane, un intervalle comme mesure de tendance centrale (Hsu, 1999). Si l'opinion d'un expert ne se trouve pas dans cet intervalle, il lui est demandé de revoir son opinion. Cette dernière est révisée autant de fois qu'il est nécessaire, jusqu'à ce que la totalité des opinions se trouve incluse dans cet

intervalle. Après quoi, toujours selon cet auteur, il est possible de conclure à un consensus.

2.4.3- Détermination des critères et alternatives

Selon Roy (1985), une famille de critères est cohérente si elle satisfait aux trois propriétés suivantes :

- *Exhaustivité*

Aucun attribut n'a été oublié qui permette de faire une discrimination entre les alternatives. Plus précisément, une famille de critère sera dite exhaustive s'il n'existe pas de paire d'alternatives (a, a') équivalente selon tous les critères de la famille, telles que le décideur puisse sans aucun doute affirmer que $a > a'$ ou $a' > a$. Ceci indiquerait que le décideur possède un critère de décision qui n'a pas été pris en considération.

- *Cohérence*

Les préférences globales du décideur sont cohérentes avec les préférences selon chaque critère. Ceci veut dire que si a et b sont deux alternatives indifférentes pour le décideur (en particulier si elles ont la même évaluation par rapport à chaque critère) alors l'amélioration de a selon un critère ou la détérioration de b selon un autre critère, entraîne pour le décideur que $a > b$.

- *Non redondance*

Une famille de critère qui vérifie les propriétés d'exhaustivité et de cohérence est non redondante si la suppression de seulement un des critères provoque que la famille restante ne satisfasse plus les exigences de cohérence et d'exhaustivité.

Des trois propriétés antérieures, c'est celle de l'exhaustivité qui doit être la première préoccupation de l'analyste. En effet, il est important durant les conversations avec le décideur d'observer si les critères définis recombilent adéquatement les attributs réellement importants dans la décision. La propriété de cohérence s'accomplit généralement si le décideur est rationnel, question difficile étant donné qu'elle suppose une bonne connaissance des préférences globales du décideur. Or, c'est justement en

raison de la difficulté d'exprimer ces préférences que se décide généralement l'utilisation de l'étude multicritère.

La propriété de non redondance est désirable, mais non obligatoire, et les inconvénients résultants de son absence sont discutables (Roy, 1985). En réalité, le plus grand risque de la redondance réside en la possibilité de donner une importance trop grande à un critère sans avertir qu'il intervient deux fois sous des formes plus ou moins semblables.

Enfin, Barba et al. (1997) observent que le concept d'indépendance (dans le sens statistique) entre les critères n'est pas pertinent. Il est en effet très rare qu'il n'y ait pas de corrélation entre les critères. Dans les problèmes concrets, il existe des relations naturelles souvent inévitables entre ces derniers. On peut penser, par exemple, aux relations entre qualité et prix. Le choix des critères doit obéir essentiellement à des considérations descriptives si l'on a affaire à un seul décideur, ou alors à des considérations dictées par la nature du conflit si l'on se trouve dans un contexte de négociation. Dans le premier cas, les critères doivent prendre en compte les dimensions que le décideur considère pertinente et qu'il est capable d'évaluer réellement. Une fois que la famille de critères est exhaustive, l'analyste et le décideur pourront procéder à des regroupements provisoires de façon à calibrer la pondération et éviter la survalorisation d'un groupe de critères plus ou moins fortement corrélés. Dans un contexte de négociation, les critères doivent être représentatifs des groupes d'intérêt impliqués.

Brugha (1997) propose les grandes lignes méthodologiques qui permettent la détermination de la structure en arbre²⁶ des critères, dont l'analyse fonctionnelle fait partie. En l'occurrence, elle suggère que les critères soient inclus dans la matrice décisionnelle en fonction de leur importance dans le choix entre différentes alternatives. Elle montre que les relations liant les différentes fonctions de l'analyse fonctionnelle peuvent entraîner des différences notables dans les résultats. Malyon et al. (2000) suggèrent quant à eux l'application d'une méthode cognitive pour la détermination de la structure en arbre des critères.

Finalement, dans le choix des critères, Barba et al. (1997) mettent en garde le décideur sur le nombre de critères qui seront utilisés. Il faut se rappeler que les capacités cognitives

²⁶ Tree structure en anglais.

limitées du cerveau humain font qu'il devient extrêmement difficile de comparer des vecteurs de plus de 6 ou 7 composantes, donc des alternatives selon de plus de 6 ou 7 critères. S'il était nécessaire d'en utiliser un plus grand nombre, cette difficulté peut être contournée en les regroupant en structures hiérarchiques. Ces auteurs suggèrent dans ce cas précis de ne pas excéder le nombre de 25 critères, chiffre atteint mais non dépassé dans l'étude présentée ici.

En ce qui concerne le choix des alternatives, ou scénarios, il peut se faire selon différentes méthodes, dont la plus simple revient à demander leur opinion aux experts (Coté et Waaub, 2000). Le choix dépend dans une grande mesure du contexte et du type de problématique traitée. En effet, il se fera différemment s'il s'agit de l'optimisation d'un produit ou des possibilités de tracé d'une nouvelle infrastructure routière. A ce propos, Brugha (1997) insiste sur l'importance qui doit être accordée aux différences qualitatives existantes entre les scénarios étudiés, source d'avenues intéressantes à la détermination et compréhension des critères.

Sauf indication contraire, les alternatives devront être de préférence *différentes, exclusives* et *exhaustives* (Barba et al., 1997). Les Systèmes Informatiques d'Aide à la Décision (SIAD) peuvent aider à la conformation des alternatives, mais le plus important consiste en la création de nouvelles alternatives, qu'elles soient ex-nihilo, ou à partir d'alternatives ou critères existants.

2.4.4- Détermination des pondérations

Il est très courant que certains critères aient pour le décideur une importance supérieure à d'autres. On appelle poids ou pondérations ces mesures de l'importance relative que les critères ont pour les décideurs. **La matrice de décision, avec le vecteur de poids, constitue toute l'information nécessaire, en principe, pour « résoudre » le problème de la décision multicritère depuis l'optique des méthodes sans information progressive (Sixto et al., 1989).**

Il existe différentes méthodes d'assignation directe des pondérations, dont la principale et la plus simple consiste à demander aux décideurs de donner un poids à chacun de ces critères, indépendamment des alternatives (Tiwari et al., 1999). Cette option présente les

avantages évidents de la simplicité et, théoriquement, est consistante avec l'idée de laisser au décideur le contrôle total du choix postérieur d'une alternative par rapport à une autre. Ces évaluations ne sont pas exemptes d'une certaine subjectivité, due entre autres aux conditionnements initiaux, aux intérêts en jeu, aux inerties psychologiques du décideur, qui peuvent amener à des aveuglements dangereux et inconsistants dans ce type de méthode. Côté et Waaub (2000) préconisent que ce soient les experts qui pondèrent les critères. Une telle pondération garantit la richesse de la démarche multi-acteurs et la possibilité d'identifier les convergences et divergences d'opinion des évaluateurs sur les solutions à adopter dans le cadre d'une controverse environnementale. Kaymak et al. (1998) présentent quant à eux une méthode systématisée d'assignation indirecte des pondérations, reposant sur le fait que les poids des critères sont interprétés comme des facteurs influençant la sensibilité de la décision fonction du critère correspondant. Par exemple, Tiwari et al. (1999) procèdent en plusieurs étapes : ils assignent tout d'abord un poids équivalent à tous les critères puis proposent trois autres options dans lesquelles ils donnent une priorité particulière à l'un des trois groupes de critères relatifs au développement durable.

Barba et al. (1997) suggèrent dans des situations complexes de conflits d'intérêts la double assignation (directe et indirecte) : l'utilisation de la méthode simple et directe d'assignation des pondérations, qui peut être éventuellement complétée par une méthode d'assignation indirecte à partir de comparaisons d'alternatives, comme c'est le cas du calcul de l'entropie. Surtout, ces auteurs insistent sur le fait que les résultats contrastés dus à la complexité relative dans l'assignation des pondérations, peuvent être assez facilement compensés par une bonne analyse de la sensibilité qui démontre la robustesse du classement obtenu face à des faibles variations de poids.

Une fois la matrice des pondérations élaborée, la méthode – très amplement utilisée - de la **somme pondérée** (linéaire), peut être avantageusement employée. Sa principale vertu est d'être très intuitive et simple d'application.

2.4.5- Choix et taille du groupe d'expert

Par expert, il est entendu tout secteur socio-économique ou groupe d'intérêt impliqué dans la gestion ou planification des ressources (Malczewski et al., 1997). Le choix des experts

dans la méthodologie traditionnelle Delphi peut être une étape cruciale dans le déroulement du projet et peut avoir un impact important dans le processus de décision, tant dans la valorisation des différentes alternatives qui leur sont soumis, que dans le classement final des scénarios entre eux (Lockett et al., 1997).

Pour cette raison, Tiwari et al. (1999) incorporent les perceptions de la population locale, ainsi que leurs préférences, en procédant en deux étapes : ils convoquent tout d'abord 18 experts choisis au hasard afin de les informer sur l'objectif du projet, les critères et sous critères du développement durable et comment ils peuvent participer au processus de prise de décision. Par la suite, une fois informés du processus à suivre, des interviews personnalisés sont organisées et les réponses vérifiées en leur demandant ce qu'ils voulaient dire par rapport à une réponse particulière.

Dalkey et al. (1969) font référence au nombre de personnes qui – idéalement – devraient participer à ces entrevues d'experts, et proposent une relation entre le nombre de personnes et l'erreur moyenne, laquelle diminue logiquement avec le nombre croissant de participants. Ces auteurs constatent que, au-delà de 30 évaluateurs, l'erreur relative ne diminue plus significativement, et que dès qu'il existe un minimum de 10 experts, cette erreur peut être considérée comme acceptable.

2.4.6- Critique de la technique Delphi

La technique Delphi utilisée dans les années 1960 et 1970 a été critiquée, entre autres, par Asplund (1979), Sackman (1974), Höjer, (1998), Chakravarti et al. (1998) et Keeney et al. (2000). Leur critique est surtout dirigée sur l'application de cette méthode pour procéder à des prévisions ou prédictions sur le développement possible de telle ou telle technique, et moins sur le choix concerté d'une certaine stratégie par rapport à une problématique complexe.

Par exemple, Rauch (1979) a montré dans son article sur le futur de l'information scientifique et le système de documentation en Autriche, qu'il avait intentionnellement réussi à faire dire aux experts ce qu'il voulait qu'ils disent, en biaisant un ensemble de facteurs initiaux propres à la technique Delphi, qui va du choix des experts à la méthodologie d'analyse des données. A l'inverse, en ce qui concerne les performances

des méthodes de conférence, Riggs (1983) conclut que la technique Delphi dépasse de loin ces dernières en ce qui concerne la fiabilité pour des prévisions à long terme.

Hsu (1999) relève cinq faiblesses de la technique Delphi :

1. Le processus d'itération requiert beaucoup de temps;
2. C'est une méthode coûteuse;
3. Il s'agit d'un concept à la logique binaire : les valeurs en dehors de la mesure de tendance centrale ou intervalle de tendance centrale sont souvent ignorées, en particulier les opinions extrêmes;
4. Le temps de retour du questionnaire est souvent long;
5. L'opinion des experts est souvent déformée durant le processus itératif de recherche de convergence d'opinion.

Gupta (1996), dans sa révision bibliographique sur plus de vingt années de publications sur la méthode Delphi, met en garde sur les tentations à vouloir modifier cette méthode afin d'aboutir aux objectifs et pronostics que les auteurs désiraient initialement rencontrer. Quaille et al. (1975) regrettent le manque de standardisation qui entraîne des dérives importantes dans de nombreux aspects de procédure, et diminue considérablement la confiance et la validité de cette méthode.

Ces mêmes auteurs reviennent sur la notion d'expert et insistent sur le fait qu'il est difficile de s'assurer de leur impartialité et que ces derniers ont souvent tendance à faire la promotion de leurs propres intérêts. Pour autant, ils suggèrent que les experts proviennent de l'organisation même qui engage le projet utilisant Delphi, ou alors de les rétribuer généreusement, à condition qu'ils fassent la preuve de leur haute compétence dans le domaine étudié. Plus important encore, ils notent qu'une des raisons principales qui met en danger la validité de la méthode concerne les pressions exercées sur les experts en vue d'arriver à une convergence d'opinion. Ces considérations sont, selon eux, susceptibles de remettre en cause la capacité de prédiction de la technique Delphi. Woudenberg (1991) va même plus loin. Selon lui, il n'existe aucune preuve soutenant le point de vue selon lequel la méthode Delphi est plus précise que d'autres méthodes de jugement ou que le consensus via Delphi soit atteint grâce à la dissémination de l'information à tous les participants. Au contraire, il constate, selon la révision de littérature sur des applications de Delphi, que le consensus est obtenu en faisant pression sur le

groupe d'expert, et ceci justement parce qu'on leur fournit les réponses statistiques des différentes missions de consultation antérieures.

Dans l'ensemble, c'est la simplicité avec laquelle est menée la technique Delphi, tant dans l'aspect logistique que celui de l'interprétation des données, qui est la meilleure garantie d'une bonne compréhension des problématiques étudiées (Gupta, 1996; Quaile et al., 1975).

2.5- Cas particulier : le développement durable

Malyon et al. (2000) montrent à quel point l'analyse multicritère est adaptée aux situations conflictuelles et entourées d'une grande incertitude sur les données (en l'occurrence, sur l'estimation des ressources en biomasse; bien que Dron (1995) élargisse cette utilité à l'ensemble des problèmes environnementaux). En particulier, le thème de l'environnement et celui du développement durable ont été traités par ces auteurs dans une étude sur la durabilité des ressources piscicoles dans un pays en développement, l'Afrique du Sud. Cet outil a permis d'intégrer dans la prise de décision les secteurs politiques, socio-économiques, éducatifs, syndicaux ainsi que des représentants de l'industrie du poisson, à différents niveaux. A ce sujet, Bender et al. (1997) rapportent que l'analyse multicritère a été amplement utilisée pour évaluer la perception environnementale et Conninck et al. (1999) concluent que le modèle STOPER basé sur une approche de consensus informé a permis d'intégrer efficacement les perceptions sociales d'intervenants clés, tels que les experts, les preneurs de décision, les groupes d'intérêts et les citoyens ordinaires dans des problèmes complexes environnementaux.

Dans son travail, Höjer (1998) fait référence au fait que le système de transport actuel viole les principes du développement durable. La méthode Delphi que cet auteur préconise serait, selon lui, très adaptée puisqu'elle facilite la prise de décision dans un contexte où ce développement implique autant de grandes opportunités que de risques, situation qu'il résume comme complexe et multi variable. La technique Delphi permet de prendre en compte les non utilisateurs directs, dans la mesure où ces derniers peuvent être affectés par les choix futurs. Par ailleurs, le système de transport peut être

raisonnablement décrit par les fonctions qui lui sont inhérentes. Pour autant, en présentant les différentes fonctions dans les possibles scénarios, se présente une vue holistique, orientée vers le problème à sa racine, ce qui, selon l'auteur, est peu commun dans la littérature.

Qureshi et al. (1999) procède à une révision de différents modèles de gestion des ressources naturelles et de l'environnement, avec une attention particulière portée sur les analyses multicritères dont il estime qu'elles sont particulièrement bien adaptées aux problèmes environnementaux, de par leurs complexités tant spatiales que temporelles. Selon ces auteurs, la gestion environnementale est essentiellement un exercice d'analyse de conflit, d'évaluation et d'action, caractérisé par des jugements de valeur politiques, socio-économiques et environnementaux et par un fort niveau de divergence d'intérêts. C'est pour cette raison, qu'en dépit de la pertinence des outils multicritères d'aide à la décision, les solutions sont souvent ambiguës, âprement disputées et rarement claires.

Höjer (1998) utilise des scénarios qui sont formulés comme des descriptions de la façon dont les systèmes technologiques futurs pourraient fonctionner, et comment ils pourraient être utilisés. Pour autant, l'auteur affirme qu'il ne s'agit pas tant de faire des prévisions sur ce que sera le futur des différentes technologies possibles, mais plutôt de construire des scénarios qui peuvent conduire vers un développement plus durable. Dans son article, il mentionne le fait que la « durabilité » d'un système de transport peut être affectée par de nombreux facteurs, comme par exemple le développement de combustibles alternatifs, le développement économique et des transformations dans les structures spatiales. C'est la raison pour laquelle les scénarios présentés ne peuvent en aucun cas se présenter comme des scénarios du développement durable comme tels. Par contre, il est possible d'affirmer que la méthodologie utilisée rend plausible le fait que les scénarios vont contribuer positivement à changer le système de transport vers une direction plus « durable ».

Waub (1993) discute quant à lui sur le concept de développement viable, dont il reprend la définition de Gariépy et al. (1990) : le développement viable vise à répondre aux besoins des générations actuelles et futures et, pour ce faire, à assurer le maintien des conditions écologiques, sociales et économiques nécessaires. Ce paradigme de développement en émergence réclame l'utilisation de nouveaux outils cognitifs. Le

processus de questionnement repose sur plusieurs principes, dont les deux suivants (Waaub, 1993) : il doit s'appuyer sur une vaste gamme d'options et s'inspire de la convergence des intérêts des individus et de la société; il a l'obligation d'intégrer les facteurs économiques, sociaux et environnementaux. En ce sens, les techniques d'analyse multicritère sont parfaitement adaptées à ce type de développement.

Quaddus et al. (2001) constatent que s'il existe une littérature fournie sur les sujets en relation avec le développement durable, elle révèle une carence de prescriptions sur des méthodologies rigoureuses d'applications concrètes, et simples à utiliser. Les auteurs proposent une approche fondée sur le principe de la conférence et sur un modèle multicritère.

Tiwari et al. (1999) constatent que le débat continu sur le développement durable provoque un intérêt toujours croissant pour l'intégration des aspects économiques et environnementaux dans la prise de décision économique et environnementale. Ils développent un cadre de travail qui inclut les critères environnementaux et économiques ainsi que les préférences de la population locale. Dans le cadre de leur étude appliquée aux systèmes d'irrigation en agriculture, ils définissent des critères du développement durable tels que la demande en eau, les coûts environnementaux, le ratio entre intrant et extrant d'énergie. Les critères de durabilité économique sont obtenus par une analyse de coûts bénéfiques, tandis que l'évaluation des critères de durabilité spatiale est obtenue via l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG). Quant à l'intégration de l'opinion des préférences de la population locale, ils procèdent à une enquête de type conférence.

En dépit des désaccords existants en ce qui concerne la définition opérationnelle du développement durable, Tiwari et al. (1999) constatent également qu'il est possible de définir certains critères spécifiques afin d'intégrer les aspects environnementaux et sociaux dans la prise de décision. La méthodologie utilisée à la détermination des critères et des alternatives étudiées repose sur une enquête en deux étapes dirigée à des experts ainsi qu'à la population locale.

2.6- Analyses de la sensibilité

De manière générale, les analyses de sensibilité ont pour objectif de vérifier la robustesse du classement des alternatives étudiées (Bastidas et al., 1999). Qureshi et al. (1999) constatent dans leur article sur la validation des modèles d'analyse multicritère d'aide à la décision qu'étant donné que ces dernières sont différentes des modèles quantitatifs stricts, comme la programmation linéaire ou les modèles de simulation, l'analyse de sensibilité est l'unique forme de test employée pour les modèles d'analyse multicritère.

L'analyse de sensibilité n'est pourtant pas systématiquement réalisée : Qureshi et al. (1999) résumant les procédures de test employées dans des études récentes d'analyse multicritère sur la gestion des ressources naturelles et de l'environnement. A l'exception d'une étude sur les écosystèmes forestiers, aucune des investigations mentionnées n'a entrepris l'ensemble des trois composants des procédures de test, à savoir : vérification, validation et analyse de sensibilité. Sur les 13 exemples relatés, seuls 5 décrivent avoir réalisé une étude de sensibilité des résultats, dont 3 à travers une variation des pondérations, et une seule via une modification des évaluations de critères de plus ou moins 25%.

Les procédures d'analyse de la sensibilité des valeurs obtenues par l'analyse multicritère sont commentées en particulier par Mareschal (1988) pour une gamme nombreuse de méthodes de décision multicritère discrète. Cet auteur parvient à caractériser des intervalles de stabilité des poids, c'est-à-dire le rang de variation possible de chaque poids sans changement dans le classement final²⁷.

De manière générale, les procédures d'analyse de sensibilité permettent de répondre à une ou plusieurs des questions suivantes (du plus facile au plus complexe) :

1. L'ordre change t'il si l'on change les pondérations (ou les paramètres) ?
2. Entre quelles limites peuvent varier les pondérations sans que le classement final ne change ?

²⁷ Certains paquets informatiques, comme le VISA de Belton (1990) sont même spécialement conçus a cet effet.

3. Peut-on obtenir des zones de paramètres qui laissent inchangé le résultat final ?

La plupart des programmes peuvent répondre à la question 1 (Barba et al., 1997), et seuls quelques rares exceptions permettent de répondre aux autres questions. Seul un programme (TRIPLE C) considère la question pertinente suivante²⁸ :

4. «Quelle valeur doit-on donner aux pondérations ou paramètres pour obtenir, si cela est possible, un classement donné ?

Les méthodes d'analyse de sensibilité sont diverses :

- La méthode de distance à une alternative idéale. Cette méthode est basée sur la mesure de la distance séparant les différents scénarios à une alternative théorique idéale, le meilleur scénario étant alors celui dont la distance est la moindre (Bastidas et al., 1999). L'alternative idéale est purement fictive et correspond à une alternative pour laquelle tous les critères sont maximisés (alternative « zénith »).
- Les méthodes de comparaison d'alternatives. Il existe un grand nombre – et toujours croissant – de méthodes de comparaisons d'alternatives, telles la méthode basique de Zionts (1981), la LINMAP de Srinivasan et Shocker (1973), et bien d'autres encore. Généralement, toutes se basent sur un nombre plus ou moins grand de comparaisons globales (ou holistiques) entre paires d'alternatives. Certaines, au contraire, se basent sur des comparaisons critères à critères.
- Les méthodes indirectes. Ces méthodes sont dites indirectes car elles ne concernent pas directement les niveaux d'utilité (Vanderpooten, 1990). Entre celles-ci se trouvent celles qui se réfèrent aux critères, même si en général, ce sont les poids ordinaux ou cardinaux qui varient tout au long du processus interactif. A ce sujet, la méthode MCRID (Multiple Criteria Robust Interactive Decision) de Moskowitz et al. (1991) combine la demande de

²⁸ Cette question, à laquelle il est le plus souvent possible de répondre positivement dans les méthodes cardinales comme la pondération linéaire, est de nature à affaiblir la confiance dans la méthodologie multicritère d'un usager éventuel, raison pour laquelle elle est souvent omise.

poids ordinaux et la comparaison binaire entre les « bonnes alternatives », obtenues par une pondération linéaire dans laquelle les intervalles de poids se déduisent de la première consultation.

Ray et al. (1998) évaluent les classements des différentes alternatives selon le nombre possible d'accords ou désaccords entre parties. Pour ce faire, ils définissent un classement aléatoire idéal ou laissent le preneur de décision donner son propre classement et comparent celui-ci avec les classements obtenus par les experts, en calculant à chaque fois le nombre de concordance entre les critères.

A noter que le programme informatique **DECISION PAD**²⁹ utilise, en plus d'une analyse basique et simple de la satisfaction, une méthodologie pour l'analyse de la sensibilité des résultats, en faisant varier les pondérations. Ce système permet, en prenant un critère à la fois, de changer la pondération autour de la valeur choisie et de recalculer le classement des alternatives. Par exemple, si l'on obtient un poids de 7 pour un critère, le programme recalcule le classement des alternatives pour les poids 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 et 10.

Certains auteurs, comme Wei et al. (2000), procèdent de façon inverse : ils cherchent à déterminer les pondérations idéales qu'il est nécessaire d'assigner aux critères de façon à arriver à une solution au conflit, qui soit acceptée par la majorité. Butler et al. (1997) présentent une méthode basée sur la modification simultanée des poids pour des analyses de sensibilité de grandes dimensions, ce qui génère des résultats qui peuvent être aisément analysés de façon statistique.

Saaty (1980) propose une nouvelle méthode d'analyse, la Analytic Hierarchy Process (AHP), amplement commentée et utilisée dans la littérature, entre autre par Wei et al. (2000), Hurley (2001), Ramanathan (2001) et Malczewski et al. (1997). L'AHP est une méthode intuitive pour formuler et analyser des décisions. Elle consiste à structurer le problème en un modèle hiérarchique et à procéder à des comparaisons par paire d'alternatives afin de déboucher sur une matrice décisionnelle. Une description plus détaillée de l'AHP peut être trouvée dans Saaty (1980 et 2000). Mabin et al. (2001) critiquent cette méthode en lui reprochant d'être une boîte noire, de manquer de

²⁹ Programme conçu par Saaty T.L., et commercialisé par Apian Software, Menlo Park, en Californie, Etats Unis.

transparence et d'être très peu pratique à l'usage et mal acceptée par les experts, de par son hermétisme. Pour autant, ils lui préfèrent de loin le logiciel informatique VISA (Visual Interactive Sensitivity Analysis), également commenté très favorablement dans la littérature, entre autres par Belton et al. (1990) et Daellenbach (1994). Le système VISA permet d'évaluer chaque alternative en fonction de sa performance pour chacun des critères pris individuellement. Des poids sont alors assignés aux critères, et un poids total est calculé par le logiciel en multipliant les pondérations des critères par les scores obtenus pour chaque alternative.

Robinson et al. (1995) élaborent un concept d'analyse de sensibilité en tant qu'outil intrinsèque de prise de décision, en ce sens qu'il contribue à la post-optimisation des résultats. Ces auteurs constatent la grande incertitude qui entoure les préférences des évaluateurs, qu'ils définissent comme « inexactes » et suggèrent de retarder la décision pour considérer une action alternative ou préciser ces préférences inexactes.

Scarelli et al. (1997) regrettent que la très grande majorité des analyses de sensibilité reposent sur des principes mathématiques plus que statistiques. La seule exception rencontrée concerne le travail de Chakravarti et al. (1998) relatif à une analyse Delphi en vue de procéder à des prédictions sur les nouvelles technologies. Ces auteurs utilisent différents paramètres statistiques (médiane, mode et interquartile) afin de caractériser les courbes de réponse des experts et conclure, le cas échéant, à un consensus. Pour que ce dernier soit atteint, les auteurs commencent par éliminer les réponses qui ne se trouvent pas dans un interquartile central de 50%, c'est-à-dire les 25% qui se trouvent en dessous et les 25% qui se trouvent au dessus de cet interquartile central. A partir du moment où, à la suite de plusieurs rondes d'expert, ils obtiennent un mode unique dont la fréquence correspond à au moins 50% de l'échantillon, ils concluent à un consensus.

En conclusion, la littérature insiste sur l'aspect mathématique plus que statistique des analyses de sensibilité, dont l'objectif est de mesurer la robustesse du classement des alternatives à partir de la variation de différents paramètres. L'approche décrite par Chakravarti et al. (1998) présente des similitudes avec celle développée dans ce travail. Cependant, comme il sera montré dans le chapitre 4, le filtre destiné à la caractérisation du type de satisfaction fait appel à un plus large éventail de paramètres et permet une analyse plus fine des résultats. Il n'exclut aucune réponse des experts et tente au

contraire d'intégrer le bruit obtenu par la dispersion des données. Ces analyses impliquent souvent une participation continue et itérative des experts. En ce sens, l'analyse de sensibilité catégorielle présentée ici est une nouvelle approche.

3.- MÉTHODOLOGIE

3.1- Introduction

Il est utile de rappeler ici l'objectif principal de ce travail. Il consiste à élaborer une méthodologie d'analyse de sensibilité catégorielle des résultats obtenus via une analyse de la satisfaction conventionnelle, analyse basée sur les satisfactions clairement exprimées (SCE) des experts. De cette façon, il est possible de connaître non seulement la valeur intrinsèque totale de satisfaction pour chaque scénario étudié, mais également la caractérisation de la dispersion de celle-ci selon les évaluations des différentes catégories d'experts. Il est donc nécessaire de choisir une méthodologie adaptée aux circonstances, à savoir une technique susceptible de déterminer – le cas échéant – ces intervalles de dispersion.

Dans ce chapitre, dont le schéma d'évolution est présenté à la figure 3.1, il sera question uniquement de la méthodologie d'application de la technique DELPHI conventionnelle. Après avoir fait une comparaison rapide entre deux techniques de recherche de compromis, les différentes étapes de la méthodologie DELPHI seront amplement décrites et il sera spécifié quelles doivent être les modifications qui doivent lui être apportées afin d'aboutir à l'objectif du sujet traité ici. Le développement des outils et de la méthodologie de l'analyse de la sensibilité est effectué dans le chapitre 4.

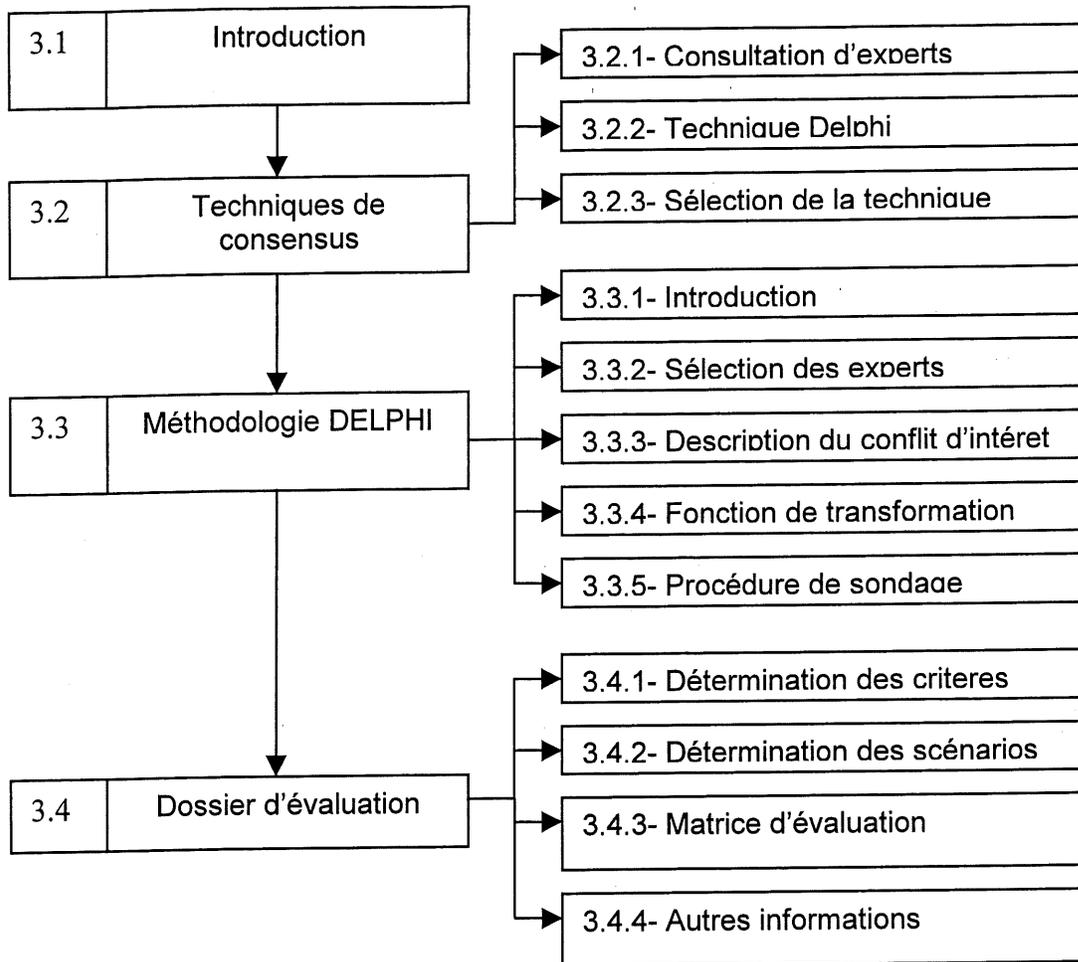


Figure 3.1- Schéma de la méthodologie adoptée.

3.2- Techniques de consensus

Deux techniques distinctes sont présentées ici, avec leurs avantages et inconvénients : le panel de consultation d'experts et la technique DELPHI.

3.2.1- Panel de consultation d'experts

Cette technique est amplement citée dans la littérature, entre autres par Mabin et al. (2001) ainsi que De Coninck et al. (1999) dans leur description du modèle STOPER basé sur une approche de consensus informé.

Ce panel consiste en la réunion d'experts en un lieu et moment déterminés pour débattre sur un thème particulier. Cette réunion est conduite par un modérateur avec un ordre du jour et l'objectif spécifique d'obtenir un consensus.

Cette technique se divise en différentes étapes :

1. Sélection des experts ;
2. Invitation de l'expert en l'informant sur les objectifs et en lui proportionnant toute l'information pertinente pour qu'il puisse se préparer à la réunion ;
3. Selon l'ordre du jour, chaque expert donne son opinion ;
4. Un système de vote est mis en place à partir des opinions formulées ;
5. Traitement de l'information ;
6. Rapport des résultats et réflexions des experts

Les avantages sont les suivants :

- Il s'agit d'une bonne opportunité d'écouter de vive voix l'opinion d'experts avec leurs argumentations respectives et croisées, ce qui permet d'enrichir le débat ;
- Cela rend possible la synthèse de l'opinion de tous les participants au même moment ;
- Un consensus d'opinions peut être obtenu rapidement grâce à la motivation et la participation à la réflexion ;
- Si la réunion est bien organisée et s'est déroulée de façon satisfaisante, il est même possible de procéder à plusieurs missions de consultations d'experts dans la même journée.

Inconvénients :

- Requierd d'une très bonne organisation afin de rassembler, le même jour, tous les experts reconnus comme tels pour participer à une réunion ;
- La participation d'experts dominants, aux attitudes imposantes et protagonistes, peut influencer l'opinion des autres participants ;

- Le rassemblement de plusieurs experts qui présentent des points de vue variés, une participation ambiguë, des tons agressifs, peuvent désorienter les autres membres du panel, d'où le rôle prépondérant – et difficile - du modérateur pour conduire la réunion en accord avec les objectifs préalablement fixés ;
- Requier également d'une équipe de collaboration rapide et efficace dans le traitement de l'information, afin de permettre une rétro alimentation (feed-back) des résultats.

3.2.2- Technique DELPHI

Delphi est également une technique d'analyse de l'opinion de divers experts sur un même sujet. Tel que mentionné auparavant, son objectif est d'obtenir un certain niveau de consensus sur des tendances déterminées, en se basant sur les opinions qualifiées de personnes qui, de par leurs connaissances et/ou expériences, représentent les différents secteurs impliqués dans le sujet étudié. Cette confrontation d'opinions permet donc d'obtenir une vision riche et intégrée (Royo, 1996).

Les caractéristiques principales de la technique Delphi sont au nombre de trois :

1. Anonymat : afin d'éviter que des participants dominants influencent les décisions du reste du groupe, recours est fait à l'anonymat, en utilisant comme moyens de communication les questionnaires et le courrier postal, téléphone, fax et l'internet.
2. Feed-back contrôlé : c'est l'opportunité qu'a l'expert de connaître l'opinion générale du groupe, la finalité étant qu'il ait la possibilité de reconsidérer sa réponse. Les résultats proportionnés consistent fréquemment en la médiane, et parfois en la dispersion des données ainsi que la réponse personnelle de chaque participant de la mission de consultation antérieure. Ainsi, le processus se répète le nombre de fois nécessaire jusqu'à réduire les différences pouvant exister d'une mission de consultation à une autre.

3. Réponse statistique de groupe : l'enquête proportionne des échelles de valeur aux réponses, de façon à permettre le traitement statistique des données. S'agissant d'opinions, Royo (Royo, 1996) suggère l'utilisation de la médiane comme mesure de tendance centrale.

Avantages de la technique Delphi :

- Le processus DELPHI permet à l'expert de connaître l'opinion du reste du groupe (données statistiques) et l'argumentation des opinions globales, ce qui l'amène à la réflexion et, le cas échéant, à la reconsidération de son opinion ;
- Il implique la participation d'experts provenant de différents secteurs, aux intérêts et points de vue divers ;
- Le degré de consensus est d'autant plus élevé qu'il y a plus de missions de consultation, et le degré de convergence est établi par le responsable de l'application de la technique de recherche de consensus.

Inconvénients de la technique Delphi :

- L'information sur les résultats des consultations précédentes a parfois une influence négative sur l'expert. Ce dernier est influencé par les réponses des autres experts et est tenté de s'y ajuster ;
- Le temps entre l'élaboration du dossier d'évaluation et l'obtention, puis traitement des données, peut être très long ;
- L'utilisation de plus d'une campagne de consultation requiert de beaucoup de temps de l'expert, d'où une tendance accrue à la conciliation et à rapidement s'ajuster à une mesure en accord avec le reste du groupe.

3.2.3- Sélection de la technique

Il n'existe pas de technique bonne ou mauvaise : sa sélection doit obéir aux objectifs du travail envisagé et des ressources disponibles pour le mener à bien. Dans un contexte qui sera clairement identifié dans la section 3.3.3 comme dominé par des intérêts fortement divergents, il faut s'attendre à ce que le panel d'experts préfigure une représentation

condensée des conflits et points de vue existants dans la réalité. Par ailleurs, la création d'un panel d'expert, comme celui présenté par exemple dans De Coninck et al. (1999), requiert un niveau d'information adéquat, information pour la plupart du temps inexistante ou peu fiable (voir chapitre 1). Ces réflexions n'avantagent donc guère l'application de la technique de panel d'expert.

D'un autre côté, les résultats obtenus via la technique DELPHI, de par l'anonymat des réponses, paraissent plus à même d'offrir les résultats attendus. Enfin, cette dernière offre la possibilité aux experts de prendre le temps de la réflexion. Ce dernier point, dans un contexte de carence de données, peut se révéler très utile.

3.3- Application de la méthodologie DELPHI

3.3.1- Introduction

La base de la méthodologie proposée dans la présente étude repose sur celle de la méthode Delphi, celle jugée la plus à même d'apporter des réponses objectives dans le contexte décrit de conflit et de carence de données. Pour les besoins du présent travail, les étapes décrites dans la figure 3.2 ont été contemplées.

Il est important de souligner que ce travail ne présentera effectivement que les étapes menant à l'application du questionnaire et à l'analyse des données brutes issues d'une première mission de consultation d'experts. En effet, dans le chapitre suivant sera développée la méthodologie d'analyse de la sensibilité, objet de ce travail, et qui repose sur les résultats d'une seule mission de consultation.

Les sections suivantes décriront l'élaboration des différents outils nécessaires à la mise en place de la technique Delphi traditionnelle, adaptée ici à la recherche d'une solution à la problématique de la quantité de sel dans les effluents des tanneries de l'Etat de Guanajuato.

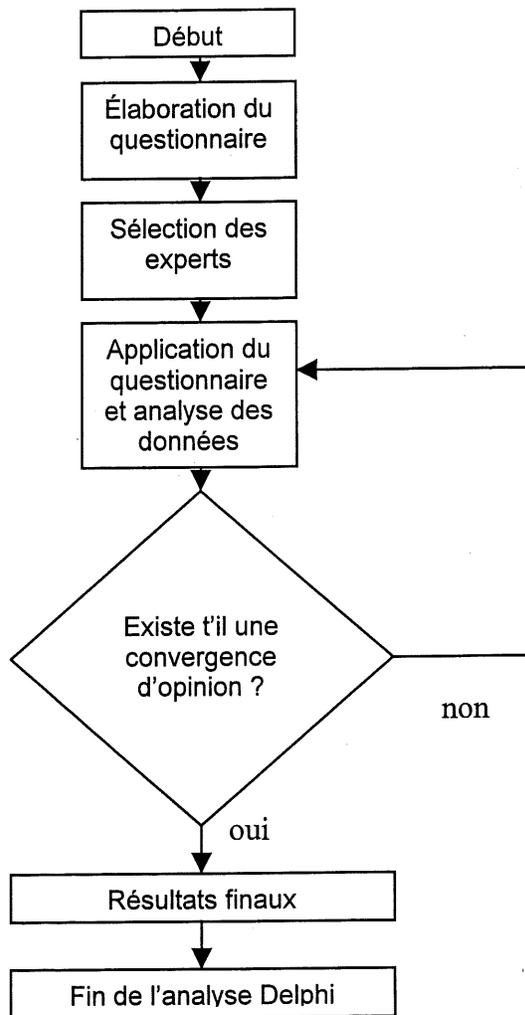


Figure 3.2 : Diagramme méthodologique de la technique DELPHI.

3.3.2- Sélection des experts

Par expert ou groupe d'expert, il est entendu toute personne appartenant à un secteur socio-économique ou groupe d'intérêt impliqué dans une problématique particulière (Malczewski et al., 1997). L'élargissement du concept d'expert à des membres de la société civile tend à assurer que non seulement les utilisateurs directs de l'application d'une solution seront pris en compte, mais également l'ensemble des acteurs impliqués indirectement dans la problématique (Höjer, 1998). Trois groupes distincts d'experts ont

été identifiés dans le cadre du présent travail. Ils constituent l'univers de pertinence, c'est-à-dire l'ensemble de ce qui est en cause dans une controverse (Côté et Waaub, 2000).

1. Les tanneurs sont des personnes occupant un poste dans la hiérarchie d'une entreprise, de façon à posséder une connaissance exhaustive de l'ensemble des problèmes inhérents au développement de leur activité, et qui possèdent également, de par leurs contacts et appartenance à des regroupements ou organisations, une vision générale de l'état du secteur d'activité dans lequel ils se meuvent.
2. Le gouvernement. Les personnes qui le représente sont chargés de la protection et conservation de l'environnement, à ses différents niveaux : fédéral, étatique ou municipal. Elles ont été sélectionnées selon leur fonction et leur rôle dans leurs institutions respectives, mais également lorsqu'elles participent, directement ou indirectement, à la mise en place ou gestion de programmes de régulation, contrôle et éventuellement sanctions des industriels du cuir.
3. La société civile. Le choix des experts issus de ce groupe est plus complexe puisqu'il implique des personnes issues de différents milieux. En effet, ce groupe comprend aussi bien des personnes qui habitent à proximité d'une tannerie, jusqu'à des professeurs d'université qui travaillent ou ont travaillé sur la thématique du tannage. Enfin, cette catégorie inclut également des consultants particuliers, dont le travail s'est développé en relation directe avec les tanneries et des membres d'organisations non gouvernementales, principalement dirigées vers la protection et conservation de l'environnement.

En tout 53 experts ont été sélectionnés pour participer à cette enquête³⁰ : 23 pour le secteur de la société civile (catégorie A), 14 tanneurs (catégorie C) et 16 issus du gouvernement (catégorie G). La sélection du groupe d'experts a été faite aussi en fonction des personnes ressources disponibles pour répondre au questionnaire. En effet, ce dernier étant complexe et exigeant un minimum d'une heure et demie pour être complété convenablement, quelques candidats n'ont pas rempli l'évaluation.

³⁰ Les lettres utilisées proviennent de mots espagnols, d'où leur absence de relation avec les termes en français. La lettre A pour société civile provient de Academia, la lettre C de Curtidores et G signifie Gobierno. Ces lettres seront utilisées dans les figures et tableaux postérieurs faisant référence à ces groupes d'experts.

Il est important de rappeler que le secteur des tanneries mexicaines évolue dans un contexte particulier de carence de données et les experts, surtout les membres du gouvernement et les tanneurs, se sont montrés peu enclins à partager l'information qu'ils possèdent. Les premiers parce qu'il s'agit d'un problème potentiellement conflictuel qui requiert beaucoup de prudence; les seconds parce qu'ils pensaient que cela pourrait donner des avantages compétitifs à leurs concurrents au niveau local, ceci malgré la confidentialité qui leur avait été assurée en leur certifiant que l'anonymat serait respecté scrupuleusement, tel qu'indiqué dans la technique Delphi (Dalkey et al., 1969).

- Catégorie de la société civile (A)

Cette catégorie 23 personnes, dont : 8 professeurs ou chercheurs de centres de recherche, dont le Centre de Recherche et Conseil en Technologie du Cuir (CIATEC) de León spécialisé dans le cuir, 7 voisins immédiats d'un quartier où se trouvent un grand nombre de tanneries (quartier de la « Piscina »), 2 consultants, 1 négociant en produits divers nécessaires à la production des peaux, 1 personne de la chambre de commerce et d'industrie (CANACINTRA³¹), et 4 membres d'organisations écologistes diverses. Toutes ces personnes ont dit posséder une expérience directe avec le secteur des tanneries qui varie de 1 à 18 années, sauf les voisins qui n'ont pas répondu, ou ont avoué n'avoir jamais eu d'expérience directe, mais qui vivent au quotidien les nuisances – mais aussi les bénéfices – de la présence des tanneries dans leur quartier. Leur niveau d'étude va du primaire au doctorat, selon que l'on ait affaire aux chercheurs ou voisins. Sept femmes intègrent cette catégorie.

- Catégorie des tanneurs (C)

Cette catégorie comprend 14 personnes, dont : 5 gérants d'entreprises, 2 personnes chargées de la vente, 3 chargés de production, 1 chargé de l'environnement dans une entreprise, et 3 personnes avec des postes administratifs. Leur expérience de travail fluctue entre 5 et 23 années. Parmi eux, 2 personnes ont fini le primaire, 8 personnes possèdent un baccalauréat, 2 sont ingénieurs et 2 autres n'ont pas souhaité répondre à cette question. Aucune femme n'intègre cette catégorie.

³¹ Chambre Nationale de l'Industrie de la Transformation.

- Catégorie du Gouvernement (G)

Ces experts ont été sélectionnés selon leurs fonctions et leur rôle dans leurs institutions respectives. Leur participation directe ou indirecte à la mise en place et à la gestion de programmes (par exemple régulation, contrôle et éventuellement sanctions des industriels de la peau) a également été prise en compte. Des 12 répondants de cette catégorie, un seul est un membre du gouvernement fédéral du Mexique, les autres étant employés à l'État de Guanajuato. Dans la catégorie Gouvernement, quatre femmes à peine ont répondu au questionnaire dont trois sont des ingénieures chimistes et géologues. Plusieurs hommes ayant des formations en génie civil, chimique, géologique ainsi que des formations en agroforesterie, biotechnologie, océanographie et en environnement ont répondu. Les années d'expériences dans le secteur des tanneries varient de deux à dix ans.

Le secteur des tanneries de la ville de Léon est, comme beaucoup d'autres secteurs au Mexique, caractérisé par une forte influence masculine où la femme ne prend pas une place prépondérante dans la prise de décision ou dans les activités de l'entreprise. De fait, onze femmes sur 53 experts ont répondu au questionnaire, mais on déplore l'absence de celles-ci dans la catégorie des tanneurs. Dans le groupe de la Société Civile (catégorie A), trois femmes représentent le milieu universitaire et quatre le milieu de la société civile, dont trois d'entre elles sont des femmes au foyer et l'une commerçante. Dans la catégorie A, il y a six femmes et dix-sept hommes.

Dans l'ensemble, les 53 experts choisis représentent convenablement l'ensemble des points de vue présents dans la société par rapport à la problématique des tanneries. Pour la moitié au moins d'entre eux, ils se sont montrés réticents à répondre à l'enquête, soit par manque de temps, soit parce qu'ils ne voyaient pas l'utilité de cette démarche. Certains ont été également fortement rebutés par la complexité du questionnaire, ainsi que par la quantité d'information qu'on leur invitait à consulter afin de s'assurer de la

bonne compréhension de la méthodologie de remplissage du questionnaire. De fait, certains se sont tout simplement abstenus de la lire et ont répondu directement.

3.3.3- Description du conflit d'intérêt entre catégories d'expert

La détermination des trois catégories d'expert (tanneurs, gouvernement et société civile) n'est pas le fruit du hasard mais correspond aux trois grands groupes de pression actifs et prenants position dans la problématique traitée ici. En effet, chacun de ces groupes a des intérêts divers et souvent opposés, qui peuvent rendre difficile l'obtention d'une solution (Wei et al., 2000 ; Malyon et al., 2000) :

- le gouvernement, à ses différents niveaux, se doit de créer un cadre juridique plus harmonieux et faire respecter la loi. En ce sens, il ne fait qu'appliquer les indications qui lui ont été imposées le jour où l'Etat mexicain a signé l'entente de libre commerce avec ses partenaires nord américains et européens³².
- Les tanneurs, quant à eux, voient dans l'application immédiate de ces mesures un sujet de grande préoccupation : s'ils sont d'accord, théoriquement, sur la nécessité d'amorcer des initiatives destinées à protéger l'environnement, ils ne veulent pas le faire au préjudice de leur économie. Par ailleurs, ils considèrent que ces mesures doivent obligatoirement s'accompagner d'aides à son application, qu'elles soient d'ordre économique ou technologique. Pour autant, ils résistent fermement à la mise en place de scénarios coûteux et impliquant de profonds changements à leur activité séculaire.
- Quant à la société civile, elle est de mieux en mieux informée sur la situation de dégradation de son environnement, et sur les conséquences potentielles sur sa qualité de vie. Elle est également plus consciente de sa force, résultat d'un processus croissant de démocratisation des instances. Mais si elle s'insurge contre les industriels peu scrupuleux, elle reste perplexe quant aux conséquences de ses propres pressions sur l'emploi dont elle dépend.

³² Voir à cet effet l'article publié par Enviro Canada sur le site : www.naaec.gc.ca/french/anace/anace.htm

La complexité des points de vue antagonistes croît encore lorsqu'il existe, au sein même d'un groupe, une divergence marquée de position : le gouvernement de l'Etat de Guanajuato par exemple, aux compétences établies – et limitées – par les instances fédérales, n'acceptera que de mauvaise grâce l'application de règlements panaméricains lorsque ceux-ci affectent directement la compétitivité de leur propre appareil productif. Les moyennes et grandes entreprises, ayant les moyens et souvent la motivation d'appliquer des mesures de réduction à la source de la pollution – et d'en tirer les bénéfices corrélatifs – feront pression sur les plus petits, qui n'y verront que l'exacerbation de procédures de compétitivité déloyales. L'autre exemple a trait à la société civile, qu'il faut diviser en deux groupes aux visions antagonistes: les irréductibles de l'écologie, et les autres, plus pragmatiques, qui considèrent que l'on ne pourra entreprendre des actions de protection de l'environnement que lorsque leur situation particulière sera redevenue plus stable. On retrouve d'ailleurs ici les deux grands courants historiques de l'écologie : les écologistes purs et les anthropocentristes. Malgré la légitimité de ces tropismes constatés pour chacun de ces groupes de pression, et pour des raisons pratiques, les catégories d'expert A, C et G ne sont pas sous divisés dans la présente étude.

3.3.4- Fonction de transformation et fonction d'utilité

L'analyse de la satisfaction prévoit de mesurer le degré de satisfaction des experts. Cette mesure doit donc se faire selon une échelle préalablement déterminée. A l'instar de l'analyse de la valeur (décrite dans le chapitre dédié à l'état des connaissances) qui transforme tous les critères en termes de coût, l'analyse de la satisfaction procède à une transformation similaire, sauf que la fonction de transformation (voir section 2.3) utilisée ici pour chaque critère n'est pas un coût mais un niveau de satisfaction qu'accorde l'évaluateur par rapport à l'application d'un critère sur un scénario³³. En résumé, l'ensemble des critères se mesure selon une échelle de valeur unique, en l'occurrence un

³³ Voir a ce sujet Siskos et al. (1998) qui utilise une échelle basée sur un niveau de satisfaction, qui comprend les niveaux suivants : « Complètement insatisfait », « Insatisfait », « Satisfait », « Très satisfait » et « complètement satisfait ».

degré de satisfaction. Pour des raisons décrites plus loin, il a été décidé que cette échelle varierait de 0 à 10, avec les valeurs de satisfaction présentées dans le tableau 3.1 :

TABLEAU 3.1 : ECHELLE DE SATISFACTION ET CORRESPONDANCES

Echelle de satisfaction	Correspondance avec valeur de la satisfaction
0	
1	Très insatisfaisant
2	
3	Insatisfaisant
4	
5	Indifférent
6	
7	Satisfaisant
8	
9	Très satisfaisant
10	

Il peut paraître surprenant de constater que, si l'échelle utilisée comprend les valeurs allant de 0 à 10, le tableau 3.1 ne donne une valeur significative qu'aux chiffres impairs³⁴. En effet, s'il est possible de faire la distinction entre, par exemple, 1 et 3 ou 5 et 7, il devient très subjectif de vouloir départager des valeurs comme 1 et 2, ou 7 et 8. En d'autres termes, l'échelle présente une double dimension significative – qui définit des signifiants, tels que très satisfaisant (valeur 9) ou insatisfaisant (valeur 3) – et des valeurs intermédiaires. Ces dernières permettent, le cas échéant, de séparer deux scénarios pour des raisons propres à chaque expert et qui peuvent dépendre de sa compréhension personnelle.

³⁴ Bender et al. (1997) utilise une échelle similaire, graduée de 0 à 8, dans laquelle seuls les chiffres pairs correspondent à un signifiant déterminé et les chiffres impairs à des valeurs intermédiaires.

Par exemple, un expert peut considérer que deux scénarios devraient obtenir le même niveau de satisfaction, mais les conséquences de l'application du critère évalué peuvent avoir selon lui une plus ou moins grande portée ou conséquence pour un des scénarios, sans que cela change en soi l'évaluation même de ce dernier. D'où la possibilité laissée à l'expert de leur donner des valeurs très proches, au signifiant identique, mais pas forcément avec la même valeur de satisfaction. Cette approche permet à l'expert d'exprimer une nuance entre deux scénarios, par ailleurs considérés comme d'un même niveau significatif de satisfaction. Pour l'analyste, ceci amène une plus grande richesse et sensibilité des résultats.

Compte tenu de ce qui précède, il s'avère nécessaire de définir le concept d'écart significatif d'échelle (ϵ). Ce paramètre représente l'écart minimal entre deux valeurs d'échelle dont la signification est franchement distincte. Pour l'échelle présentée dans le paragraphe précédent, on constate que ϵ est égal à 2. En effet, il existe une différence de signifiant concret entre, par exemple, les valeurs 7 et 9 (respectivement « satisfaisant » et « très satisfaisant »), ce qui n'est plus le cas pour les valeurs 7 et 8 par exemple. Cette mise au point est importante et trouvera son application concrète dans le chapitre 4 sur l'analyse de la sensibilité.

En ce qui concerne la fonction d'utilité (voir section 2.1.6), elle revient à maximiser, pour chaque critère, le degré de satisfaction. Pour autant, la satisfaction maximale sera obtenue pour la valeur 10 de l'échelle.

3.3.5- Pondérations

La pondération consiste à donner un poids aux différents critères selon leur importance relative (section 2.4.4). Ces poids sont indépendants du scénario évalué. Pour des raisons déjà mentionnées dans le chapitre 2, ce sont les experts eux mêmes qui déterminent chacun la valeur de ces pondérations.

Ces pondérations varient de 0 à 10 avec les valeurs de pondérations suivantes, décrites dans le tableau 3.2.

TABLEAU 3.2 : ECHELLE DE PONDERATION ET CORRESPONDANCES

Echelle de pondération	Correspondance avec valeur de la pondération
0	
1	Très peu important
2	
3	Peu important
4	
5	Indifférent
6	
7	Assez important
8	
9	Très important
10	

Les remarques faites dans la section 3.3.4 sur la double dimension significative de l'échelle peuvent également être formulées ici pour les pondérations. De fait, le traitement des données tel que décrit dans le chapitre 4 sera le même pour les satisfactions et pour les pondérations.

3.3.6- Procédure de sondage

La méthodologie suivie pour la procédure de sondage a été celle décrite dans la figure 3.3.

La procédure de sondage s'est déroulée entre juin 2001 et août de la même année, soit près de 3 mois. Les raisons de la lenteur relative de l'enquête sont diverses. Dans la plupart des cas, il a fallu rencontrer les experts à de nombreuses reprises avant d'obtenir

les résultats définitifs. De fait, certains ont reçu notre visite plus de 10 fois consécutives, surtout les tanneurs dont les agendas de travail sont particulièrement chargés. Par ailleurs, ces derniers ont vu s'amplifier, depuis quelques années, le rythme de visites de consultants en tous genres, venus leur proposer leurs services. Ceci ne s'est pas fait, selon eux, avec toute l'éthique requise, d'où une certaine lassitude et un désenchantement vis-à-vis de personnes leur proposant la solution miracle à leurs problèmes. Enfin, devant la situation d'urgence ressentie par la plupart des intervenants industriels, l'attente de solutions réside toujours et surtout dans des solutions techniques simples, rapidement applicables et peu coûteuses. D'où la surprise et la perplexité face à cette approche, qui ne leur apporte à priori pas de solution immédiate à leur cas particulier.

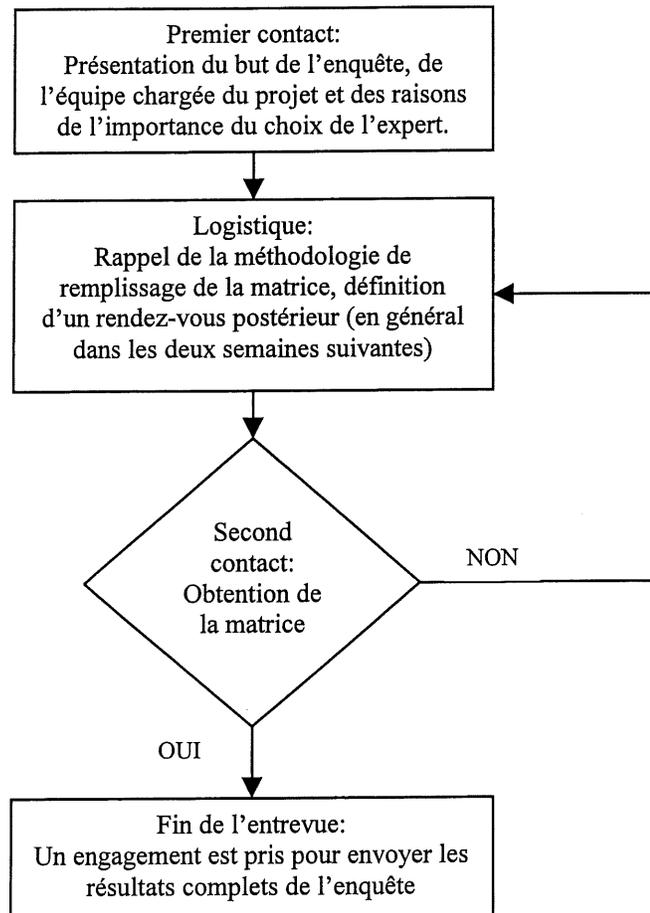


Figure 3.3- Procédure de sondage

3.4- Elaboration du dossier d'évaluation

Le dossier d'évaluation (annexe 1) comprend toute l'information nécessaire aux experts pour répondre au questionnaire, dont la matrice d'évaluation (la détermination de ses critères et scénarios est décrite dans les deux sections suivantes) et des informations générales sur divers thèmes clés, sur les scénarios, critères et sur la méthodologie d'évaluation.

3.4.1- Détermination des critères

La complexité inhérente à la recherche de solutions pertinentes, durables et socialement acceptables amène le ou les futurs preneurs de décisions à envisager un certain nombre de critères pour évaluer les différents scénarios qui lui sont soumis. Ces critères ne doivent pas être définis au hasard ou être le résultat d'une appréciation personnelle et unilatérale. Ils doivent être exhaustifs dans leur description de l'intégralité des paramètres qui vont conditionner l'application – heureuse ou non – d'un scénario particulier s'il est choisi. Par ailleurs, ils doivent prendre en compte l'ensemble des points de vue présents dans la société, surtout lorsqu'il est clair que ces points de vue sont aux mains de personnes - ou associations de personnes - qui peuvent se constituer en groupes de pression importants.

Pour ces raisons, il a été décidé d'utiliser une méthodologie de détermination de critères, qui a été commentée comme analyse fonctionnelle dans le chapitre de l'état des connaissances. L'équipe d'enquête a amorcé des discussions intenses avec le Président de la Chambre d'Industrie du Cuir de León (CICUR), ainsi que divers membres du Comité d'Ecologie de cette association, afin de formuler précisément la finalité recherchée. Le résultat de ces discussions a débouché sur la finalité suivante :

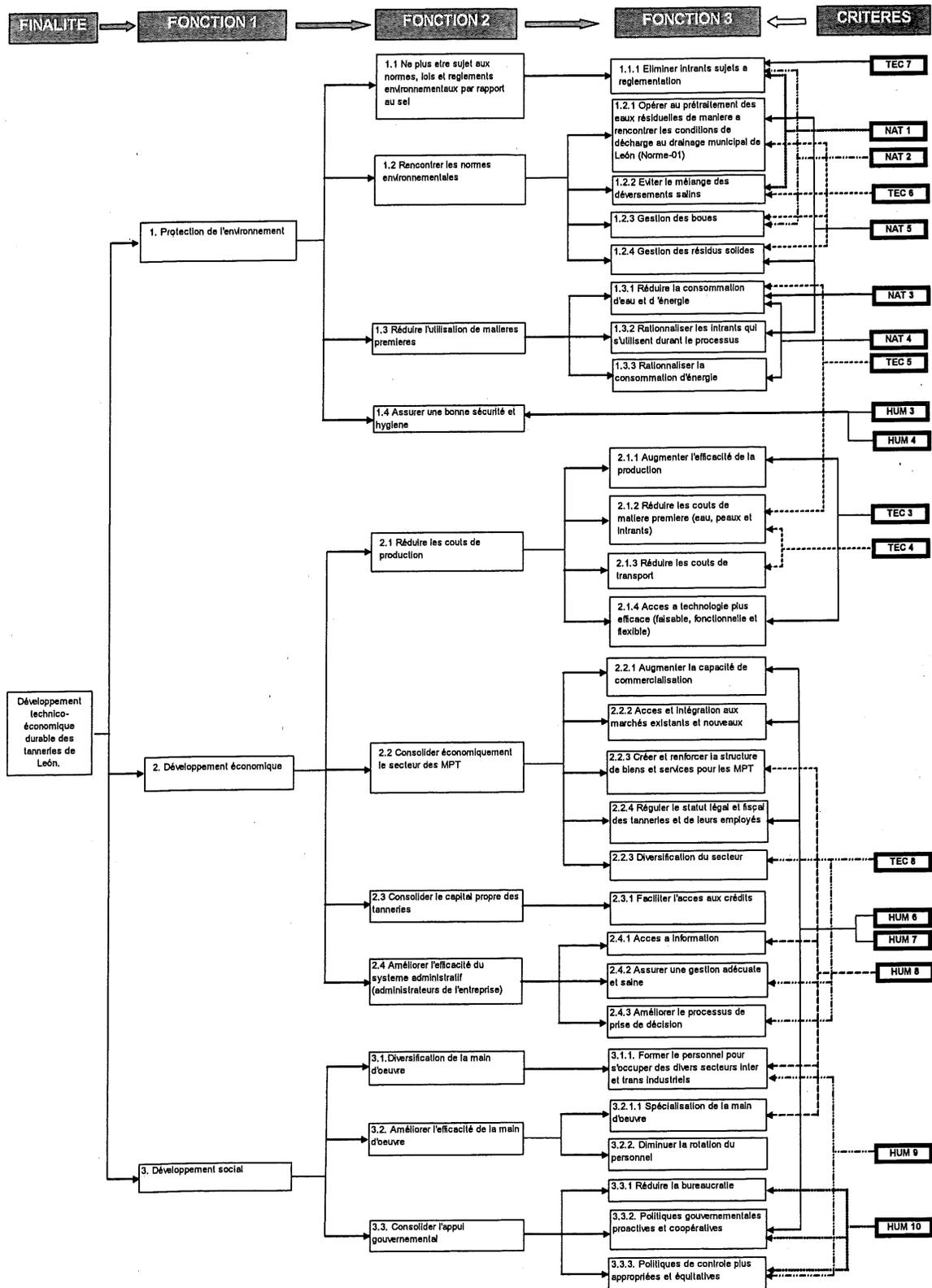
« Développement technico-économique durable des tanneries de León »

A première vue, cette définition d'objectif de l'enquête semble l'éloigner du but fixé initialement dans le projet, à savoir la recherche d'une solution à la problématique de la charge de sel dans les effluents. La raison invoquée est que cette dernière ne dépend pas seulement de la technologie de traitement utilisée. De fait, se limiter à envisager ces seules solutions de fin de chaîne restreint considérablement le champ de prospective vers d'autres solutions, plus intégrées, proactives et novatrices³⁵. Justement parce qu'il ne s'agit pas simplement de choisir la meilleure technologie disponible, mais bien de rechercher des solutions adaptées à la réalité du secteur, et selon toutes ses perspectives. Il est donc important d'utiliser une méthodologie qui permette l'émergence des éléments qui faciliteront une vision plus exhaustive des composantes de la problématique, ce qui est possible en élargissant l'objectif final de l'enquête, objectif qui doit englober la problématique particulière du sel dans les effluents.

Détermination des critères issus de l'analyse fonctionnelle

Une fois établie la finalité du projet, le diagramme de la figure 3.4 a été construit. Ce dernier fait la relation entre la finalité et les différents niveaux de fonctions 1, 2, et 3 dont elle dépend. Ces fonctions ne sont pas des critères en soi, sinon la description de simples relations de dépendance. Pour arriver à la détermination de critères, il est nécessaire de regrouper préalablement ces fonctions en un certain nombre d'attributs ou axes d'évaluations, et de déduire les critères à partir de ceux-ci.

³⁵ Plusieurs solutions mises de l'avant par le CIATEC et par les instances gouvernementales depuis 28 ans n'ont pas été adoptées par les tanneurs.



LEXIQUE
MPT: Micros et Petites Tanneries
Intrants: Tout type de produit nécessaire a la production, a exception des peaux, de l'énergie et de l'eau.
Limitantes de localisation: Limitantes pour les tanneries a être localisées en zone urbaine, rurale ou industrielle.
Matiere première: Eau, intrants, peaux et énergie.

Figure 3.4 : diagramme de l'analyse fonctionnelle.

Au total 18 critères se déduisent de cet exercice, répartis subjectivement en trois catégories : 5 critères issus de l'environnement naturel (NAT), 7 critères relatifs à l'environnement humain (HUM) et 6 critères technico-économiques (TEC).

Ces critères sont décrits dans le tableau 3.3.

TABLEAU 3.3: DESCRIPTION DES CRITERES ISSUS DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

Abréviation	Description
Environnement naturel	
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent
NAT 3	Quantité d'eau utilisée
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée
NAT 5	Quantité de matière secondaire
Environnement humain	
HUM 3	Santé des travailleurs
HUM 4	Santé de la population
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi
HUM 7	Impact à moyen long terme sur l'emploi
HUM 8	Accès à la connaissance et à l'information
HUM 9	Réceptivité de la population
HUM 10	Réceptivité politique
Critères technico-économiques	
TEC 3	Disponibilité d'équipement et de technologie
TEC 4	Accès à la matière première
TEC 5	Accès à la ressource eau
TEC 6	Accès à la matière secondaire
TEC 7	Qualité de la matière première
TEC 8	Impact sur le secteur

A noter que le dernier critère TEC 8 : « Impact sur le secteur » n'est pas véritablement un critère en soi. De fait, il ne se justifie que dans la mesure où il permet d'obtenir, de la part des experts, une évaluation globale finale sur l'effet qu'aura l'application effective du scénario sur le secteur. La comparaison entre celui-ci et le reste des critères pour chaque scénario peut permettre de révéler, dans certains cas, une absence de corrélation. En

effet, l'expert peut parfaitement, pour chacun des critères pris isolément, évaluer un scénario de façon satisfaisante, alors qu'en son for intérieur, de façon émotive (surtout s'il est directement affecté par la problématique), penser que l'application du scénario se révèle peu ou pas pertinente. En quelque sorte, l'étude de ce critère spécifique par rapport aux autres peut donner une indication intéressante sur l'implication émotive personnelle de l'évaluateur par rapport à un scénario.

L'ensemble des critères déterminés par l'analyse fonctionnelle, s'ils sont réellement exhaustifs, doit permettre d'obtenir un classement ordinal et cardinal de la satisfaction des scénarios entre eux. Ces critères ont donc été présentés à CICUR pour leur approbation finale. Cependant, une remarque a été émise sur le fait qu'il n'était pas démontré a priori que ces critères intégraient le concept de développement durable.

Détermination des critères issus du développement durable

Il a été décidé de déterminer, indépendamment des critères de l'analyse fonctionnelle, une série de paramètres qui rempliraient cette fonction. Le but recherché n'est pas de créer des indicateurs du développement durable, mais de permettre au preneur de décision de mettre les résultats de l'évaluation dans la perspective du développement durable (voir section 2.5). En d'autres mots, il est admis que seuls les critères issus de l'analyse fonctionnelle sont capables de déterminer un classement ordinal et cardinal des scénarios entre eux, mais les résultats obtenus à partir des critères du développement durable doivent pouvoir, en quelque sorte, pondérer le choix final du preneur de décision. Par ailleurs, l'inclusion de ces critères dans la décision finale permet au projet de s'inscrire dans un cadre élargi.

Il n'y a pas eu à proprement parler de méthodologie stricte de détermination de ces critères. De fait, des critères de développement durable pour les tanneries n'existent pas, du moins pas encore. Seule une étude limitée de détermination de critères ou indicateurs de développement durable pour les tanneries a été réalisée à partir d'une révision des différentes définitions actuellement publiées sur ce concept, en se focalisant prioritairement – mais non exclusivement - sur les sites Internet de grandes associations

et sociétés dont il était admis que leur définition résultait en elle même d'un consensus entre leurs membres. Les résultats de cette étude se trouvent dans l'annexe 2 .

Les critères ont été catalogués en trois catégories : critères naturels, humains et technico-économiques. Chaque définition obtenue a été transformée en un ou plusieurs concepts associés. Chaque fois qu'un même concept apparaissait, il était copié et intégré tel quel dans la liste, indépendamment de la langue d'expression, en rajoutant à chaque fois la source (abréviation et type de source : organismes, organisations ou compagnies privées). Le document recompile l'information et, sur le total de trente sites visités, mentionne l'occurrence de leur apparition.

La description des critères issus du développement durable est présentée au tableau 3.4.

TABLEAU 3.4 : DESCRIPTION DES CRITERES ISSUS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Abréviation	Description
Environnement naturel	
NAT 6	Qualité de l'environnement
NAT 7	Responsabilité environnementale
Environnement humain	
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles
HUM 2	Nécessités fondamentales des futures générations
HUM 5	Respect de la culture locale
Critères technico-économiques	
TEC 1	Gestion des ressources technico-économiques à court terme
TEC 2	Gestion des ressources technico-économiques à moyen long terme

La liste de critères du développement durable n'est pas immuable, et tant leur détermination que leur nombre est discutable. Ils représentent, pour le cas étudié, des valeurs qu'une société se donne et leur inclusion dans la liste entraîne des implications dans l'analyse des résultats, conséquences qui sont décrites dans la section 5.2.4.

On peut remarquer que certains des critères du développement durable qui apparaissent dans la liste présentée en annexe 2 ne sont pas mentionnés dans le tableau 3.4. La raison

est qu'ils sont communs aux critères de l'analyse fonctionnelle et n'ont donc pas été répétés ici, par souci de clarté et afin de respecter autant que possible la propriété de non répétitivité (section 2.4.3). Par contre, comme il sera montré plus loin dans les tableaux d'analyse des premiers résultats, lorsque les critères sont communs aux deux méthodologies, ils sont spécifiquement mentionnés comme tels, avec l'abréviation AF-DD (analyse fonctionnelle et développement durable).

Les critères présentés ici sont de type qualitatifs et ne permettent pas de mesurer une performance autrement qu'à travers un niveau de satisfaction. Une des raisons, qu'invoquent également Coté et Waaub (2000) est l'absence totale ou partielle de données existantes, ce qui limite l'utilisation de critères quantitatifs.

3.4.2- Détermination des scénarios

Différentes méthodes ont été utilisées pour la détermination des alternatives de solutions à la problématique du sel dans les effluents des tanneries. Elles consistent en :

- l'utilisation des scénarios définis par les instances gouvernementales en 1997 dans le cadre du contrat du Rio Turbio,
- l'application des résultats de l'analyse fonctionnelle, et
- un processus de « brainstorming », dont le but était d'intégrer des concepts du développement durable, en l'occurrence d'une de ses résultantes pratiques : l'écologie industrielle.

Ces scénarios ont été présentés au comité d'écologie de CICUR afin d'obtenir une appréciation sur leur réalisme et pertinence. Aucune modification n'a été sollicitée par ces derniers et, après nouvelle considération, l'ensemble choisi a été considéré comme suffisant.

Les alternatives présentées ci-après correspondent plus à des parties de scénarios, ou « blocs » de scénarios. En effet, il est important de pouvoir mesurer la satisfaction des experts sur des concepts précis. Par exemple, la pertinence de l'association d'entreprises

au sein d'une coopérative, la question même de la production de Wet Blue³⁶ à Léon, ville qui souffre du manque d'eau et qui se trouve éloignée de la matière première (peaux), etc. Cette procédure de « segmentation » des scénarios en concepts unitaires simples permet, à l'instar d'un jeu de construction, de créer de nouveaux scénarios en combinant divers blocs qui auront obtenu des niveaux de satisfaction importants (Wang, 2001).

Scénarios issus du Contrat du Rio Turbio

Depuis 1987, le gouvernement de l'Etat de Guanajuato, intégré principalement par l'Institut d'Ecologie et le Ministère de Protection de l'Environnement (PROPAEG), travaille conjointement avec le secteur des tanneries dans le but de trouver des solutions concrètes et applicables aux problématiques environnementales. Quatre accords ont été formalisés successivement entre les deux parties depuis cette date.

Le plus récent est le contrat du Río Turbio, signé le 7 Mars 1997 par les trois niveaux de gouvernement et l'industrie du cuir. Cette entente avait pour objectif de « rendre cohérentes des actions qui dérivent en une meilleure qualité des eaux de la rivière Turbio et contribuer, à moyen terme, à la restauration de son bassin versant ». Au total, 650 tanneries ont signé l'entente. Concrètement, chaque signataire a dû présenter une lettre d'engagement, en choisissant une des trois alternatives proposées (Tableau 3.5). Sur ces 650 entreprises, 311 rédigèrent effectivement une lettre³⁷

TABLEAU 3.5 : OPTIONS DU CONTRAT DU RIO TURBIO

Options	Nombre d'entreprises concernées
1- Relocalisation dans un parc industriel de Léon	54
2- Production à partir du Wet-Blue	116
3- Respect des normes en zone urbaine	141

³⁶ Le Wet Blue est le résultat du travail des peaux communément obtenu à la fin de la partie humide. La couleur bleue (Blue) provient de la présence du chrome durant la phase de tannage.

³⁷ Ministère De Protection de l'Environnement de l'Etat de Guanajuato (PROPAEG), Progrès de l'industrie du tannage, selon la base de données de la PROPAEG, Novembre 2000.

Malgré les résultats prometteurs, les engagements pris n'ont pas été respectés. De fait, si certaines tanneries ont bel et bien transféré une partie de leur système de production dans des constructions nouvelles en zone industrielle, elles n'ont jamais pu se bénéficier des services d'accès à l'électricité, aux égouts, et à des systèmes de traitement, tel que prévu initialement dans l'entente. Quant à respecter les normes en zone urbaine, surtout en ce qui concerne les micros et petites entreprises, cela tient de la gageure car, même si elles se décidaient à installer des systèmes de traitement, la très grande majorité n'a pas l'espace requis, ni les fonds nécessaires pour le faire. En effet, le niveau de pollution est tel que les technologies de traitement, lorsqu'elles existent, seraient surdimensionnées et d'une très grande complexité.

Il n'en reste pas moins que ces scénarios sont encore bien présents dans l'esprit des tanneurs, comme étant des solutions concrètes et le résultat d'une réelle recherche de compromis. Pour autant, il a été décidé de les intégrer dans le panel des scénarios possibles.

Scénario issu du développement durable

Il existe un grand nombre de définitions du développement durable. En règle générale, toutes insistent sur diverses notions clés, tels que l'utilisation raisonnée des ressources naturelles, l'importance d'introduire le long terme dans les processus de décision et de planification, la notion planétaire de l'enjeu du développement, ou la volonté de promouvoir l'équité à plusieurs niveaux (Redclift, 1992 ; Montes, 1998 ; Pauli, 1995 ; Provost, 1996).

D'une certaine façon, l'écologie industrielle est une science qui se dédie à l'étude des applications viables de la philosophie inhérente au concept de développement durable. Cette discipline permet tout d'abord aux entreprises de mieux se connaître et de mieux identifier, tant quantitativement que qualitativement, les produits qu'elle conçoit et les sous produits qu'elle génère, à travers, entre autre, l'application du concept de métabolisme industriel (Erkman, 1997). Elle favorise l'application hiérarchisée des 4RV, invite à procéder à l'évaluation des cycles de vie des produits à travers, entre autres, une comptabilité de coût total (Finnveden, 1999 ; Gautier, 1998). Elle incite à ne plus considérer les sous produits comme des déchets, mais d'engager des processus de

réintégration en boucles fermées les plus petites possibles, voire, le cas échéant, d'organiser un plan de synergie de ceux-ci³⁸. En d'autres termes, ce type de réflexion suggère aux industriels de produire plus et mieux, avec une meilleure utilisation de la matière première et moins d'énergie (Erkman, 1997 ; Bennet et al., 1998 ; Panisset et al., 1996 ; Graedel, 2000).

Une équipe multidisciplinaire ad hoc a donc été constituée, pour déterminer un ou deux scénarios qui rendraient compte des principes de l'écologie industrielle. Il ne s'agit pas ici de présenter des scénarios de développement durable, mais des alternatives qui rendent plausible le fait que ces derniers vont contribuer positivement à changer le système actuel vers une direction plus « durable » (Höjer, 1998). La méthodologie employée s'est inspirée de celle du brainstorming.

Une première étude a consisté à reproduire le cycle de vie complet du sel, depuis la mer jusqu'aux effluents et nappes phréatiques. Une première constatation s'est imposée : le sel, comme élément en soi, ne rentre pas dans le processus de production des peaux mais sert uniquement à protéger celles-ci de la dégradation durant leur transport. De fait, il n'existe de problématique du sel que dans la mesure où les tanneries (clients) sont éloignées des abattoirs (fournisseurs). Car la tannerie est bien un client en sel, puisqu'elle l'achète en même temps que les peaux. Un travail de diagnostic préliminaire a mené à la production d'un rapport sur la minimisation du sel dans les effluents (Conraud et al., 2001). Ce rapport a montré par ailleurs que tant le transport réfrigéré, que d'autres systèmes de conservation des peaux, présentent de nombreux inconvénients, dont le moindre n'est pas l'aspect financier.

Un nouveau scénario s'est donc dessiné, basé sur la nécessité d'engager un processus de réintégration en boucles les plus petites possibles. Or, la plus petite boucle est celle qui n'existe pas : dans la mesure où les peaux pourraient être directement traitées près des abattoirs par les tanneries, du moins dans la partie humide qui mène à la production de Wet Blue et à des peaux imputrescibles, l'utilisation du sel se réduit considérablement³⁹.

³⁸ Voir à ce sujet le site Internet du World Business Council for Sustainable Development, au : www.wbcsd.ch

³⁹ A noter tout de même qu'un des processus de tannage, nommé « Pickle », requiert de l'utilisation de sel. Selon une enquête réalisée par notre équipe auprès de 26 tanneries, le sel de Pickle représente un peu moins de 20% du sel total.

Le scénario logique qui découle de ces constatations est donc celui de la relocalisation des unités de production de Wet Blue près des abattoirs, quel que soit l'endroit où ils se trouvent dans la République mexicaine.

L'autre scénario dépend moins de l'écologie industrielle que d'une simple constatation : plus de 80% des tanneries sont des micros ou petites entreprises. Or, il existe un grand nombre de publications⁴⁰ faisant la promotion des regroupements et « clusters » d'entreprises afin de catalyser l'économie et l'innovation, et ceci même dans les cas de pays en voie de développement ou en émergence économique. D'où l'idée de regroupement, à travers par exemple un système de coopérativisme.

Univers des scénarios

L'analyse fonctionnelle permet d'établir des relations de dépendance successives entre une finalité et ses différentes fonctions (voir section 3.4.1). Ces fonctions peuvent déboucher sur la déduction d'un certain nombre de critères. Un exercice complémentaire basé sur ces résultats peut chercher, à partir de ces fonctions, à proposer des solutions concrètes et ponctuelles, au cas par cas. Le regroupement logique de ces solutions peut permettre de déduire, voire construire, de nouveaux scénarios. Le diagramme de la figure 3.5 présente l'analyse fonctionnelle avec, dans la partie droite, la relation existante entre les solutions et les différents regroupements par scénarios possibles.

Sur cette figure, la majorité des solutions signalent, en totalité ou en partie, un des scénarios préalablement mentionné dans les sections précédentes. Cela corrobore d'une certaine manière le caractère pratique de l'analyse fonctionnelle à définir des solutions concrètes à la problématique envisagée. D'un autre côté, cette méthode permet de vérifier l'exhaustivité de l'univers des scénarios possibles.

⁴⁰ Site Internet de l'UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) à l'adresse www.unido.org.

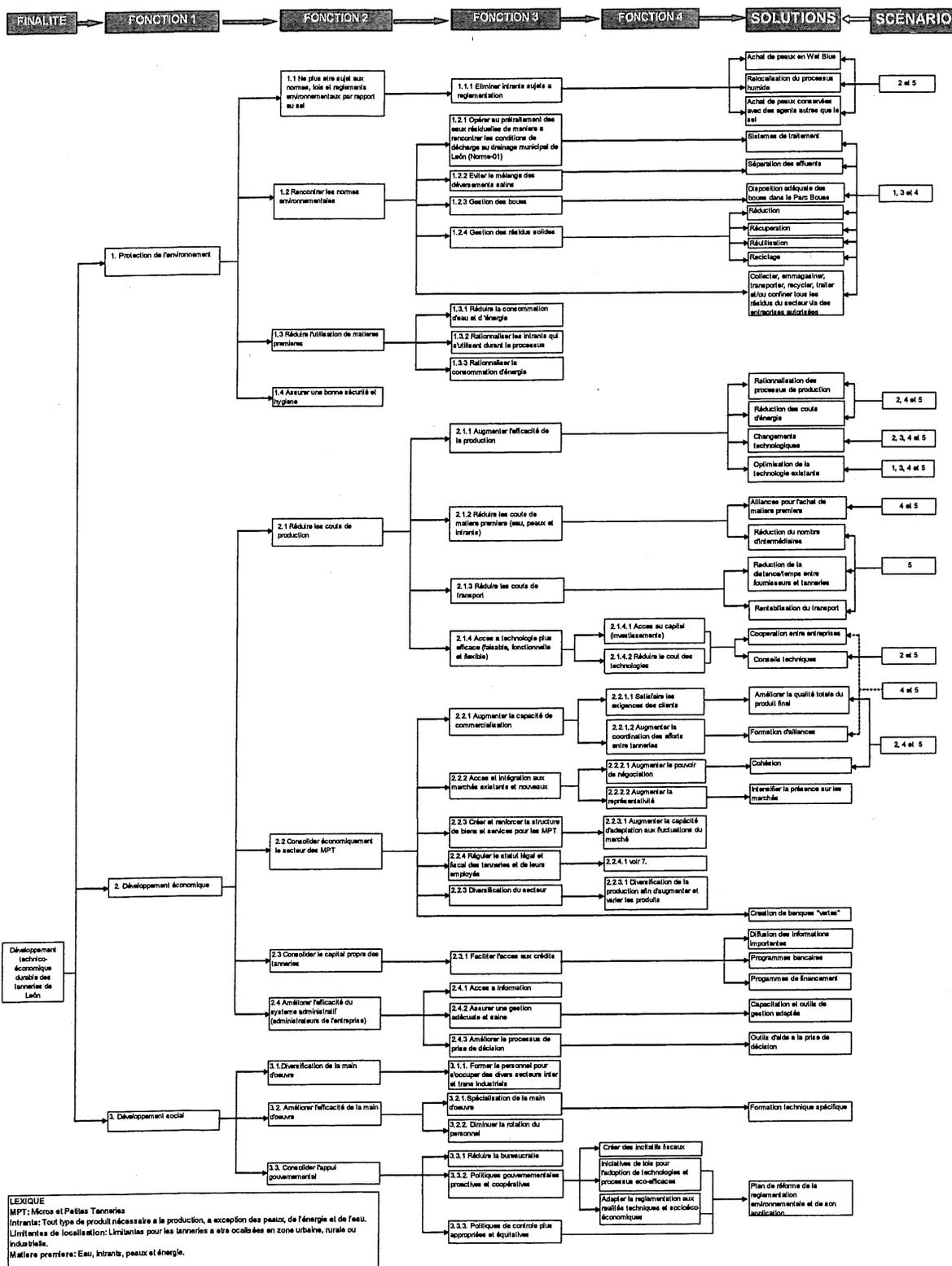


Figure 3.5 : Dédution de scénarios à partir de l'analyse fonctionnelle.

Les solutions en bas de page de la figure 3.5 (comme « création de banques vertes », « Diffusion des informations importantes », etc.) qui n'ont pas rencontré de correspondance avec des scénarios sont celles qui ne dépendent pas directement du secteur du cuir. On ne peut logiquement présupposer de leur application éventuelle et elles ne peuvent donc être intégrées. C'est le cas par exemple des programmes spéciaux bancaires, des programmes de formation techniques et de gestion administrative, ou encore d'un plan de réforme de la réglementation environnementale, plus adapté à la réalité du secteur.

Scénario de référence

L'analyse de la satisfaction a ceci de particulier qu'elle mesure un degré de satisfaction total par scénario. En aucun cas elle ne permet de définir des coûts de mise en place. L'alternative existante consisterait à procéder, pour chaque scénario, à une étude technico-économique exhaustive afin de déterminer ces coûts. Mais cette solution, dans le contexte décrit, est peu réaliste. Tout d'abord en raison des innombrables données requises qui ne sont pas disponibles⁴¹. Ensuite, de par la complexité de la problématique et de ses interdépendances avec d'autres secteurs. Le coût d'une telle démarche serait exorbitant. Enfin, parce que la situation des tanneries évolue au jour le jour – dû en partie à la taille des entreprises qui peuvent très facilement changer d'activité et se réorienter. Le temps nécessaire à une telle étude pourrait conduire à ce que les données recompilées ne soient plus du tout actualisées au moment de leur publication.

Or, dans le même projet sur la minimisation du sel dans les effluents des tanneries (Conraud et al., 2001), il a été déterminé que le coût environnemental moyen d'une petite tannerie sur une période de cinq années serait de \$815,000 Pesos mexicains (soit, approximativement \$CAN 151,000 Dollars Canadiens). Ce chiffre a été obtenu sur la base des caractéristiques suivantes :

⁴¹ Dans le rapport de travail sur le projet de minimisation du sel des effluents (Conraud et al., 2001), des recherches exhaustives mais infructueuses ont été effectuées afin de trouver des indicateurs économiques fiables sur le secteur des tanneries.

- Achat d'eau
- Tarifs d'assainissement selon la charge contaminante
- Valeur des éventuelles sanctions émises par le fournisseur d'eau et responsable de la collecte des eaux usées de la ville de León (SAPAL⁴²).

Dans la mesure où l'on intègre un dernier scénario, intitulé « Statu quo », qui implique de ne rien changer à la pratique actuelle, le coût par unité de satisfaction peut être déterminé en divisant la satisfaction totale obtenue pour le scénario « Statu Quo » par \$815,000. Ensuite, par une simple règle de trois, il est possible de définir le coût maximal à investir dans un des cinq autres scénarios de façon à obtenir, au minimum, la même satisfaction que l'option de ne rien faire. D'où l'intérêt d'intégrer ce scénario dans la liste présentée ici. Cependant, il est probable que l'intromission des coûts dans les éléments de réflexion menant à l'évaluation des experts risque d'introduire un biais inévitable, raison pour laquelle ceci n'a pas été réalisé durant cette étape.

Il faut rappeler ici que cette procédure se justifie parce qu'il ne semble pas possible d'obtenir, vu la carence de données existantes et le manque de fonds disponibles pour une étude technico-économique exhaustive, le coût réel de la mise en place de chacun des scénarios envisagés dans ce travail. A ce sujet, Côté et Waaub (2000) ont également introduit un scénario de référence « statu quo » dans leur étude d'évaluation des impacts d'un projet routier, option qui avait été réclamée par les experts.

Rappel des scénarios et derniers commentaires

Un rappel des scénarios est présenté dans le tableau 3.6, suivi d'une rapide description générale des enjeux et fonctions de chacun d'entre eux.

⁴² Système d'Eau Potable et Egouts de la ville de León.

TABLEAU 3.6 : RAPPEL DES SCENARIOS

SCENARIO1	Rencontrer les normes en zone urbaine
SCENARIO 2	Achat de Wet Blue à des fournisseurs externes à la ville de León
SCENARIO 3	Relocalisation des tanneries en zone industrielle de León
SCENARIO 4	Relocalisation d'un regroupement de tanneries en zone industrielle de León
SCENARIO 5	Relocalisation d'un regroupement d'unités de production de Wet Blue près d'un abattoir
SCENARIO 6	Statu Quo

Scénario 1 : Rencontrer les normes en zone urbaine

Ce scénario implique que les tanneries demeurent en zone urbaine sans changement dans leurs processus (ils continuent leurs activités pour le processus humide). Les tanneries doivent mettre en place un système complet de traitement de leurs effluents (sel de conservation, sel de Pickle et autres contaminants) qui leur permettrait de respecter les normes environnementales en vigueur.

Scénario 2 : Achat du Wet Blue à des fournisseurs externes à la ville de León

Ce scénario implique la disparition de tout le processus humide (les activités des tanneries se concentrent uniquement sur les activités de finition). Il n'y a donc aucun changement dans la localisation des entreprises. Celles-ci achètent le Wet Blue à d'autres fournisseurs localisés à l'extérieur de la ville de León. L'accès et la qualité du Wet Blue dépend donc des fournisseurs. Ces entreprises doivent par contre répondre aux normes environnementales en ce qui concerne la partie finition. Elles doivent mettre en place un système complet de traitement des effluents (seulement les contaminants générés durant la phase de finition des peaux). Il n'existe pas de coût de déménagement ni de coûts associés à l'achat de système de traitement pour les effluents de la partie humide. Le scénario permet de réduire à la source la contamination des eaux et de réduire la pression réglementaire et les dépenses pour les amendes associées au non respect des normes.

Scénario 3 : Relocalisation des tanneries en zone industrielle de León.

Ce scénario implique que chaque tannerie déménage ses processus humides dans un parc industriel de León. Les tanneries doivent également mettre en place un système complet de traitement des effluents (sel de conservation, sel de Pickle et autres contaminants), leur permettant de rencontrer les normes environnementales en vigueur. Ce scénario permet de poursuivre les activités du processus humide (respect de la culture locale et conservation de l'emploi), du moins à court terme. Par contre, il ne permet pas une réduction à la source de la contamination. Le parc industriel doit posséder les infrastructures nécessaires au fonctionnement de la tannerie et à la manipulation de ses sous produits. Les tanneries prennent en charge les coûts relatifs au déménagement et au système de traitement.

Scénario 4 : Relocalisation d'un regroupement de tanneries en zone industrielle de León.

Ce scénario implique qu'un regroupement volontaire d'un certain nombre de tanneries décide de réunir leurs activités dans un parc industriel de León. Les tanneries doivent également mettre un système complet de traitement des effluents (sel de conservation, sel de Pickle et autres contaminants), leur permettant de rencontrer les normes environnementales en vigueur. Ainsi, le scénario 4 permet lui aussi de poursuivre les activités du processus humide. Les contaminants peuvent être concentrés pour un meilleur contrôle et des coûts réduits. Les tanneurs peuvent trouver avantage à créer des échanges sous forme d'alliances ou d'associations. Ce scénario ne permet pas une réduction à la source de contamination. Le parc industriel doit posséder les infrastructures nécessaires au fonctionnement de la tannerie et à la manipulation de ses sous produits. Les tanneries assument les coûts relatifs au déménagement et au système de traitement. Les tentatives antérieures de regroupement de tanneries dans la ville de León ont été négatifs.

Scénario 5 : Relocalisation d'un regroupement d'unités de production de Wet Blue près d'un abattoir.

Ce scénario implique qu'un regroupement volontaire d'un certain nombre de tanneries décide de réunir leurs activités relatives au processus humide près d'un ou de plusieurs abattoirs. Il n'y a pas élimination de la partie humide des tanneries mais bien un transfert de cette activité dans un autre lieu. Les tanneries doivent également mettre en place un système complet de traitement des effluents (sel de conservation, sel de Pickle et autres contaminants), leur permettant de rencontrer les normes environnementales en vigueur. Le scénario 5 implique une élimination à la source du sel de conservation (mais pas du sel de Pickle). Le transport des peaux est facilité puisque ces dernières (sous forme de Wet Blue) ont un poids et un volume réduit de plus de 60%. L'accès à la matière première est direct, et permet un certain contrôle sur la qualité des peaux. Les abattoirs sont disséminés et l'accès à ceux-ci est limité à un faible nombre de petites tanneries et requiert une restructuration importante du système de vente et achat de peaux. La ville de León perd ses activités de processus humide, et donc l'emploi correspondant à une activité séculaire. Les tentatives antérieures de regroupement de tanneries ont été négatifs.

Scénario 6 : Statu Quo : ne rien changer à la situation actuelle

Le scénario 6 suggère qu'il n'y ait aucun changement et que la situation demeure telle qu'elle est dans l'actualité. Cela suppose que les tanneries ne mettent en place aucun système de traitement de leurs effluents et qu'elles assument les coûts associés au non respect des normes.

3.4.3- Matrice d'évaluation

Une fois déterminés les critères, scénarios, la fonction d'utilité et l'échelle de valeur correspondante, il reste à élaborer la matrice qui servira à obtenir les évaluations des différents experts choisis. Cette matrice est présentée en annexe 1.

Il est utile de procéder à quelques commentaires généraux par rapport à cette matrice :

- Elle est composée d'un grand nombre de critères – 25 au total – et de plusieurs scénarios - 6 en tout. En rajoutant la valorisation des pondérations, il est demandé à l'évaluateur de remplir un total de 175 cases différentes (6 scénarios par 25 critères, plus 25 pondérations). Chaque réponse requiert de l'expert une réflexion particulière, un sens objectif de la synthèse et une grande concentration. Sans parler du temps mis à répondre qui, selon les cas, varie d'une demi heure à plus de 3 heures.
- Certains critères font référence à des concepts complexes, intégrés et amples, surtout ceux issus du développement durable. C'est pourquoi un dossier d'évaluation (voir section 3.4.4) a été élaboré afin de faciliter la compréhension de l'expert et l'aider au remplissage de la matrice.
- La plupart des experts avaient connaissance des scénarios 1, 2 et 3, du fait qu'ils correspondent à ceux présentés en 1997 par les autorités gouvernementales (Contrat du Rio Turbio). Ils en connaissent les tenants et aboutissants. Ce n'est pas le cas pour les autres scénarios.
- Enfin, de part l'hétérogénéité de la provenance des experts, et de leur implication directe ou non avec la problématique traitée, tous ne possèdent pas le même « bagage » de connaissances. Il est fait référence ici en particulier à la catégorie des évaluateurs de la société civile, qui ne sont pas forcément au fait des aspects techniques des processus de tannage et des difficultés inhérentes à la mise en conformité environnementale dans cette industrie.

3.4.4- Autres informations

Toutes ces réflexions ont amené à pourvoir chaque expert, en plus de la matrice décisionnelle, d'un certain nombre d'éléments additionnels, explicatifs et pratiques. Ces derniers sont intégrés dans un dossier d'évaluation qui contient, dans l'ordre :

- Une fiche signalétique, avec des questions portant surtout sur la provenance de l'expert, ses caractéristiques civiles, son degré de formation académique, la raison de son implication dans la problématique traitée, ainsi qu'une évaluation sommaire de son degré d'expérience dans le domaine du tannage.

- Une feuille récapitulative sur la méthodologie de remplissage des matrices d'évaluations.
- Une présentation complète des 6 scénarios, avec sa description et un rappel sommaire des fonctions inhérentes à son application.
- Une description détaillée des différents critères utilisés : sa définition, une explication sommaire suivie, en italique, de la manière dont l'expert doit se poser la question afin de répondre correctement au questionnaire, en s'assurant de toujours utiliser une échelle correspondant au degré de satisfaction d'un critère particulier par rapport à un scénario.
- Un compendium d'information relative au secteur des tanneries, regroupé par rubriques : eau, sel, matière première, système de traitement, charge de l'effluent, normes et règlements, parc industriel, regroupement/coopérativisme, situation financière, réceptivité politique et emploi. Cette information provient uniquement de sources officielles, qui ont été publiées et diffusées par des organismes publics, comme l'Institut d'Ecologie, le Ministère de Protection de l'Environnement, la Commission Nationale de l'Eau, le CIATEC, CICUR, le Ministère de Développement Economique et différentes publications de Centres de Recherche de l'Université de Guanajuato.
- Une flèche de référence pour l'évaluation des critères (degré de satisfaction allant de 0 à 10), et une autre pour l'évaluation des pondérations (degré d'importance du critère allant de 0 à 10).
- Enfin, une feuille destinée aux commentaires finaux.

Une partie de ce dossier se présente en annexe 1 (matrice et information importante).

4- ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ

Désormais, tous les éléments nécessaires à l'application de l'analyse de la satisfaction selon la méthodologie Delphi conventionnelle sont en place et il est possible de procéder à l'analyse de sensibilité catégorielle. Concrètement, il s'agit de déterminer, à partir des pics de fréquences et des différents outils de caractérisation de courbes, la valeur ou les valeurs de satisfaction qui représentent au mieux l'opinion générale. Les termes « au mieux » font référence au fait que la satisfaction de chaque catégorie d'expert doit pouvoir être prise en compte, à la condition que celle-ci soit clairement exprimée selon des caractéristiques qui doivent être préalablement définies. La méthodologie suivie pour le développement de l'analyse de sensibilité sera celle indiquée dans la figure 4.1, en quelque sorte une suite de la figure 3.1.

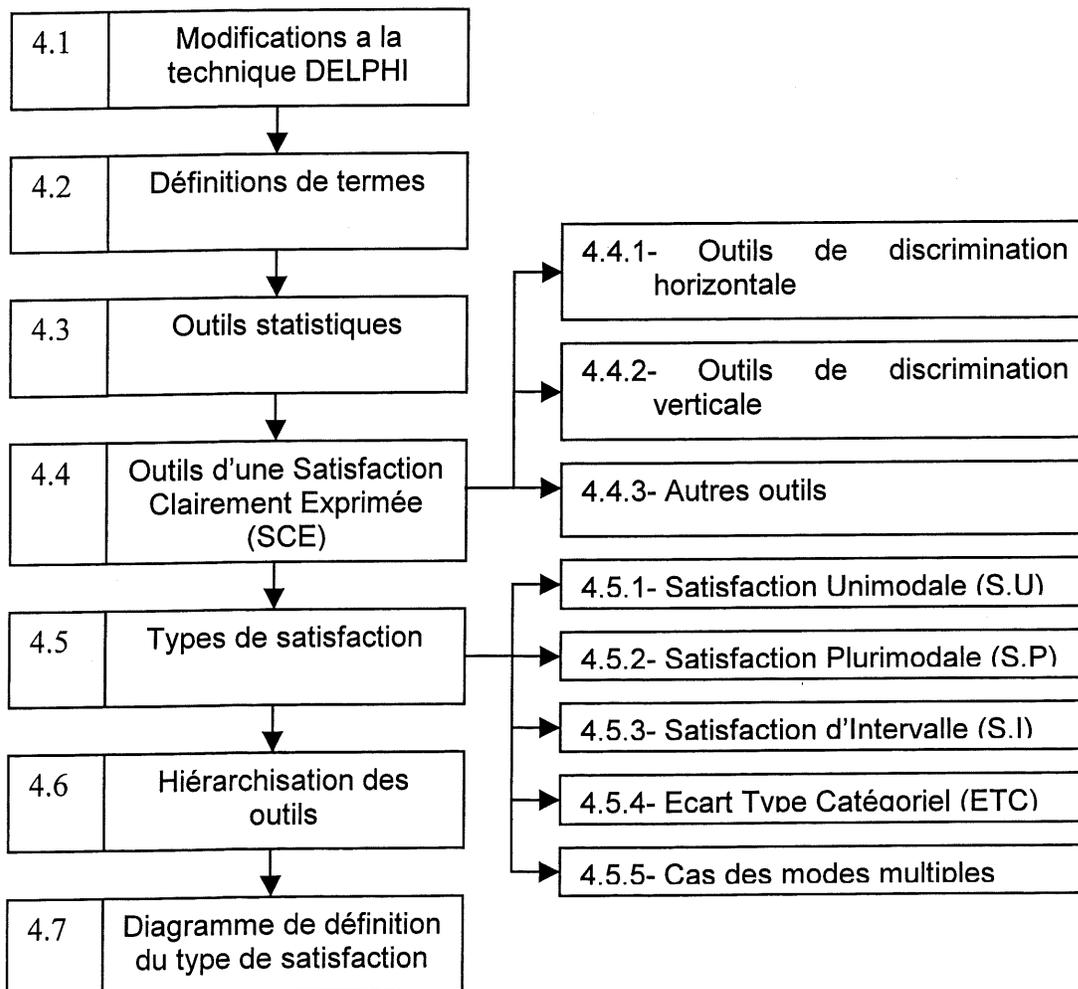


Figure 4.1 : Schéma méthodologique du développement de l'analyse de sensibilité.

4.1- Modifications apportées à la technique DELPHI conventionnelle

L'analyse de la sensibilité catégorielle est le résultat des modifications apportées à l'analyse Delphi conventionnelle, tel qu'illustré à la figure 4.2. Contrairement à cette dernière, l'analyse de sensibilité proposée fait usage d'un certain nombre de paramètres, réunis en un filtre, qui permettent de caractériser les courbes de fréquence des réponses des experts. Par ailleurs, cette approche permet de réduire le nombre de missions de consultation nécessaires. Cette analyse repose donc sur la détermination de(s) la(es) mesure(s) de tendance centrale appropriée(s) afin de reproduire le plus fidèlement possible la satisfaction des différentes catégories d'experts. Pour autant, le but recherché est moins d'arriver à un compromis négocié qu'à un consensus construit, voire à la construction de nouveaux scénarios à partir des résultats de la détermination des satisfactions clairement exprimées.

Le diagramme de la figure 4.2 permet de bien comprendre la méthodologie proposée. La méthode Delphi, qui sert de base au travail, pourrait être de fait tout autre type de méthode qui implique de procéder à plusieurs missions de consultations d'expert afin d'arriver à une certaine convergence de résultats. Les différences entre la méthodologie Delphi traditionnelle et celle proposée dans ce travail sont résumées dans les points suivants :

1. La recherche de compromis : dans la méthode traditionnelle, ce dernier s'obtient en demandant aux experts, durant des missions de consultation successives, de s'ajuster à une mesure de tendance centrale, en l'occurrence la médiane, le nombre de missions de consultation dépendant exclusivement de l'obtention d'une certaine convergence d'opinion. Dans la méthode proposée, il s'agit plutôt de construire des solutions répondant aux attentes souvent contrastées des différents groupes d'experts. Lorsque cela est possible, les préoccupations des différents experts sont intégrées dans l'élaboration des nouveaux scénarios. L'intérêt d'utiliser la méthode Delphi comme base sous-jacente à cette méthodologie est qu'elle permet, via l'élaboration des critères, de prendre en compte l'ensemble des éléments susceptibles d'influencer l'application d'un scénario particulier.

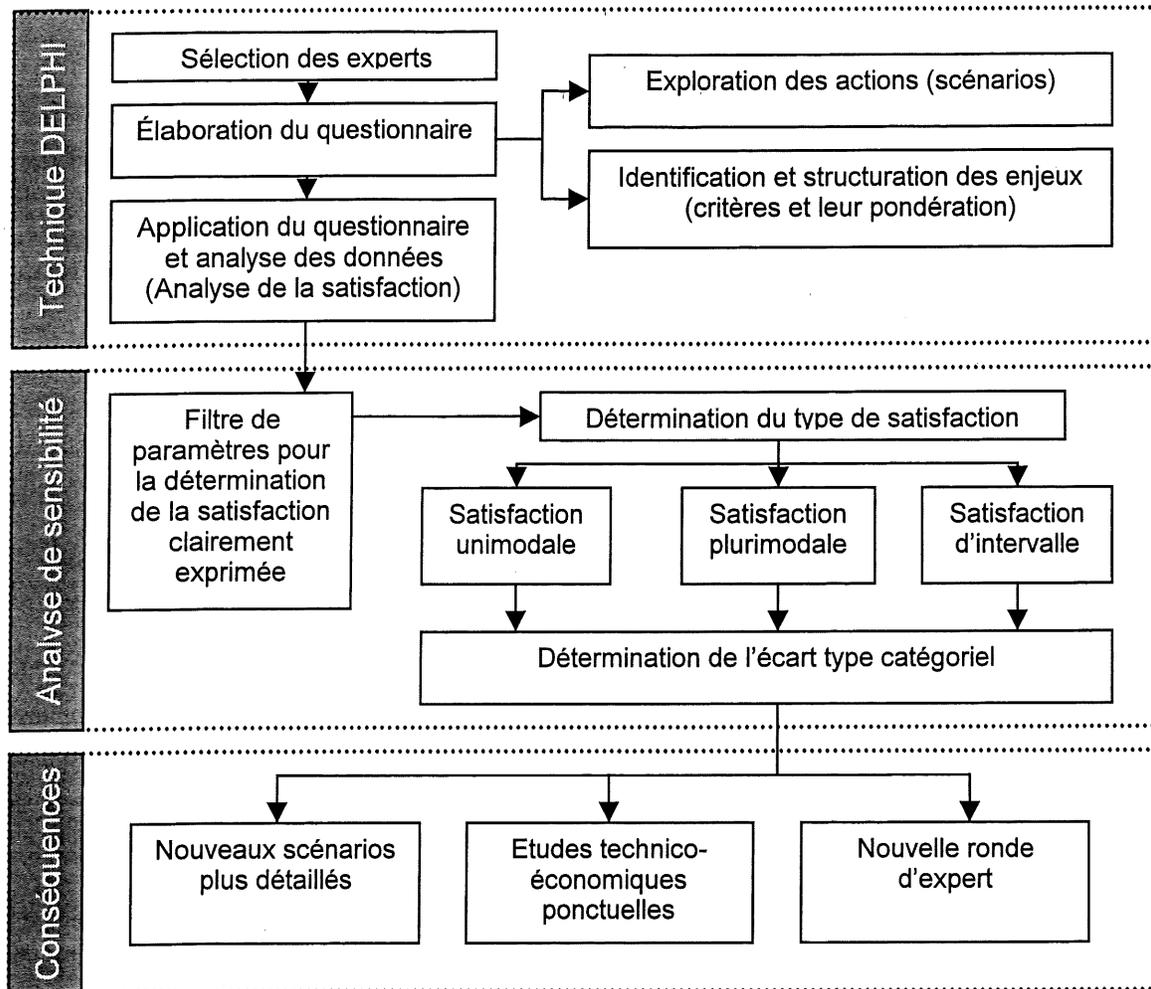


Figure 4.2- Diagramme de la méthodologie DELPHI modifiée

2. Le nombre de missions de consultation : Le nombre de missions de consultation est réduit avec cette nouvelle approche. Une nouvelle ronde de consultation éventuelle se limitera uniquement à des cas précis, mentionnés dans la section 5.5.3. En effet, l'idée sous jacente repose sur le respect – à priori – des satisfactions exprimées par les experts, en réduisant les possibilités de négociation pour arriver à une convergence d'opinion.
3. L'analyse des résultats : la méthode Delphi utilise communément un nombre réduit d'outils statistiques : mesure de tendance centrale et mesure de dispersion. Ici, au contraire, il sera nécessaire de développer un ensemble d'outils, réunis en un filtre de paramètres (voir section 4.7) destiné à la détermination de la mesure de

tendance centrale ou de l'intervalle éventuel lorsque l'ensemble des experts ne s'accorde pas sur une mesure unique. Pour autant, l'analyse des résultats prend une importance croissante. Comme il sera montré plus loin, la très grande majorité d'application de ces outils peut se systématiser grâce à l'informatique.

4.2- Définitions de termes

Avant de procéder au développement de l'analyse de sensibilité proprement dite, il est utile d'apporter des précisions sur un certain nombre de concepts.

- Satisfaction clairement exprimée (SCE): une satisfaction est dite « clairement exprimée » lorsqu'elle rencontre un certain nombre de critères et de seuils préétablis qui peuvent être adaptés à chaque problématique et qui la catégorisent comme telle. Par exemple, une satisfaction sera considérée comme SCE si et seulement si un pourcentage minimum x de la population s'accorde sur une seule et même valeur de satisfaction de tel critère par rapport à tel scénario. Lorsque cela n'est pas le cas, il sera fait référence à une « satisfaction non clairement exprimée » (SNCE). La détermination de ce pourcentage est discuté plus loin dans le texte.
- Ecart Type Catégoriel (ETC) : mesure de la valeur ou intervalle de valeurs qui représente, au mieux, la satisfaction clairement exprimée des différentes catégories d'expert. Par le terme au mieux, il est fait référence aux critères et seuils préétablis mentionnés dans le paragraphe précédent. Un Ecart Type Catégoriel (ETC) de valeur 1 signifie qu'il existe un accord entre les différentes catégories d'expert sur une valeur unique de satisfaction d'un critère par rapport à un scénario. Un Ecart Type Catégoriel d'intervalle 3 à 8 indiquera que la satisfaction des différents groupes d'expert se trouve quelque part entre ces deux valeurs, mais qu'aucune d'entre elles ne reproduit fidèlement l'opinion de l'ensemble.

Ces précisions étant désormais apportées, il est possible de procéder au développement des différents outils.

4.3- Outils statistiques et de probabilités

Dans une étude statistique commune, plusieurs variables sont considérées pour caractériser la population ou l'échantillon (Grenon et al., 1997). En plus de la représentation sous forme de tableaux ou diagrammes de fréquence, il peut être avantageux d'ajouter des informations concernant la position des données d'une série. Ces informations peuvent se partager en deux groupes distincts : les mesures de tendance centrale, qui déterminent les valeurs autour desquelles se regroupent les données, et les mesures de dispersion qui consistent à mesurer l'éparpillement ou l'éloignement des données autour de la mesure de tendance centrale choisie.

Les mesures de tendance centrale (MTC)

Dans le cas de variables quantitatives discrètes, les mesures de tendance centrale comprennent :

- Le mode (Mo)

Le mode est la valeur de la variable étudiée qui a la plus grande fréquence (le plus grand nombre d'unités statistiques) dans l'échantillon ou la population.

- La médiane (Md)

La médiane est la valeur de la variable étudiée qui occupe la position centrale dans la liste, ordonnée par ordre croissant, des données de l'échantillon ou de la population. Pour autant, la médiane est définie comme étant la valeur qui sépare le nombre de données en deux groupes égaux. La médiane occupe une place centrale dans la technique Delphi traditionnelle, car elle est très communément utilisée comme mesure de tendance centrale de l'échantillon. Dans la nouvelle méthodologie d'analyse de la sensibilité, le filtre de paramètres développé utilise la médiane, mais fait appel également à un certain nombre d'autres paramètres qui lui sont associés afin de déterminer, le cas échéant, les satisfactions clairement exprimées.

- La moyenne (\bar{x})

A noter que la moyenne est le seul paramètre de tendance centrale dont le calcul repose sur l'ensemble des valeurs d'une distribution.

Dans ce travail, il ne sera fait usage que du mode et de la médiane. En effet, la moyenne, contrairement aux deux premières mesures, tient compte de toutes les valeurs en leur attribuant la même importance, et se trouve donc être très sensible aux valeurs extrêmes.

Selon Grenon et al. (1997), il est important d'examiner la forme de la représentation graphique de la distribution. A l'exception des courbes parfaitement symétriques où il n'existe que peu d'écart entre moyenne et mode, il est souhaitable d'utiliser la médiane comme mesure de tendance centrale. Par contre, pour les cas de courbes aplaties et relativement dispersées, avec un nombre réduit de données, le mode acquiert une signification particulière, puisqu'il met en évidence, mieux que la médiane, un pic de fréquence particulier, émergent du reste. L'application possible de ce concept au problème traité ici sera décrit dans le chapitre 5 des résultats.

Les mesures de dispersion

Les mesures de dispersion consistent à apprécier l'éparpillement ou l'éloignement des données autour de la mesure de tendance centrale choisie. Parmi celles-ci, on trouve l'écart type et le coefficient de variation. Ce dernier est une mesure de dispersion relative, qui permet de juger de l'importance de la dispersion des données autour de la moyenne et de mesurer l'homogénéité ou la précision des données.

Pour les mêmes raisons que celles invoquées précédemment, tant l'écart type que le coefficient de variation sont peu appropriés au but de cette étude. Tout d'abord parce qu'ils découlent directement de la moyenne. Ensuite parce qu'ils dépendent de la position de la moyenne dans l'échelle de valeur utilisée. Dans une échelle qui va de 0 à 10, pour deux distributions similaires, avec deux écarts type identiques, dont la moyenne de l'une est 1 et la moyenne de l'autre est 9, les valeurs de coefficients de variation obtenus auront

un rapport de neuf. Or, comme il sera montré dans le chapitre des résultats, l'objectif est de décrire un certain type de courbe, et ceci indépendamment de sa position relative sur l'échelle de satisfaction. En d'autres termes, il s'agit bien de se doter d'outils susceptibles de définir les caractéristiques d'une satisfaction clairement exprimée (SCE)

Il est par conséquent nécessaire de trouver des alternatives de description de courbes, qui ne présentent pas les inconvénients mentionnés précédemment. D'où le recours à d'autres outils, décrits par la suite.

4.4- Outils de mesure d'une Satisfaction Clairement Exprimée (SCE)

En plus des outils de mesure classiques de tendance centrale et de dispersion, d'autres outils ont été développés spécifiquement pour les besoins de l'étude. Ces outils se répartissent en outils de discrimination horizontale et outils de discrimination verticale, qui sont définis par la suite.

Dans un contexte de carence de données et de conflits d'intérêts entre experts, il faut s'attendre à ce que l'on obtienne des courbes de fréquence caractérisées par une forte dispersion des données. Il a été montré dans la section précédente que les outils classiques de mesures de tendance centrale et de dispersion sont peu à même de décrire lorsqu'une satisfaction est clairement exprimée ou pas. Par exemple, la moyenne prend en compte l'ensemble des données, alors qu'il s'agit au contraire de faire ressortir une tendance, qui peut être due à une partie seulement des experts. Pour autant, le but de l'exercice consiste à repérer tant la position relative d'un pic sur l'échelle de satisfaction, que sa magnitude (émergence significative d'un pic par rapport au reste des données).

4.4.1- Outils de discrimination horizontale

- Probabilité de présence des valeurs autour de la médiane

Dans la section sur les mesures de tendance centrale (section 4.3), des arguments ont été présentés pour montrer la pertinence d'utiliser la médiane comme mesure de tendance centrale d'un échantillon. Dans la section 3.3.4, une distinction nette a été faite entre l'échelle de valeur utilisée et ses différentes composantes, à savoir une échelle basée sur le signifiant et des valeurs intermédiaires. Ceci a été fait afin de laisser la possibilité à l'expert de différencier deux scénarios entre eux. En même temps, le concept de l'écart significatif d'échelle ε a été introduit (section 3.3.4). Pour l'échelle considérée, ε est égal à 2.

La probabilité de présence d'une certaine valeur autour de la médiane est un outil de discrimination horizontale, dans la mesure où il permet de distinguer les valeurs le long de l'axe des abscisses. A partir du postulat suivant : « les valeurs de satisfaction se trouvant à une distance de la médiane inférieure à l'écart significatif d'échelle représentent la même satisfaction », il est possible de définir cette probabilité, notée $P_{<2}$ comme suit :

$$P_{<2} = P(|Ev - Méd_{tot}| < 2) \quad (4.1)$$

où :

P : Probabilité
Ev : Valeur de l'évaluation
Méd_{tot} : Médiane de l'échantillon total

Cette mesure de probabilité permet donc simplement d'intégrer, dans la mesure de tendance centrale, toutes les valeurs autour de la médiane qui représentent la même satisfaction (même signifiant). La connaissance simultanée de ces deux valeurs donne des indications précises sur la façon dont les données sont éparpillées autour de la médiane.

Pour les cas où les valeurs se trouvent autour de la médiane, il est possible de déterminer la proportion des valeurs qui se trouvent immédiatement au delà des limites de $P_{<2}$ et que l'on peut définir comme suit :

$$P_{\leq 2} = P(|Ev - Méd_{tot}| \leq 2) \quad (4.2)$$

où :
P : Probabilité
Ev : Valeur de l'évaluation
Méd tot : Médiane de l'échantillon total

La seule différence par rapport à l'équation (4.1) concerne le signe d'inégalité, qui permet d'inclure les valeurs immédiatement autour de $P_{<2}$, et qui ont donc un signifiant supérieur ou inférieur d'une unité.

Si $P_{<2}$ est important et qu'il n'existe pas ou peu de valeurs directement autour ($P_{\leq 2}$ très semblable $<a P_{<2}$), cela signifie que l'on a affaire à un pic émergent et clairement défini. En d'autres termes, que la médiane regroupe autour d'elle une majorité d'opinions concordantes décrivant une satisfaction clairement exprimée. Au contraire, si ces deux probabilités sont dissemblables, alors il s'agira plutôt d'un pic diffus, étalé, et l'on ne pourra alors plus parler de satisfaction clairement exprimée, mais d'un autre type de satisfaction qui sera décrit plus loin. Une façon simple et rapide de se rendre compte de cet état de fait est le calcul du rapport entre $P_{<2}$ et $P_{\leq 2}$. On écrira ce rapport comme suit :

$$\frac{P_{<2}}{P_{\leq 2}} \quad (4.3)$$

- Intervalle de séparation entre les différentes mesures de tendance centrale

Un autre type de discrimination horizontale se déduit en mesurant les écarts significatifs existants entre la médiane et les différents modes de l'échantillon et des catégories d'experts (tanneurs, le personnel gouvernemental, la société civile).

Il est nécessaire d'émettre préalablement un certain nombre de postulats afin de pouvoir élaborer ces différents outils, :

- Postulat 1 : L'écart entre la médiane de l'échantillon total ($Méd_{tot}$) et le mode 1 (plus haute fréquence obtenue) de l'échantillon total ($Mod1_{tot}$) est caractéristique du type de satisfaction. Plus cet écart est grand, moins la

médiane est capable, à elle seule, de représenter convenablement la satisfaction des différentes catégories d'experts. Ce postulat peut se traduire par l'expression suivante :

$$\text{Post}_1 = | \text{Méd}_{tot} - \text{Mod}1_{tot} | \quad (4.4)$$

- Postulat 2 : L'écart entre la médiane de l'échantillon total (Méd_{tot}) et les modes 1 des différentes catégories d'experts ($\text{Mod}1_{A,C,G}$) est également caractéristique du type de satisfaction. Plus cet écart est grand, moins la médiane est susceptible, à elle seule, d'inclure convenablement la satisfaction des catégories d'experts. Ce postulat peut se transcrire par l'expression suivante :

$$\text{Post}_2 = | \text{Méd}_{tot} - \text{Mod}1_{A,C,G} | \quad (4.5)$$

- Postulat 3 : L'écart existant entre les modes 1, 2 et 3 de l'échantillon total est, de la même façon, caractéristique du type de satisfaction. Plus cet écart est grand, moins il est probable d'obtenir une satisfaction unique clairement exprimée par l'ensemble des experts. Etant donné que le mode 3 peut très bien se trouver entre le mode 1 et le mode 2, il est important de distinguer entre l'écart du mode 1 avec le mode 2 ($\text{Sép}_{1,2}$), et l'écart total compris entre les modes 1, 2 et 3 ($\text{Sép}_{1,3}$), et ceci indépendamment de leur position relative. Par exemple, si $\text{Sép}_{1,2}$ a une valeur de 3, la valeur de $\text{Sép}_{1,3}$ pourra être de 3 ou plus, dépendamment de la position relative du mode 3 à l'intérieur ou extérieur des modes 1 et 2.

- Correspondance entre les modes

A priori, il paraît logique de penser que les modes 1, 2 et 3 correspondent aux pics principaux de satisfaction des différentes catégories. Encore faut-il le vérifier, surtout dans les cas, mêmes rares, où il existe plusieurs pics importants de satisfaction, dont la séparation est au moins équivalente à un écart significatif d'échelle. Il pourrait même s'agir alors de la représentation d'une non conformité entre différentes catégories d'experts, avec des opinions franchement opposées mais clairement exprimées. Il est donc nécessaire, avant de conclure à cette non conformité, de vérifier s'il existe une

correspondance entre les modes 1, 2 et 3 de l'échantillon total ($Modes_{tot}(1,2,3)$) et les modes 1 et 2 des différentes catégories d'expert ($Mod1,2_{A,C,G}$), ce qui pourrait se traduire par :

$$Modes_{tot}(1,2,3) \equiv Modes1,2_{A,C,G} \quad (4.6)$$

Le choix de ne considérer que les modes 1, 2 et 3 de l'échantillon total et les seuls modes 1 et 2 des catégories d'expert est délibéré et conduit naturellement à la notion de représentativité des différents échantillons. En effet, selon la taille de l'échantillon total et celle des différentes catégories d'expert qui la composent, il est nécessaire de définir un pourcentage ou une proportion considérée comme significative et représentative du reste de l'échantillon. Plus ce dernier est faible, plus cette proportion devra être importante⁴³. Cette dernière remarque conduit à la description des outils de discrimination verticale.

4.4.2- Outils de discrimination verticale

- Fréquence du Mode 1 de l'échantillon total

Il s'agit de la plus haute fréquence obtenue dans la courbe de fréquence de l'échantillon. Elle peut, lorsque très élevée, conditionner directement le choix du type de satisfaction. En effet, une fréquence de mode 1 supérieure à 50% de l'échantillon total révèle une satisfaction clairement exprimée car alors la médiane a de fortes possibilités de se trouver au niveau de ce mode 1, du moins pas plus éloignée qu'un écart significatif d'échelle.

Il existe une très forte corrélation entre la fréquence du Mode 1 et la probabilité de présence autour de la médiane. Cette dernière semble cependant plus à même de représenter un certain type de satisfaction, puisqu'elle inclut les valeurs se trouvant autour de la médiane, et en deçà de l'écart significatif d'échelle. Par contre, l'inverse n'est pas forcément vrai : on peut se trouver en présence d'une forte probabilité P_{-2} et d'une fréquence de Mode 1 relativement faible. C'est du moins le cas lorsque la médiane ne correspond pas exactement à la valeur de satisfaction du mode 1. D'où l'intérêt d'utiliser la

⁴³ En ce qui concerne le présent projet, ces proportions seront commentées dans la section 4.5.4 dédiée à la détermination de l'écart type catégoriel.

fréquence de Mode 1 comme outil complémentaire à celui de $P_{<2}$ afin de vérifier qu'il existe bien une concordance directe entre $P_{<2}$ et la présence effective du mode 1 à l'intérieur de l'écart significatif d'échelle.

- Rapport entre fréquences des modes 1, 2 et 3

Il s'agit bien d'une discrimination verticale dans les courbes de fréquence. En effet, une fois vérifiée la position des différents modes de l'échantillon total, il reste à s'assurer que les pics obtenus « émergent » clairement du reste des évaluations. Pour cela, il est pertinent de déterminer le rapport existant entre la fréquence du mode 1 et celle du mode 2 de l'échantillon total, rapport qui peut s'écrire comme suit :

$$R_{\frac{1}{2}} = \frac{f(\text{Mode1})}{f(\text{Mode2})} \quad (4.7)$$

Quelle que soit la position relative des modes 1 et 2, ce rapport permet de se donner une idée concrète de la façon dont le mode 1 émerge de la courbe de fréquence. Plus ce rapport est élevé, moins le mode 2 devient significatif par rapport au mode 1 pour exprimer la satisfaction de l'échantillon. A l'inverse, plus il se rapproche de la valeur 1, moins le mode 1, à lui seul, devient représentatif d'une satisfaction clairement exprimée par une seule valeur de satisfaction.

Une situation plausible de se présenter est celle où même la fréquence du mode 3 est significative. Par effet de « dilution » des réponses tout au long de l'échelle de satisfaction, on obtient alors des courbes de fréquence plutôt aplaties, dans lesquelles aucune valeur précise n'est capable de caractériser la satisfaction de l'échantillon total. Il devient donc pertinent d'intégrer un nouvel outil dans la méthodologie finale, outil qui s'exprime comme étant le ratio entre la fréquence du mode 1 et celle du mode 3 :

$$R_{\frac{1}{3}} = \frac{f(\text{Mode1})}{f(\text{Mode3})} \quad (4.8)$$

4.4.3- Outils statistiques complémentaires

D'autres outils de caractérisation de courbes de fréquence ont été utilisés dans ce travail. Ils se décomposent en outils graphiques de représentation des données et d'autres outils, de type statistiques principalement, qui ont montré leur utilité dans les cas de courbes de fréquence caractérisées par une forte dispersion de données. Ceci en vue de la formalisation de la méthodologie finale permettant de catégoriser les différents type de satisfaction auxquels il sera fait référence dans la section 4.5.

- Apport de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale et satisfaction pondérée totale.

Une autre façon de vérifier la façon dont chaque catégorie d'évaluateur a participé effectivement à la satisfaction totale et satisfaction pondérée totale⁴⁴, est de la représenter graphiquement. A cet égard, un exemple concret est montré avec le critère naturel 1 (Charge de sel dans l'effluent) appliqué au scénario 1 (Rencontrer les normes environnementales en zone urbaine). Cet exemple se présente sous forme des graphiques en toile d'araignée dans les figures 4.3 et 4.4 :

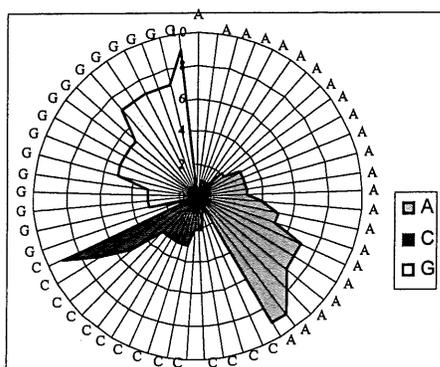


Figure 4.3: Apport de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale

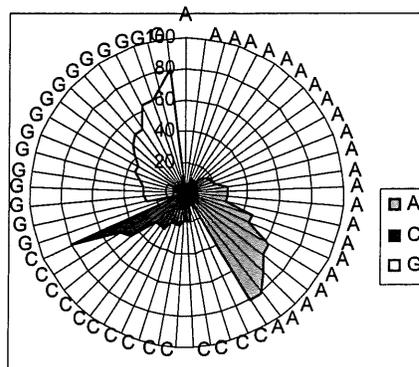


Figure 4.4.: Apport de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction pondérée totale

⁴⁴ La satisfaction totale s'obtient en faisant la sommation, pour un couple critere-scénario donné, des valeurs de satisfaction accordées par chacun des experts. La satisfaction pondérée totale s'obtient en faisant la sommation, pour un couple critere-scénario donné, du produit de la valeur de la satisfaction avec la valeur de la pondération correspondante accordées par chacun des experts.

La figure 4.3 montre la distribution des réponses des différents évaluateurs, regroupés en catégories d'expert. Il est possible d'observer des différences de distribution entre les tanneurs (C) et le gouvernement (G), par exemple. Les premiers – distribution étroite – ont considéré que l'application de ce critère à ce scénario était loin d'être satisfaisant : seuls deux évaluateurs ont donné une satisfaction supérieure à 5. Par contre, les personnes issues du gouvernement semblent l'apprécier beaucoup plus – distribution large - avec des évaluations marquées pour les valeurs 5 et 7. La comparaison entre ces deux distributions permet donc, à priori, de se faire une idée de la façon dont chaque catégorie d'expert a répondu à un couple critère – scénario donné. Du moins permet-il de se rendre compte de l'homogénéité des réponses pour et entre chaque catégorie d'expert.

Les mêmes commentaires peuvent s'appliquer à la figure 4.4. La différence réside dans le fait qu'il s'agisse maintenant de satisfactions pondérées par le poids initialement donné par chacun des évaluateurs. La comparaison au cas par cas entre ces deux figures pour chaque couple critère – scénario permet d'obtenir rapidement des conclusions intéressantes sur l'opinion des évaluateurs. Exemple : une distribution large et plate pour le premier graphique (satisfaction simple) qui se transforme en une distribution étroite pour le second (satisfaction pondérée) permet de conclure que, malgré la haute satisfaction obtenue du critère vis-à-vis de ce scénario, les évaluateurs ne considèrent pas ce critère comme important : conclusion on ne peut plus profitable pour le chargé de prendre des décisions !

Cette représentation de la distribution des réponses n'est cependant pas suffisante et peut être avantageusement complétée par une autre donnée statistique. C'est du moins le cas lorsqu'il n'y a pas exactement le même nombre de critères par catégories ou le même nombre d'experts par catégorie d'évaluateurs. Dans ce travail, 7 critères sont issus de l'environnement naturel, 10 de l'environnement humain et 8 de l'environnement technico-économique, tandis que 14 évaluateurs sont des tanneurs, 16 proviennent du gouvernement et 23 sont issus de la société civile. Ainsi, est introduite la notion d'« apport relatif de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale ou satisfaction pondérée totale ». Ces mesures, exprimées en pourcentage, s'obtiennent avec les équations 4.9 et 4.10.

Apport relatif à la satisfaction totale (ARST)

$$ARST = \frac{(\sum S_i) * 100}{(\sum S_{TOT}) * n_C^j * n_E^i} \quad (4.9)$$

Où :

S_i : Satisfaction de la catégorie i (Gouvernement, tanneurs ou société civile)

S_{TOT} : Satisfaction totale

n_C^j : Nombre de critères du groupe de critère j (environnement naturel, humain ou technico-économique)

n_E^i : Nombre d'évaluateurs issus de la catégorie i.

Apport relatif à la satisfaction pondérée totale (ARSPT)

$$ARSPT = \frac{(\sum SP_i) * 100}{(\sum SP_{TOT}) * n_C^j * n_E^i} \quad (4.10)$$

Où :

SP_i : Satisfaction pondérée de la catégorie i.

SP_{TOT} : Satisfaction pondérée totale

n_C^j : Nombre de critères du groupe de critère j.

n_E^i : Nombre d'évaluateurs issus de la catégorie i.

Les chiffres obtenus, pour chaque catégorie d'évaluateurs, permettent d'indiquer si l'une ou l'autre de ces catégories a massivement ou, au contraire, pauvrement participé à la satisfaction totale. A titre d'exemple, une catégorie qui, à elle seule, apporterait plus de 45% ou moins de 25% à la satisfaction totale, dénoterait fatalement un déséquilibre profond et, probablement, une absence de concordance d'opinions entre catégories d'évaluateurs.

- Degré d'asymétrie ou coefficient de dissymétrie (CD)

Ce paramètre permet de mesurer la dispersion des données. Il ne s'agit pas seulement de prendre en compte la distribution des données autour de la moyenne, mais d'intégrer la forme même de la courbe de fréquence. Le degré d'asymétrie d'une distribution est mesuré par le coefficient de dissymétrie (CD), défini par l'équation 4.11, et qui tient compte de la distance entre la moyenne arithmétique et la médiane, et du degré de dispersion des données.

$$CD = \frac{3(\bar{x} - Méd)}{s} \quad (4.11)$$

Où :

\bar{x} : moyenne arithmétique

Méd : Médiane

s : Ecart type

Lorsque le coefficient de dissymétrie est égal à zéro, la courbe est dite symétrique, et la médiane et la moyenne se confondent. Au contraire, plus la courbe est asymétrique, positivement ou négativement, plus le coefficient de dissymétrie s'éloigne de la valeur zéro.

En résumé, plus une distribution est asymétrique, moins la moyenne est pertinente en tant que mesure de tendance centrale. Dans ce cas, la moyenne doit toujours être accompagnée ou substituée par la médiane (Gilles, 1994). Néanmoins, le CD a été utilisé dans cette étude afin de vérifier la normalité des courbes de fréquence et de pouvoir conclure assez rapidement à une convergence d'opinion lorsque cette mesure était égale à zéro, ou proche de cette valeur. Cependant, comme il sera montré dans le chapitre des résultats, un coefficient de dissymétrie nul ou proche de zéro n'est pas une condition suffisante pour arriver à ce type de conclusion.

- Les quantiles

Les quantiles correspondent à des valeurs qui subdivisent les histogrammes en tranches correspondant aux pourcentages désirés. Dans le travail présenté ici, l'utilisation de ces

mesures est limitée, sauf dans le cas des quartiles 0 et 4. Ces derniers permettent en effet de se rendre compte de l'amplitude des résultats obtenus, indépendamment de leur répartition le long de l'axe des abscisses.

Deux autres outils d'analyse statistique ont été créés, l'indicateur de convergence d'opinion (ICO) et l'indicateur de précision des évaluations (IPE). Dans la mesure où ils font référence à des concepts décrits plus loin, ils sont présentés dans la section 5.3.4.

4.5- Types de satisfaction

La valeur de satisfaction d'un scénario s'obtient en sommant les produits de la valeur de satisfaction pour chaque critère par la valeur de pondération correspondante. Cette valeur correspond à un chiffre brut, mais ne fait pas mention de la façon dont les satisfactions sont exprimées dans les diagrammes en bâtons. Les outils présentés dans la section précédente laissent entrevoir la possibilité de rencontrer trois types distincts de satisfaction : la satisfaction unimodale, plurimodale et d'intervalle.

4.5.1- Satisfaction unimodale (SU)

Le cas idéal d'une Satisfaction Clairement Exprimée (SCE) se présente lorsqu'une seule valeur - en l'occurrence la médiane - peut à elle seule exprimer de façon satisfaisante l'opinion de l'ensemble des experts, traduisant une opinion concordante généralisée de ces experts sur une valeur précise caractérisant le degré de satisfaction obtenu d'un certain critère par rapport à un scénario.

Si l'on se réfère à la notion de consensus, la satisfaction unimodale représenterait le consensus entre les parties. Graphiquement, un pic important (haute fréquence) émerge significativement du reste des pics ou valeurs. Toutefois, il est nécessaire de définir précisément et préalablement la valeur des seuils au dessus desquels il sera admis que l'on se trouve en présence d'un pic unimodal. Là encore, la détermination de ces derniers est, bien entendu, on ne peut plus subjective et devrait même, idéalement, s'adapter au cas par cas avec le preneur de décision en fonction du problème traité. Dans le cas

étudié, des discussions qui ont inclus CICUR ont mené à la détermination de la valeur des seuils présentés ci-après. Cependant, une analyse de sensibilité sur les valeurs de ces seuils et ses conséquences sur les résultats est menée à la section 5.4.

Une satisfaction est considérée comme unimodale lorsqu'au moins une des deux conditions suivantes est respectée : atteinte du seuil 1 ci-après ou respect complet, dans l'ordre, de la séquence des seuils 2, 3, 4 et 5.

Seuil 1 : Plus de 85% des données se trouvent à l'intérieur de l'écart significatif d'échelle autour de la médiane.

Cette valeur de seuil, bien que subjective par définition, est suffisamment conservatrice pour juger d'une satisfaction unimodale, et donc d'une convergence nette d'opinion. Par ailleurs, elle joue ici un rôle plus pratique que décisive quant à la détermination du type de satisfaction, dans la mesure où elle permet à l'analyste d'éviter de passer par les trois seuils décrits à la suite⁴⁵.

De la même manière, la satisfaction sera dite unimodale lorsque la séquence complète suivante de seuils est respectée, dans l'ordre :

Seuil 2 : Au minimum 50% des données se situent à l'intérieur de l'écart significatif d'échelle ;

ET

Seuil 3 : A l'intérieur de cet écart, il existe un pic principal unique représentant au minimum 35% des données ;

ET

Seuil 4 : La valeur de mesure de tendance centrale de l'échantillon total ($Méd_{tot}$) ne se situe pas au delà de l'écart significatif d'échelle des pics principaux des différentes catégories d'évaluateurs (Mode 1 de l'échantillon total et des différentes catégories d'expert) ;

ET

Seuil 5 : Afin d'obtenir une ségrégation verticale nette entre le premier et le second pic de l'échantillon total, le rapport entre ces 2 pics ($R_{1/2}$) doit être supérieur ou égal à 1,6.

⁴⁵ Voir à ce sujet la section 5.4.1, sur l'analyse de sensibilité de ce seuil.

Par contre, si un seul des seuils 2 à 5 mentionné précédemment n'est pas respecté, alors il ne sera pas possible de conclure à une satisfaction unimodale.

Encore une fois, la valeur de 1,6 du seuil 5 a été choisie avec la participation de CICUR, après discussion et examen approfondi de l'ensemble des courbes de fréquence de tous les couples critères – scénarios. En effet, il n'existe apparemment pas d'autre méthodologie moins subjective à la détermination de ces seuils, sauf peut être celle qui consiste justement à procéder à une analyse Delphi conventionnelle spécifiquement développée à cette fin, ce qui n'est pas l'objet de ce travail. Quoi qu'il en soit, il est important de réitérer que ces valeurs ont été adaptées à la problématique étudiée, mais que tout autre projet devra ajuster ces valeurs en fonction des propres critères établis par le preneur de décision ou responsable de projet. Par ailleurs, rien n'empêche de réviser à la hausse ou à la baisse la valeur de ce seuil après obtention des premiers résultats. A ce propos, la section 5.4 décrit, en plus d'une analyse de sensibilité, les enjeux associés aux valeurs de ces seuils. Tout dépend en fin de compte de l'exigence ou de la souplesse du preneur de décision, avec toute la subjectivité que cela comporte⁴⁶.

4.5.2- Satisfaction plurimodale (SP)

A l'autre extrémité de cette échelle théorique de « consensus » se trouve le cas où deux valeurs - ou plus - caractérisent, de façon indépendantes et clairement exprimées⁴⁷, la satisfaction de l'échantillon total. C'est le cas, par exemple, où l'un des groupes de pression choisit une certaine valeur de satisfaction, tandis que l'autre de ces groupes en choisit une différente, bien distincte. C'est le cas typique d'une non concordance d'opinion de différents experts, donc d'un non consensus flagrant. L'expression mathématique de la satisfaction plurimodale en devient foncièrement plus complexe, de par le nombre possible de combinaisons de paramètres qui peuvent amener à celle-ci.

⁴⁶ Ce sujet sera repris également dans le chapitre de la discussion.

⁴⁷ Il s'agit donc, là aussi, d'une Satisfaction Clairement Exprimée (SCE).

On dira d'une satisfaction qu'elle est plurimodale si elle remplit les conditions suivantes :

Seuil 6 : Que la probabilité de présence des données à l'intérieur de l'écart significatif d'échelle autour de la médiane ne soit pas supérieur à 65% ;

ET

Seuil 7 : Que l'un au moins des seuils 2, 3, 4 et 5 ne soit pas respecté ;

ET

Seuil 8 : Que le rapport entre le premier et le troisième pic plus important ($R_{1/3}$) soit supérieur ou égal à 2 ;

ET

Seuil 9 : Que la séparation sur l'échelle de satisfaction entre le premier et le second pic soit supérieur à un écart significatif d'échelle, soit 2, et que la séparation totale de satisfaction entre les trois pics principaux⁴⁸ soit supérieure à 3 ;

ET

Seuil 10 : Qu'il existe une correspondance nette entre les premiers pics de chaque catégorie (Modes 1 et 2 des catégories A, C et G) et, au moins, les trois premiers pics de l'échantillon total.

4.5.3- Satisfaction d'intervalle (SI)

Dans cette section, il sera traité du type de satisfaction qui ne remplit pas les conditions des satisfactions unimodales et plurimodales, c'est-à-dire d'une satisfaction dont une ou plusieurs valeurs isolées ne peuvent représenter fidèlement l'opinion de l'ensemble. Il s'agit de la satisfaction d'intervalle, une sorte de satisfaction « molle et diffuse », dont la précision sera d'autant moins forte que l'intervalle sera grand. En ce sens, elle constitue, au contraire de la satisfaction unimodale et plurimodale, une Satisfaction Non Clairement Exprimée (SNCE).

Graphiquement, ce type de satisfaction est caractérisé par des courbes aplaties, sans patron de comportement logique et d'où n'émergent pas de pics de satisfaction particuliers.

⁴⁸ Il s'agit des trois premiers pics, et non pas des modes 1, 2 et 3. Ceci permet de prendre en compte les cas des modes multiples.

Toutes les satisfactions qui ne sont pas des satisfactions unimodales ou plurimodales sont regroupées dans la catégorie des satisfactions d'intervalle. Pour autant, aucun seuil d'admissibilité pour ce type de satisfaction n'est défini.

4.5.4- Détermination de l'écart type catégoriel

Il reste désormais à décrire comment doit s'opérer le choix des valeurs qui caractériseront les satisfactions d'intervalle (SI) et plurimodales (SP). Ces valeurs seront définies par la suite comme écart type catégoriel (ETC) et correspondent en quelque sorte à un **intervalle de confiance** dans lequel se situe la satisfaction potentielle. Dans le cas de la S.P, les 2 ou 3 valeurs correspondent aux niveaux de satisfaction pour lesquels il existe des pics importants et significatifs décrivant l'opinion contrastée des experts. Pour les S.I, les valeurs correspondent à l'intervalle de satisfaction dans lequel se situe l'opinion des experts, sans qu'il soit possible de les définir plus précisément, car alors on aurait affaire à une SU ou SP. Il est clair ici que l'écart type catégoriel pour une satisfaction unimodale est toujours égal à 1.

Ici encore, le principe de base repose sur les pics significatifs de l'échantillon total ou d'une des catégories d'expert, c'est-à-dire ceux dont la fréquence est considérée comme suffisante pour qu'il soit décidé de les prendre en compte. Suite à l'observation attentive de l'ensemble des courbes de fréquence, et après discussion avec CICUR, il a été décidé que ces pics devront être considérés si leur fréquence relative représente au moins 15% de l'échantillon total, et au moins 25% pour les groupes catégoriels. Cette ségrégation entre les deux est somme toute assez logique, dans la mesure où, fatalement, le nombre d'évaluateurs d'une certaine catégorie d'expert sera toujours inférieur au nombre total de l'échantillon⁴⁹.

La méthodologie choisie pour la détermination des différents modes ou intervalles est la suivante :

⁴⁹ Dans le travail présenté ici, 53 évaluations différentes ont été recueillies en tout, nombre presque deux fois supérieur à celui suggéré par Dalkey et al. (1969).

Cas de la satisfaction plurimodale (SP)

Dans la majorité des cas, les deux valeurs choisies seront systématiquement les modes 1 et 2 de l'échantillon total. En effet, il est impossible qu'il en soit autrement, car il ne pourrait plus s'agir alors d'une satisfaction plurimodale. Seul cas particulier, lorsque la séparation totale sur l'échelle de satisfaction entre les modes 1, 2 et 3 est de 8 et à la condition que le mode 3 ne soit pas situé entre les deux premiers. La probabilité qu'il en soit ainsi est très faible : il faudrait que chacun de ces 3 pics ait une fréquence de près de 33% de l'échantillon total, laissant toutes les autres valeurs de satisfaction « vides ». Par contre, comme il sera montré dans la section 5.4, la variation de certains seuils peut conduire à l'obtention de satisfactions plurimodales triples, dont les pics ne sont séparés que de 2 degrés de satisfaction (par exemple : SP 1,3,5). En ce cas, et étant donné l'écart significatif d'échelle utilisé dans cette étude, il faudra conclure à une SI 1-5, ou alors combiner les deux en notant la satisfaction comme SP1-3,3-5.

Cas de la satisfaction d'intervalle (SI)

La définition de la valeur de l'écart type catégoriel de la SI se fait en plusieurs étapes :

Etape 1 : Sommer les fréquences, dans l'ordre, des modes 1, 2, 3, voire 4. Si la fréquence de l'un de ces modes est inférieure à 15%, alors ce mode ne sera pas considéré comme significatif et ne sera pas pris en compte dans le calcul de l'intervalle.

Etape 2 : Prendre l'écart maximal entre les différents modes significatifs obtenus durant l'étape précédente.

Etape 3 : Vérifier que l'écart obtenu englobe l'écart des modes 1 catégoriels, en ne considérant que les modes significatifs, soit ceux dont la fréquence est supérieure à 25%.

Si l'écart total coïncide avec l'écart des modes 1 des catégories d'expert, l'intervalle est alors validé. Dans le cas contraire, l'intervalle est incrémenté jusqu'à intégrer ces dernières valeurs. Cette ultime démarche assure que les pics de satisfaction significatifs des différentes catégories soient bien pris en compte dans l'intervalle final.

4.5.5- Cas particulier des modes multiples

Par mode multiple, il est entendu ici des modes qui sont représentés plusieurs fois dans une courbe de fréquence. Par exemple, un bimode 1 signifie qu'il existe deux valeurs de satisfaction qui obtiennent la même fréquence maximale. Ou encore, un trimode 2 révèle la présence de trois modes 2 égaux en fréquence.

La présence de ces modes multiples peut rendre l'interprétation de certains seuils plus complexe. La démarche à suivre lorsqu'ils se présentent est décrite à la suite, selon le type de seuil considéré :

- Seuil 3 : Dans le cas d'un bimode 1, ne considérer dans la fréquence du seuil 3 que l'un des deux modes, et pas la somme des fréquences des deux modes 1.
- Seuil 4 : Le seuil 4 doit être respecté quel que soit le mode 1 considéré.
- Seuil 5 : Dans le cas d'un bimode 1, le rapport $R_{1/2}$ sera automatiquement de 1 et la condition du seuil 5 ne sera alors pas atteinte. Dans le cas d'un bimode 2, seule la fréquence de l'un de ces modes sera prise en compte dans le calcul du rapport $R_{1/2}$.
- Seuil 8 : Mêmes considérations que pour le seuil 5, à la différence que le mode 2 est remplacé par le mode 3.
- Seuil 9 : Les conditions de ce seuil doivent être respectées quel que soit les modes 1, 2 ou 3 choisis. Par exemple, le premier des bimodes 1 peut satisfaire la condition $Sép_{1-2} > 2$ mais pas le second. Dans ce cas, la condition requise par le seuil 9 n'est pas satisfaite.

- Seuil 10 : Les commentaires pour le seuil 9 s'appliquent de la même façon au seuil 10.

4.6- Hiérarchisation des outils

Tous les éléments sont désormais en place pour élaborer le diagramme décisionnel destiné à définir le type de satisfaction. Dans la section précédente ont été décrits les seuils – et leur séquence - nécessaires à la définition de l'un ou l'autre type de satisfaction. Il ne reste qu'à hiérarchiser ces règles, c'est-à-dire à définir l'agencement de la séquence logique d'analyse des données débouchant sur le choix du type de satisfaction.

Tout d'abord, il semble logique de commencer par les satisfactions unimodales, et de poursuivre par les plurimodales et enfin les satisfactions d'intervalle. La première raison est que cela facilite la prise de décision de l'analyste. En effet, comme il a été décrit dans la section antérieure, si l'un ou l'autre des seuils sur lesquels repose la décision de satisfaction unimodale n'est pas atteint, l'analyste peut passer directement aux autres seuils pour les deux autres types de satisfaction. Le même commentaire s'applique pour passer d'une satisfaction plurimodale à une d'intervalle. L'autre raison dérive du fait que les seuils qui caractérisent la satisfaction unimodale sont plus restrictifs que pour les autres types de satisfaction.

En ce qui concerne les deux types de ségrégation (horizontale ou verticale), il convient de se servir tout d'abord des outils de discrimination horizontale. En effet, prenons l'exemple de la satisfaction unimodale : si le but recherché consiste en la détermination de la valeur de satisfaction qui représente au mieux l'opinion d'un échantillon, alors il est nécessaire d'analyser la dispersion des données autour de la médiane et seulement ensuite utiliser les outils de discrimination verticale afin de vérifier que le mode 1 se trouve bien à l'intérieur de l'écart significatif d'échelle.

En résumé, les outils de discrimination verticale – par exemple, la fréquence du mode 1 – doivent être utilisés en dernier parce qu'ils sont assujettis à l'éparpillement des données autour de la mesure de tendance centrale (discrimination horizontale) ; et le contraire n'est pas vrai puisque le seul fait que le rapport entre le mode 1 et le mode 2 soit supérieur ou

non à 1,6 n'implique pas forcément que ce - ou ces - mode(s) se trouve(nt) à proximité de la mesure de tendance centrale.

La figure 4.5 représente ce cas de figure. Le rapport des fréquences des modes 1 et 2 de l'échantillon total est ici supérieur à 1,6, ce qui laisserait supposer que l'on a affaire à une satisfaction unimodale. Cependant, ces deux modes, de par la distribution des données, se situent au delà d'un écart significatif d'échelle par rapport à la médiane. En l'occurrence, ϵ est égal ici à 3. Donc, le seul fait que le rapport $R_{1/2}$ soit supérieur à 1,6 n'implique pas nécessairement qu'il s'agisse d'une satisfaction unimodale.

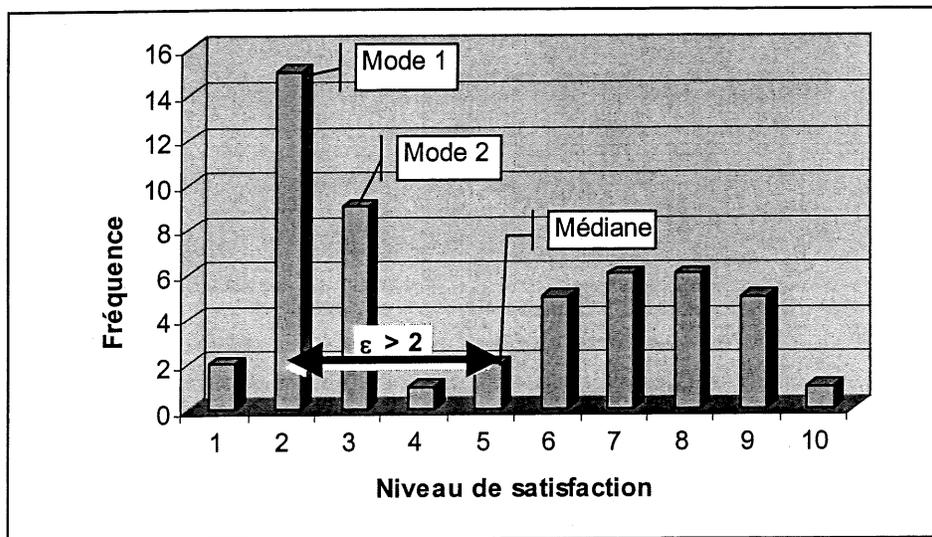


Figure 4.5 : illustration de la hiérarchisation des outils.

Seul cas particulier : la satisfaction plurimodale. Elle est obtenue par la négation des seuils de la satisfaction unimodale (discrimination horizontale, puis verticale) et par le respect des seuils de discrimination horizontaux propres à la satisfaction plurimodale. Dit autrement, la satisfaction plurimodale s'obtient par le non respect successif des seuils décrivant la satisfaction unimodale puis ceux relatifs à la satisfaction d'intervalle. En effet, la satisfaction plurimodale suggère l'existence d'un intervalle mais, contrairement à la S.I, les valeurs comprises entre les intervalles doivent avoir une fréquence très peu élevée, de façon à ce qu'émergent les deux pics aux extrémités de ce même intervalle.

L'ensemble des réflexions faites précédemment permet dorénavant de déterminer le diagramme de définition de l'écart type catégoriel. Pour des raisons de facilité de lecture, les acronymes suivants seront utilisés pour les différents types de satisfaction :

TABLEAU 4.1 : ACRONYMES DES DIFFÉRENTS TYPES DE SATISFACTION

Type de satisfaction	Exemple	Acronyme
Satisfaction unimodale	Satisfaction unimodale de valeur 7	SU ₇
Satisfaction plurimodale	Les valeurs 3 et 7 de satisfaction représentent, à elles seules, la satisfaction de l'échantillon total	SP _{3,7}
Satisfaction d'intervalle	L'intervalle des valeurs de satisfaction comprises entre 3 et 7 représentent, au mieux, l'opinion générale de l'échantillon total	SI ₃₋₇

4.7- Filtre de détermination du type de satisfaction

L'écart type catégoriel correspond à l'intervalle des valeurs de la satisfaction décrivant et respectant au mieux l'opinion de l'échantillon dans son ensemble. Une valeur d'ETC égale à 1 résulte donc en une satisfaction unimodale, alors que tout Ecart Type Catégoriel supérieur à cette valeur implique une satisfaction plurimodale ou d'intervalle.

Le diagramme de la figure 4.6 présente le cheminement à suivre pour déterminer le type de satisfaction. Celui-ci est divisé en deux parties : les seuils de discrimination horizontale et les seuils de discrimination verticale. Le premier seuil à passer est souligné par la présence du cercle avec la mention « 1 ». Puis, successivement, il faut passer d'un seuil à un autre jusqu'à pouvoir conclure au type de satisfaction.

Chaque couple critère - scénario est évalué indépendamment, ainsi que chaque courbe de fréquence des pondérations.

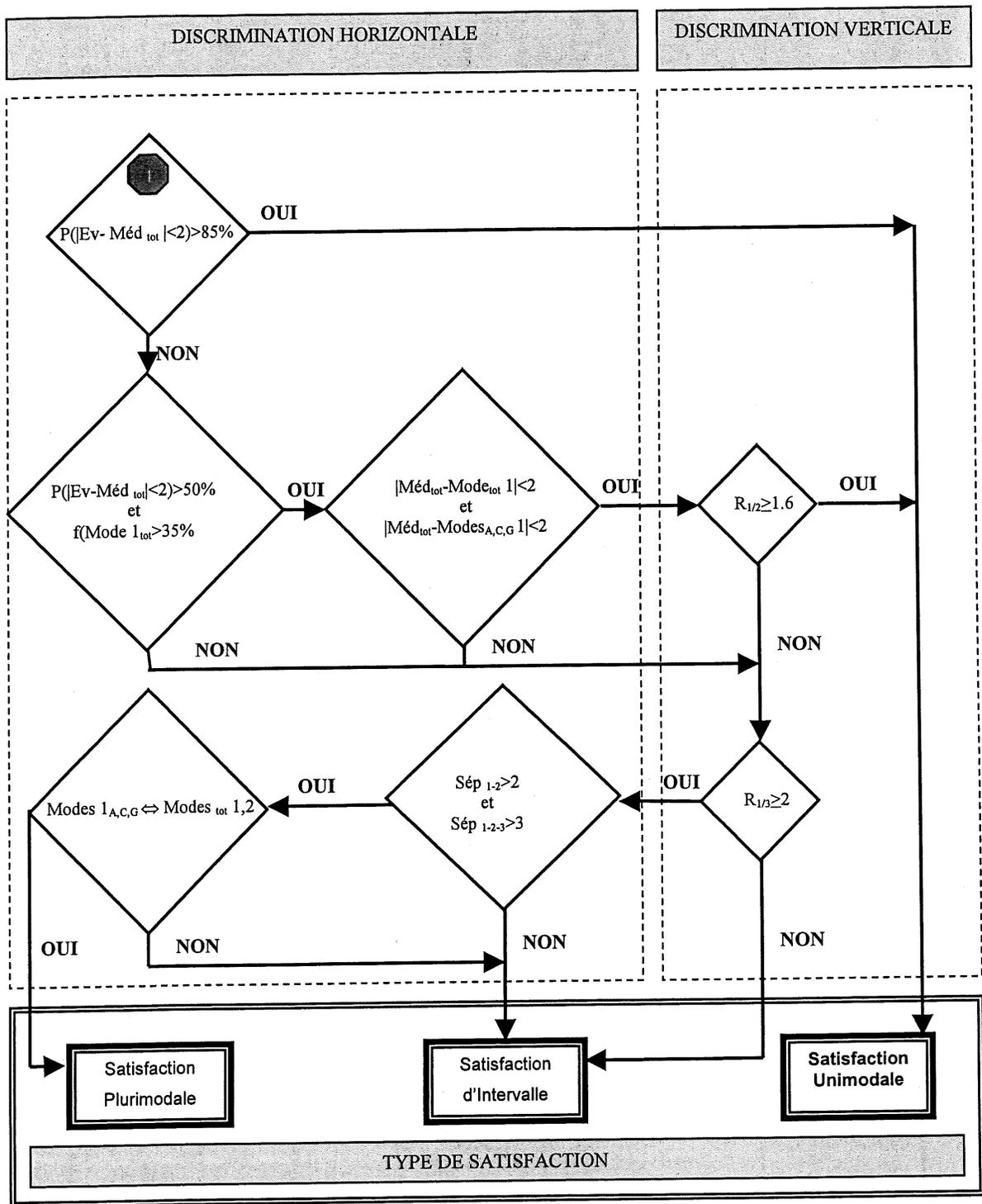


Figure 4.6 : Filtre de détermination du type de satisfaction.

5.- RESULTATS ET INTERPRETATIONS

5.1- Introduction

Une description des résultats bruts de l'analyse de la satisfaction conventionnelle sera d'abord présentée (voir figure 5.1) de façon succincte dans les sections 5.2.1 à 5.2.6. Dans la dernière section (5.2.6), une description rapide des éléments qui ont mené au développement d'une nouvelle méthodologie d'analyse de sensibilité catégorielle est présenté. Par ailleurs, quelques commentaires généraux seront émis sur le cas particulier des critères du développement durable et les leçons apprises. Une analyse plus poussée des résultats obtenus par la méthode Delphi conventionnelle est décrite par Cormier (2002).

Dans une seconde partie (section 5.3) sera décrite la façon dont les données ont été traitées par le filtre de paramètres, débouchant sur la détermination du type de satisfaction et de l'écart type catégoriel. Des représentations graphiques sont proposées afin de mieux comprendre l'intérêt de la méthode.

Ces paramètres comportent des seuils limites, destinés à la détermination de l'écart type catégoriel. Une analyse de sensibilité (section 5.4) sur la valeur de certains de ces seuils est proposée par la suite. Le choix de ceux-ci parmi l'ensemble des paramètres présents dans le filtre est dû à leur importance particulière pour la détermination du type de satisfaction.

La dernière section (5.5) fera quelques recommandations sur l'interprétation des résultats de l'analyse de sensibilité. Elle reviendra sur le sens et les enjeux de chaque type de satisfaction, et proposera des éléments qui doivent permettre à l'analyste de tirer un profit avantageux de la méthodologie proposée. Elle suggérera des actions à entreprendre afin de donner un suivi adéquat aux résultats obtenus et de construire de nouvelles solutions susceptibles de rallier une majorité d'acteurs, et s'assurera ainsi que cette nouvelle approche se constitue en véritable outil d'aide à la prise de décision.

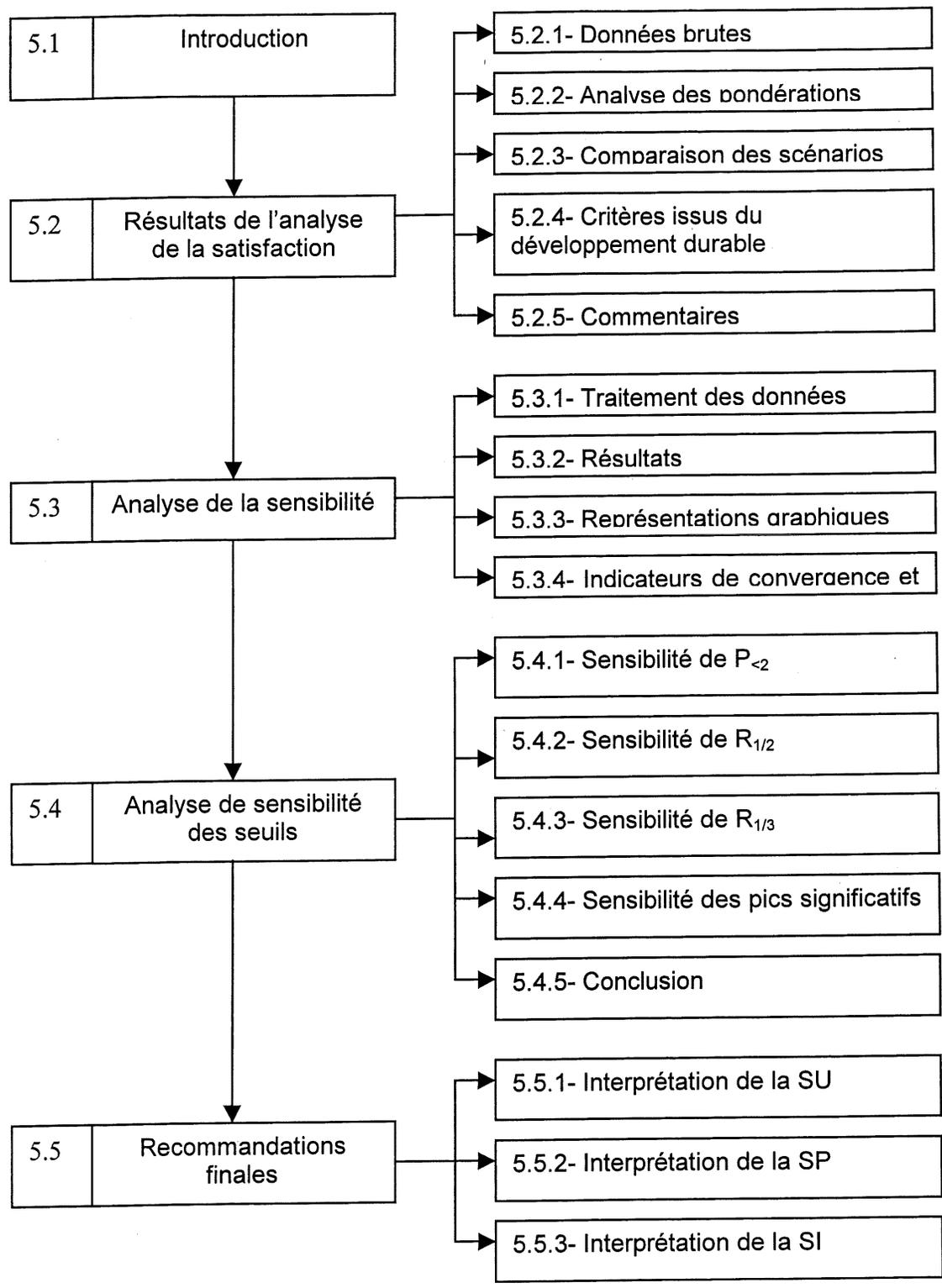


Figure 5.1 : Schéma méthodologique de la présentation des résultats.

5.2- Résultats de l'analyse de la satisfaction

5.2.1- Analyse des données brutes pour les critères issus de l'analyse fonctionnelle

Le tableau 5.1 présente les totaux des satisfactions et satisfactions pondérées des 53 évaluateurs pour les seuls critères issus de l'analyse fonctionnelle⁵⁰, critères qui sont résumés dans les tableaux 3.3 et 3.4 et repris ici dans le tableau 5.1. Le classement est fait en fonction de la satisfaction des experts pour chacun des scénarios, lesquels sont présentés à la section 3.4.2.

Les critères sont séparés selon leur catégorie : naturel (NAT), humain (HUM) et technico-économique (TEC). La première colonne nommée « p » est celle donnant les pondérations de chacun des 18 critères, indépendamment des scénarios (voir section 3.3.5). Les colonnes de 1 à 6 correspondent aux 6 scénarios (tableau 3.6). Ces six colonnes contiennent les totaux de la satisfaction du scénario fournis par les 53 évaluateurs pour chacun des critères.

Les six colonnes représentées par la multiplication de « p » par les chiffres de 1 à 6 présentent les totaux de la satisfaction pondérée du scénario fournis par les 53 évaluateurs (i.e. l'évaluation du scénario pour un critère multiplié par la pondération du critère). Un sous total de chaque catégorie de critères donne l'addition des 53 évaluations de ces derniers pour le scénario étudié. Ce sous total est accompagné du classement du scénario par rapport aux autres scénarios selon la même catégorie.

⁵⁰ Rappel : seuls les critères de l'analyse fonctionnelle sont susceptibles de proportionner un classement ordinal et cardinal des scénarios. Les critères issus des définitions du développement durable ont été présentés à titre indicatif (voir section 3.4.1).

TABLEAU 5.1 : RESULTATS DES TOTAUX DES EVALUATIONS AVEC LES CRITERES DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE.

CRITERES	p	SCE 1		SCE 2		SCE 3		SCE 4		SCE 5		SCE 6	
		Ev	p x 1	Ev	p x 2	Ev	p x 3	Ev	p x 4	Ev	p x 5	Ev	p x 6
NAT 1	425	214	1748	386	3141	278	2285	341	2707	383	3145	100	764
NAT 2	397	268	2037	366	2831	300	2309	347	2641	353	2700	122	851
NAT 3	420	230	1786	369	2989	272	2185	313	2514	365	2973	146	1093
NAT 4	355	256	1695	344	2392	272	1897	317	2207	333	2305	176	1176
NAT 5	332	252	1608	326	2159	270	1777	313	2023	315	2043	170	1083
SOUS TOTAL	1929	1220	8874	1791	13512	1392	10453	1631	12092	1749	13166	714	4967
CLASSEMENT		5		1		4		3		2		6	
HUM 3	443	286	2351	348	2935	319	2671	360	3022	345	2899	201	1679
HUM 4	433	275	2233	365	2975	320	2647	347	2847	333	2746	189	1547
HUM 6	398	305	2304	291	2180	317	2388	306	2314	259	1950	251	1914
HUM 7	405	310	2399	308	2379	309	2396	327	2528	318	2481	198	1579
HUM 8	368	263	1860	293	2087	293	2093	336	2405	263	1874	200	1401
HUM 9	358	257	1772	324	2241	321	2221	348	2393	307	2067	172	1188
HUM 10	373	241	1693	320	2314	314	2245	364	2621	302	2212	153	1067
SOUS TOTAL	2778	1937	14612	2249	17111	2193	16661	2388	18130	2127	16229	1364	10375
CLASSEMENT		5		2		3		1		4		6	
TEC 3	406	254	2041	328	2497	322	2502	366	2839	312	2412	167	1304
TEC 4	387	270	2100	301	2251	305	2271	331	2518	331	2523	227	1681
TEC 5	440	255	2215	332	2807	302	2554	322	2722	331	2774	177	1494
TEC 6	374	295	2110	325	2325	309	2222	336	2420	299	2153	220	1619
TEC 7	399	270	2108	305	2339	313	2390	333	2562	333	2573	224	1713
TEC 8	420	267	2130	328	2622	308	2450	339	2702	316	2538	179	1433
SOUS TOTAL	2426	1611	12704	1919	14841	1859	14389	2027	15763	1922	14973	1194	9244
CLASSEMENT		5		3		4		1		2		6	
TOTAL	7133	4768	36190	5959	45464	5444	41503	6046	45985	5798	44368	3272	24586
CLASSEMENT GENERAL		5		2		4		1		3		6	

Dans ce tableau, $p = \sum_i^{53} p_i$, où p est la pondération donnée par chaque évaluateur i. Par

ailleurs, $Ev = \sum_i^{53} ev_i$, où ev_i est l'évaluation (valeur de satisfaction) donnée par chaque évaluateur i.

5.2.2- Analyse des pondérations

De manière générale, tous les critères ont reçu une forte pondération. Cela suppose d'une part qu'ils ont tous été perçus par les évaluateurs comme importants et représentants correctement les fonctions décrivant la problématique étudiée et d'autre part que le choix des critères a été fait avec succès si bien que, de ce point de vue, l'étude en question a fait usage d'outils pertinents. Le tableau 5.2 présente le classement décroissant des critères de l'analyse fonctionnelle en fonction de la pondération, ou valeur d'importance obtenue.

TABLEAU 5.2 : CLASSEMENT DES CRITERES DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

Position	Critère	Total
1	HUM 3 Santé des travailleurs	443
2	TEC 5 Accès à la ressource eau	440
3	HUM 4 Santé de la population	433
4	NAT 1 Charge de sel dans l'effluent	425
5	NAT 3 Quantité d'eau utilisée	420
5	TEC 8 Impact sur le secteur	420
7	TEC 3 Disponibilité d'équipement et technologies	406
8	HUM 7 Impact à moyen long terme sur l'emploi	405
9	TEC 7 Qualité de la matière première	399
10	HUM 6 Impact immédiat sur l'emploi	398
11	NAT 2 Charge des autres polluants dans l'effluent	397
12	TEC 4 Accès à la matière première	387
13	TEC 6 Accès à la matière secondaire	374
14	HUM 10 Réceptivité politique	373
15	HUM 8 Accès à la connaissance et information	368
16	HUM 9 Réceptivité de la population	358
17	NAT 4 Quantité d'énergie utilisée	355
18	NAT 5 Quantité de matière secondaire	332

Note : La distribution du tableau 5.2 obtient une moyenne de 396.29, pour un écart-type de 31.44. Seul le critère NAT 5 est exclu si l'on considère l'intervalle formé par la moyenne plus ou moins deux écarts-type.

Parmi les critères les mieux évalués, on retrouve ceux qui font référence à la santé, à la ressource eau ainsi qu'à la problématique spécifiquement étudiée ici, à savoir la charge de sel dans les effluents. Il est important de noter qu'à ce jour, aucune étude sérieuse n'a été entreprise au Mexique faisant le lien entre l'activité du tannage et la santé humaine, thème qui semble pourtant fortement préoccuper les évaluateurs.

De la même manière, le thème de l'eau occupe les premières places dans l'esprit des experts. Non seulement les tanneurs ont besoin de cette ressource afin de produire des peaux à León, mais tant le gouvernement que la société civile semblent préoccupés par cette mauvaise gestion qui pourrait compromettre gravement leur qualité de vie et conditionner le développement économique futur de l'Etat de Guanajuato. Par ailleurs, l'ensemble des experts comprend l'importance et l'impact que peut avoir le sel sur les nappes phréatiques, inquiétude partagée par tous.

En moyenne, l'ensemble des critères est considéré par les évaluateurs comme importants et la pondération n'a pas eu d'effet modificateur sur le classement des scénarios. Ce qui n'est pas tout à fait le cas pour les critères, pris isolément.

Dans certains cas, la pondération a eu comme effet de mettre en évidence certains critères, dont : HUM 3 (Santé des travailleurs), TEC 3 (Disponibilité de l'équipement et de la technologie), TEC 5 (Accès à la ressource eau) et NAT 1 (Charge de sel dans l'effluent) qui sont des critères fortement évalués. Dans d'autres cas, la pondération a mené à une sous évaluation de certains critères, comme HUM 10 (Réceptivité politique), HUM 8 (Accès à la connaissance et à l'information), HUM 9 (Réceptivité de la population), NAT 4 (Quantité d'énergie utilisée) et NAT 5 (Quantité de matière secondaire).

Par ailleurs, il ne semble pas possible de faire la distinction entre les pondérations des différentes catégories d'évaluateurs, ce qui permet de conclure à une certaine uniformité dans la manière d'évaluer les critères.

5.2.3- Comparaison des scénarios

Les tableaux 5.3 et 5.4 présentent les scénarios classés en ordre par catégorie de critères issus de l'analyse fonctionnelle (naturels, humains et technico-économiques) et selon le grand total obtenu, c'est-à-dire l'addition de la satisfaction pour les 18 critères. Dans le tableau 5.3, les scénarios sont classés selon les satisfactions pondérées (données par les 53 évaluateurs) pour chacun des 18 critères. Dans le tableau 5.4, ils sont classés selon les satisfactions seules.

TABLEAU 5.3 : CLASSEMENT DES SCÉNARIOS PAR CATEGORIE DE CRITERE. CAS DES SATISFACTIONS PONDÉRÉES.

Catégorie de critères	1 ^e position		2 ^e position		3 ^e position		4 ^e position		5 ^e position		6 ^e position	
	Scé	Tot										
NAT	2	13512	5	13166	4	12092	3	10453	1	8874	6	4967
HUM	4	18130	2	17111	3	16661	5	16229	1	14612	6	10375
TEC	4	15763	5	14973	2	14841	3	14389	1	12704	6	9244
TOTAL	4	45985	2	45464	5	44368	3	41503	1	36190	6	24586

TABLEAU 5.4 : CLASSEMENT DES SCÉNARIOS PAR CATEGORIE DE CRITERE. CAS DES SATISFACTIONS SEULES.

Catégorie de critères	1 ^e position		2 ^e position		3 ^e position		4 ^e position		5 ^e position		6 ^e position	
	Scé	Tot										
NAT	2	1791	5	1749	4	1631	3	1392	1	1220	6	714
HUM	4	2388	2	2249	3	2193	5	2127	1	1937	6	1364
TEC	4	2027	5	1922	2	1919	3	1859	1	1611	6	1194
TOTAL	4	6046	2	5959	5	5798	3	5444	1	4768	6	3272

Le classement des scénarios selon les catégories de critère ne change pas entre les deux tableaux précédents. Les scénarios 1 et 6 (respectivement « rencontrer les normes en zone urbaine » et « Statu quo ») sont fortement sous évalués puisqu'ils occupent,

respectivement et pour chaque catégorie de critère, l'avant dernière et dernière position. Le scénario 6 est dominé par les cinq autres scénarios pour tous les critères : il ne constitue donc pas un Optimum de Pareto et doit donc être écarté. Quant au scénario 1, il est dominé par les scénarios 2, 3, 4 et 5 pour tous les critères, sauf pour les critères HUM 5, HUM 6 et HUM 7 (respectivement Respect de la culture locale et Impact à court, moyen et long terme sur l'emploi). Ce scénario ne peut donc à priori être écarté.

Ces constatations confirment deux faits importants : tout d'abord qu'il y a urgence de prendre des décisions. En effet le scénario 6 suppose de ne rien changer en l'état des choses et cela ne semble pas du tout concorder avec l'opinion des experts. Ensuite que la possibilité de rencontrer les normes en zone urbaine (scénario 1) semble peu crédible aux yeux des évaluateurs, même si ce scénario respecte la culture locale séculaire et préserve les emplois. Dans ce dernier cas, le scénario 1 obtient des niveaux de satisfaction qui sont même supérieurs à ceux des scénarios 2 et 5 pour l'impact sur l'emploi à court terme, et supérieurs aux scénarios 2 et 3 pour l'impact à moyen et long terme. Lorsque l'on se réfère aux seules catégories de critères, ces scénarios 1 et 6 sont dominés pour les catégories NAT et TEC. Il semble exister dans l'esprit des évaluateurs une corrélation importante qui lie l'activité du processus humide au respect de la culture locale. Même si, comme il sera montré à la suite, ces scénarios 1 et 6 sont dominés par les autres scénarios (principalement par les nouveaux scénarios, qui ne proviennent pas du contrat du Rio Turbio, voir section 3.4.2) et ne semblent pas du tout susceptibles de régler la problématique du sel dans les effluents, les experts semblent confiants dans la possibilité de poursuivre comme auparavant et suggèrent même qu'il s'agit d'alternatives raisonnables si l'on désire avant tout conserver les emplois dans ce secteur. En quelque sorte, toute mise en place d'un scénario nouveau semble passer fatalement par le sacrifice des emplois et par la perte identitaire culturelle des habitants de León.

Une deuxième constatation importante est que les scénarios 2, 4 et 5 constituent le tiercé gagnant. Le scénario 4 (équivalent au scénario 3 si ce n'est qu'il implique un regroupement des tanneries) est très fortement évalué. Ceci peut paraître surprenant lorsque l'on connaît les échecs fracassants et répétés des tanneurs qui ont tenté de se

regrouper en coopératives⁵¹. Quant aux scénarios 2 et 5, les seuls qui intègrent le concept de réduction à la source, contrairement aux autres qui privilégient le traitement de fin de chaîne, ils sont fortement évalués. Il semble donc que, selon les experts, les principes de réduction à la source présentent des avantages par rapport aux systèmes conventionnels.

Quant au dernier critère TEC 8, « Impact sur le secteur », rien n'est à noter sinon qu'il a reçu une évaluation concordante avec le classement du scénario. Moins le scénario est apprécié par les évaluateurs, plus la satisfaction de ce critère est faible, ce qui pourrait indiquer qu'il n'y a pas eu d'évaluation émotive ou passionnelle, du moins pas de façon notable.

5.2.4- Critères issus du concept de développement durable

De la même manière que précédemment, le tableau 5.5 présente les résultats des évaluations totales, mais cette fois-ci avec les seuls critères issus du développement durable. Dans la mesure où certains critères sont communs à l'analyse fonctionnelle et au développement durable, ils ont été répétés dans ce nouveau tableau.

Il est important de rappeler que la seule fonction des critères issus du développement durable est d'assortir les premiers résultats d'une perspective « développement durable ». De façon générale, ces critères diffèrent des premiers en ce qu'ils proposent une vision à plus long terme. Or, l'ensemble de ces critères est loin de représenter la totalité des fonctions inhérentes à la problématique. Leur objectif se limite donc simplement à soumettre au preneur de décision une série d'informations complémentaires, mais non suffisantes en elles mêmes.

⁵¹ Comme, par exemple, le projet Eco-azul, sensé permettre d'acheter des peaux en Wet Blue. Après un an de mise en place et des investissements importants réalisés, la toute première réunion de la coopérative s'est soldée par un échec, ce qui a provoqué l'annulation pure et simple du projet.

TABLEAU 5.5 : RESULTATS DES EVALUATIONS AVEC LES CRITERES ISSUS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

CRITERES	p	SCE 1		SCE 2		SCE 3		SCE 4		SCE 5		SCE 6	
		Ev	p x 1	Ev	p x 2	Ev	p x 3	Ev	p x 4	Ev	p x 5	Ev	p x 6
NAT 3	420	230	1786	369	2989	272	2185	313	2514	365	2973	146	1093
NAT 4	355	256	1695	344	2392	272	1897	317	2207	333	2305	176	1176
NAT 6	435	246	2003	346	2881	300	2492	360	2999	352	2920	120	972
NAT 7	439	254	2113	340	2863	298	2508	353	2959	354	2942	123	1020
SOUS TOTAL	1649	986	7597	1399	11125	1142	9082	1343	10679	1404	11140	565	4261
CLASSEMENT			5		2		4		3		1		6
HUM 1	425	302	2402	334	2700	313	2540	332	2684	331	2675	226	1798
HUM 2	419	281	2202	348	2756	317	2550	351	2808	328	2638	193	1475
HUM 5	375	304	2155	304	2150	330	2367	325	2331	288	2042	278	1983
HUM 6	398	305	2304	291	2180	317	2388	306	2314	259	1950	251	1914
HUM 7	405	310	2399	308	2379	309	2396	327	2528	318	2481	198	1579
SOUS TOTAL	2022	1502	11462	1585	12165	1586	12241	1641	12665	1524	11786	1146	8749
CLASSEMENT			5		3		2		1		4		6
TEC 1	407	261	2027	318	2458	295	2277	331	2595	293	2322	171	1260
TEC 2	407	242	1895	344	2676	314	2470	340	2698	328	2583	168	1291
TEC 5	440	255	2215	332	2807	302	2554	322	2722	331	2774	177	1494
SOUS TOTAL	1254	758	6137	994	7941	911	7301	993	8015	952	7679	516	4045
CLASSEMENT			5		2		4		1		3		6
TOTAL	4925	3246	25196	3978	31231	3639	28624	3977	31359	3880	30605	2227	17055
CLASSEMENT GENERAL			5		2		4		1		3		6

Tel que présenté au tableau 5.6, les pondérations ont été fortement évaluées, et ceci malgré le caractère parfois « flou » des critères. Dans l'ensemble, les pondérations reçues se trouvent dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus pour les critères de l'analyse fonctionnelle. A noter cependant qu'ici, ce sont les critères naturels qui ont été le plus fortement évalués. Pour les experts, le concept de développement durable semble passer avant tout par une protection et préservation des ressources naturelles, avant les aspects humains et technico-économiques.

Quant au critère NAT 4 sur la quantité d'énergie utilisée, il est très fortement sous évalué. Ceci n'est pas surprenant, dans la mesure où l'énergie est encore très subventionnée par l'Etat. Cependant, en Février 2002, le Président de la République Mexicaine a annoncé la levée progressive de ces subventions sur l'énergie si bien que, si cette analyse était à refaire, des résultats différents pourraient être obtenus.

TABLEAU 5.6 : CLASSEMENT DES CRITERES DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Position	Critère	Total
1	TEC 5 Accès à la ressource eau	440
2	NAT 7 Responsabilité environnementale	439
3	NAT 6 Qualité de l'environnement	435
4	HUM 1 Nécessités fondamentales actuelles	425
5	NAT 3 Quantité d'eau utilisée	420
6	HUM 2 Nécessités fondamentales futures	419
7	TEC 1 Gestion à court terme	407
7	TEC 2 Gestion à long terme	407
8	HUM 7 Impact à moyen long terme sur emploi	405
9	HUM 6 Impact immédiat sur emploi	398
10	HUM 5 Respect de la culture locale	375
11	NAT 4 Quantité d'énergie utilisée	355

Note : la distribution du tableau 5.6 obtient une moyenne de 410,42, pour un écart-type de 25,6. Seul le critère NAT 4 est exclu si l'on considère l'intervalle formé par la moyenne plus ou moins deux écarts-type

Par contre, les classements des scénarios par catégorie de critère avec et sans les pondérations sont différents (tableaux 5.7 et 5.8, respectivement). Seul le classement général est resté identique à celui obtenu en considérant les critères de l'analyse fonctionnelle.

TABLEAU 5.7 : CLASSEMENT DES SCÉNARIOS PAR CATEGORIE DE CRITERES DU DEVELOPPEMENT DURABLE. CAS DES SATISFactions PONDÉRÉES

Catégorie de critère	1 ^o position		2 ^o position		3 ^o position		4 ^o position		5 ^o position		6 ^o position	
	Sc	tot										
Nat	5	11140	2	11125	4	10679	3	9082	1	7597	6	4261
Hum	4	12665	3	12241	2	12165	5	11786	1	11462	6	8749
Tec	4	8015	2	7941	5	7679	3	7301	1	6137	6	4045
Tot	4	31359	2	31231	5	30605	3	28624	1	25196	6	17055

TABLEAU 5.8 : CLASSEMENT DES SCÉNARIOS PAR CATEGORIE DE CRITERES DU DEVELOPPEMENT DURABLE. CAS DES SATISFactions SEULES

Catégorie de critère	1 ^o position		2 ^o position		3 ^o position		4 ^o position		5 ^o position		6 ^o position	
	Sc	tot										
Nat	5	1404	2	1399	4	1343	3	1142	1	986	6	565
Hum	4	1641	3	1586	2	1585	5	1524	1	1502	6	1146
Tec	2	994	4	993	5	952	3	911	1	758	6	516
Tot	2	3978	4	3977	5	3880	3	3639	1	3246	6	2227

De manière générale, on peut faire avec les critères du développement durable des constatations semblables à celles effectuées pour les critères de l'analyse fonctionnelle : même déconsidération pour les scénarios 1 et 6, et même peloton de tête des scénarios 2, 4 et 5.

Les scénarios 2 et 5, ceux qui proposent une réduction à la source, obtiennent des scores élevés en ce qui concerne les critères naturels, confirmation de ce qui a été dit précédemment sur les atouts environnementaux de cette approche. En ce qui concerne les critères technico-économiques, les scénarios 2 et 4 et, dans une moindre mesure, le scénario 5, semblent les mieux à même de consolider le secteur à plus ou moins long terme. A noter la première position occupée par le scénario 2 (tableau 5.8). Ceci suggère

que la partie humide du tannage ne devrait plus être réalisée à Léon, mais que les peaux devraient être achetées en Wet Blue chez un fournisseur externe. Il est possible ici d'utiliser la métaphore du nageur lesté d'un poids à la jambe. Le nageur représente la partie finition du cuir et le boulet la partie humide. Il semblerait probablement opportun un jour de reconsidérer la pertinence de continuer à produire du Wet Blue dans une ville dépourvue d'eau et éloignée des fournisseurs en peaux. Mieux vaudrait, pour sauver et renforcer le secteur dans son ensemble, couper la corde du poids qui entraîne inéluctablement le secteur en entier vers le fond.

En ce qui concerne les critères humains, le scénario 5 descend en quatrième position, aux dépens des autres critères. Une chose est de ne plus procéder à la production de Wet Blue à Léon, l'autre est d'aller le produire dans une région éloignée de la ville de Léon, ville à laquelle les experts semblent attacher, culturellement et de façon émotive, un rôle prépondérant. Il semble que le secteur est prêt à abandonner la production de Wet Blue à condition de trouver un partenaire externe sérieux pouvant leur fournir ces peaux à des prix et à une qualité acceptables. En effet, si l'on se réfère au seul critère HUM 5 « Respect de la culture locale », ce sont les scénarios 1, 3 et même 6 qui ont été les mieux notés. Ceci dénote l'extrême importance accordée aux scénarios plus conventionnels, même si certains ont d'ores et déjà montré leurs limites dans le passé. De fait, même l'option de ne rien faire l'emporte sur tout autre scénario impliquant des changements dans la façon - séculaire il est vrai - de procéder !

Le tableau 5.9 présente une comparaison du classement des scénarios selon si l'on introduit, ou non, les critères du développement durable dans la liste des critères.

Première constatation, l'inclusion des critères issus du développement durable n'a pas provoqué, pour cette étude précise, de modifications au niveau du classement final des scénarios. Ceci suggère que, dans l'ensemble, ces critères ont été bien acceptés par les évaluateurs et qu'ils présentent une certaine cohérence par rapport aux autres critères de l'analyse fonctionnelle. Une observation semblable peut se faire pour les deux catégories de critères naturels (NAT) et humains (HUM) : le classement avec les seuls critères issus de l'analyse fonctionnelle est identique à celui obtenu avec tous les critères confondus. Par contre, pour la catégorie des critères technico-économiques (TEC), l'inclusion des critères du développement durable altère le classement obtenu avec les seuls critères de

l'analyse fonctionnelle: les scénarios 5 et 2, respectivement en seconde et troisième position dans le classement, permutent et passent en troisième (scénario 5) et seconde (scénario 2) position. Plus encore, le classement tous critères confondus est celui obtenu avec les seuls critères du développement durable, et non pas celui avec les critères de l'analyse fonctionnelle.

TABLEAU 5.9 : INFLUENCE DES CRITERES DU DEVELOPPEMENT DURABLE SUR LE CLASSEMENT FINAL DES SCENARIOS

Catégorie de critère	Position des scénarios dans le classement					
	1 ^e	2 ^e	3 ^e	4 ^e	5 ^e	6 ^e
Critères de l'analyse fonctionnelle seuls						
NAT	2	5	4	3	1	6
HUM	4	2	3	5	1	6
TEC	4	5	2	3	1	6
TOT	4	2	5	3	1	6
Critères du développement durable seuls						
NAT	5	2	4	3	1	6
HUM	4	3	2	5	1	6
TEC	4	2	5	3	1	6
TOT	4	2	5	3	1	6
Tous critères confondus						
NAT	2	5	4	3	1	6
HUM	4	2	3	5	1	6
TEC	4	2	5	3	1	6
TOT	4	2	5	3	1	6

En résumé, hormis cette unique altération dans le classement, l'incorporation des critères du développement durable n'a pas eu de répercussions majeures sur les résultats. Elle peut être au contraire riche en enseignement pour le preneur de décision. En effet, les

points de satisfaction rajoutés par les critères du développement durable proviennent principalement des deux critères TEC 1 et TEC 2, qui correspondent à la gestion des ressources technico-économiques à court et moyen-long terme. Ces critères ont été fortement évalués pour le scénario 2, et beaucoup moins pour le scénario 5. L'idée même de se regrouper en coopérative, ou la croyance selon laquelle les ressources techniques et économiques seront mal utilisées en cas de relocalisation près des abattoirs, l'état actuel des équipements qui résisteraient mal à un déménagement, ou encore la crainte des coûts élevés et des changements dans les habitudes séculaires relatifs à l'application du scénario 5 constituent des éléments d'information et de réflexion déduits directement de cette permutation constatée dans le classement via l'intégration des critères du développement durable. La décision d'intégrer les critères du développement durable reste subjective et entraîne des biais, mais elle a permis de soulever un certain nombre de problèmes et de dégager quelques avenues de réflexion, qui n'auraient peut être pas été relevés autrement.

5.2.5- Commentaires sur les résultats obtenus

Les résultats obtenus de l'application de la méthode Delphi ont permis de déterminer un classement ordinal et cardinal des différentes alternatives présentées. Ces résultats comportent cependant certaines limitations. Tout d'abord, les sommes des satisfactions présentent un chiffre final qui ne rend pas compte des sensibilités particulières, surtout lorsque des groupes de pression ont été clairement identifiés. Ces derniers sont dilués dans l'ensemble et rien ne prouve – à priori – qu'ils ne se basent pas sur des réflexions pertinentes et utiles au futur preneur de décision. La seconde constatation se réfère aux cas où les satisfactions obtenues entre deux scénarios sont très proches. Très proches ne veut pas dire semblables : deux résultats finaux similaires peuvent cacher des disparités importantes d'évaluation au sein de chaque scénario, disparités difficiles à révéler par la méthode Delphi traditionnelle. Or, un seul critère mal évalué peut sérieusement remettre en question la pertinence d'application de telle ou telle alternative.

Dans le chapitre 2.6 (analyse de sensibilité), un certain nombre de méthodologies de post-optimisation ont été mentionnées. En effet, sauf convergence immédiate d'opinion, la

méthode Delphi invite à procéder à d'autres missions de consultations auprès des experts en leur présentant la position de leurs réponses par rapport à celle de la médiane. Ces méthodes consistent pour la plupart à évaluer la force de la position d'un scénario dans le classement final. En d'autres termes, elles permettent de vérifier la susceptibilité – ou sensibilité – du classement obtenu pour un scénario à une légère variation de degré de satisfaction d'un ou de plusieurs critères. Dans une étude de sensibilité, plus le nombre d'opérations nécessaires pour faire varier le classement est élevé, plus le scénario est « solidement ancré » dans son classement. Les experts sont donc interrogés de nouveau pour savoir s'ils maintiennent leurs choix ou s'ils se rallient plutôt à la mesure de tendance centrale. Or cette mesure unique, comme il sera montré dans la section suivante, ne peut que rarement rendre compte des satisfactions particulières des différents groupes d'expert.

Ces constatations ont donc mené à l'élaboration d'une méthode analytique qui complète cette mesure d'un certain nombre d'informations supplémentaires, basées sur la satisfaction particulière des catégories d'expert et dont la finalité est moins la détermination au sens strict de la meilleure alternative – et non plus de la moins mauvaise – mais de déterminer et comprendre les tenants et aboutissants de la problématique étudiée, ces fonctions spécifiques qui feront de l'application d'un certain scénario un échec ou un succès.

5.3- Analyse de la sensibilité catégorielle

La méthodologie suggérée au chapitre 3 proposait une analyse de sensibilité intégrant les opinions des catégories d'experts, ce qui sera décrit comme analyse de sensibilité catégorielle⁵². Des outils de caractérisation ont été présentés, susceptibles de faire la ségrégation entre trois types de satisfaction, outils dont la détermination de seuils conduit à la mesure de l'écart type catégoriel. L'ensemble de ces éléments sera maintenant

⁵² En règle générale, les analyses de sensibilité mesurent la robustesse du classement des alternatives (Bastidas et al., 1999). L'analyse de sensibilité catégorielle décrite ici diffère de cette définition en ce qu'elle s'intéresse plutôt à la caractérisation, le cas échéant, des satisfactions clairement exprimées (SCE) par les experts.

appliqué concrètement aux données obtenues de l'analyse multicritère sur la problématique du sel dans les effluents des tanneries de l'Etat de Guanajuato.

5.3.1- Traitement des données

Afin d'être en condition de pouvoir faire passer les données à travers le filtre de paramètres, il est nécessaire de procéder préalablement au traitement des données brutes, et ceci pour chaque couple scénario – critère, ainsi que pour l'ensemble des pondérations. Dans le but de faciliter le travail de l'analyste, un « tableau de bord décisionnel » a été élaboré, intégrant en une seule page l'ensemble des données requises par le filtre de paramètres.

Ce « tableau de bord décisionnel » est composé des éléments suivants (voir deux exemples de tableau de bord aux figures 5.2 (critère NAT 5, scénario 1) et 5.3 (critère HUM 8, scénario 6) ⁵³.

- En haut à droite, le rappel du critère, du scénario et de la catégorie du critère. Ce dernier est issu soit de l'analyse fonctionnelle, soit du développement durable.
- A gauche, en colonne, la liste brute des données des 53 experts. La mention du numéro assigné à l'expert (No), de son appartenance catégorielle (A, C, G), la valeur de la satisfaction (Ev) et celle de la pondération (P) ont été rajoutés.

⁵³ L'ensemble des 175 tableaux, incluant les 150 couples critère-scénario ainsi que les 25 pondérations, n'a pas été rajouté.

	No	P	Ev
A	1	7	2
C	2	7	5
G	3	5	5
G	4	5	5
G	5	8	5
G	6	9	1
G	7	9	5
G	8	5	3
A	9	3	5
C	10	7	5
C	11	5	3
C	12	9	5
C	13	7	5
C	14	7	5
C	15	5	7
A	16	6	5
A	17	6	5
A	18	7	3
A	19	5	5
C	20	9	9
A	21	9	8
C	22	5	7
G	23	7	3
A	24	9	5
G	25	6	5
A	26	7	5
A	27	7	5
A	28	7	7
G	29	5	5
G	30	5	5
G	31	7	5
G	32	5	5
G	33	9	5
A	34	7	1
A	35	5	3
C	36	7	7
C	37	7	5
G	38	7	5
C	39	9	7
G	40	7	7
A	41	5	2
A	42	5	1
A	43	5	0
A	44	0	6
A	45	0	6
A	46	7	3
A	47	3	7
A	48	5	3
A	49	7	5
A	50	5	4
G	51	8	5
C	52	9	9
C	53	5	3

Tableau 1: parametres

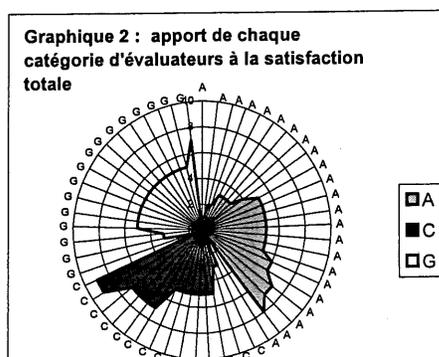
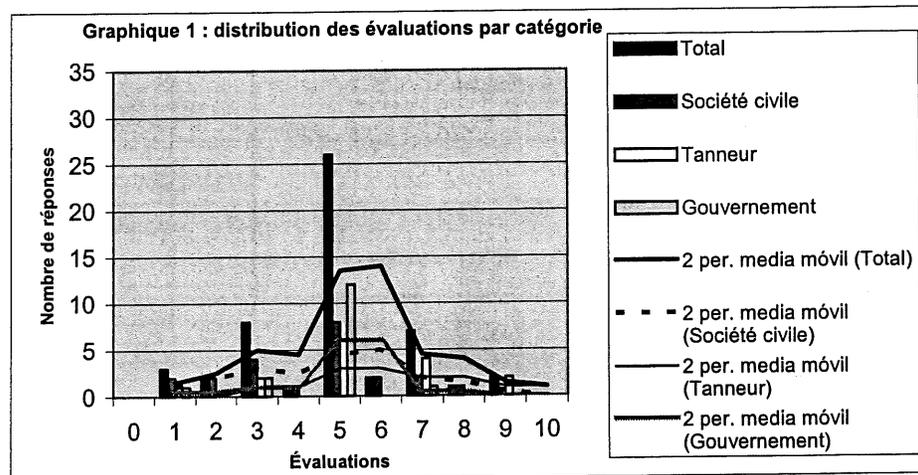
Parametres	Eval
Médiane	5
Mode 1	5
fréq. (%)	49.1
Mode 2	3
fréq cumm (%)	64
Mode 3	7
fréq cumm (%)	77
$P_{(Ev-Med <2)}$ (%)	55.8
$P_{(Ev-Med \leq 2)}$ (%)	84.6
$\frac{P_{<2}}{P_{\leq 2}}$	0.66
sép. 1-2	2
sép. 1-2-3	4
$R_{1/2}$	3.3
$R_{1/3}$	3.8
Ecart type	1.8191
Coef. variat. %	37.537
Coef. assym.	2.6659
Quartile 0	1
Quartile 4	9

Critere	Scénario	Catégorie
NAT5	1	AF

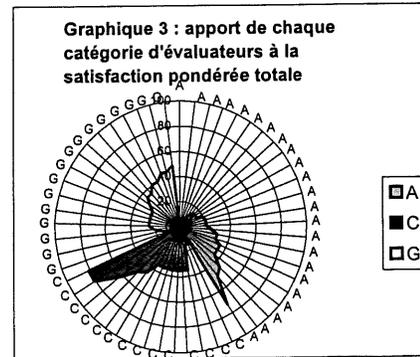
	Type de satisfaction	ETC
Concl.	SU 5	1

Tableau 2: détermination des modes par catégorie

	Ev.	n	A	n	C	n	G	n
1e mode	5	26	5	8	5	6	5	12
2e mode	3	8	3	4	7	4	3	2
3e mode	7	7	1	2	3	2	1	1
4e mode	1	3	2	2	9	2	7	1



Apport relatif de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale		
28	40	32
A%	C%	G%



Apport relatif de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction pondérée totale		
24	44	32
A%	C%	G%

n = 52

Figure 5.2 : Exemple de tableau de bord décisionnel : cas du critère NAT 5 et scénario 1

No	P	Ev	
A	1	6	5
C	2	6	1
G	3	7	3
G	4	7	5
G	5	8	3
G	6	9	1
G	7	5	5
G	8	3	1
A	9	5	1
C	10	6	1
C	11	5	5
C	12	9	7
C	13	7	3
C	14	9	5
C	15	5	3
A	16	6	5
A	17	7	7
A	18	9	1
A	19	5	1
C	20	8	7
A	21	5	1
C	22	10	0
G	23	9	5
A	24	5	5
G	25	8	5
A	26	7	5
A	27	7	5
A	28	7	1
G	29	5	5
G	30	7	5
G	31	7	3
G	32	7	5
G	33	7	1
A	34	9	1
A	35	7	6
C	36	7	6
G	37	10	3
C	38	5	1
C	39	9	1
G	40	9	7
A	41	8	1
A	42	7	2
A	43	8	4
A	44	7	9
A	45	7	9
A	46	3	9
A	47	6	0
A	48	3	1
A	49	9	5
A	50	7	5
G	51	7	5
C	52	8	8
C	53	9	1

Parametres	Eval
Médiane	5
Mode 1	5
fréq. (%)	32
Mode 2	1
fréq cumm (%)	62
Mode 3	3
fréq cumm (%)	74
$P_{(Ev-Med <2)}$ (%)	38.46
$P_{(Ev-Med \leq 2)}$ (%)	57.69
$P_{<2} / P_{\leq 2}$	0.67
sép. 1-2	4
sép. 1-2-3	4
$R_{1/2}$	1.1
$R_{1/3}$	2.7
Ecart type	2.5079
Coef. variat. %	65.2
Coef. dissym.	1.6109
Quartile 0	0
Quartile 4	9

Ev.	n	A	n	C	n	G	n	
1e mode	5	17	1	8	1	5	5	8
2e mode	1	16	5	7	3	2	3	4
3e mode	3	6	9	3	5	2	1	3
4e mode	7	4	2	1	7	2	7	1

Apport relatif de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale		
34	31	35
A%	C%	G%

Apport relatif de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction pondérée totale		
32	33	35
A%	C%	G%

Critere	Scénario	Catégorie
HUM8	6	ANALYSE FONCTIONNELLE

Type de satisfaction		ETC
Concl.	SP	1,5

Tableau 2: distribution des évaluations par catégorie

Ev.	n	A	n	C	n	G	n	
1e mode	5	17	1	8	1	5	5	8
2e mode	1	16	5	7	3	2	3	4
3e mode	3	6	9	3	5	2	1	3
4e mode	7	4	2	1	7	2	7	1

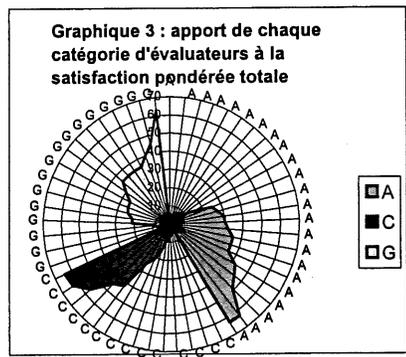
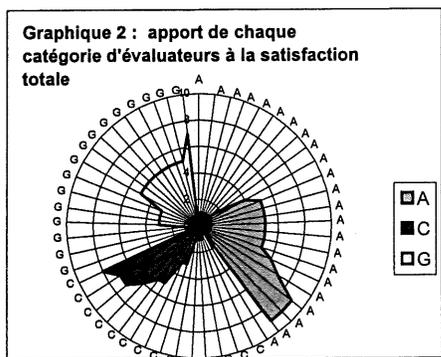
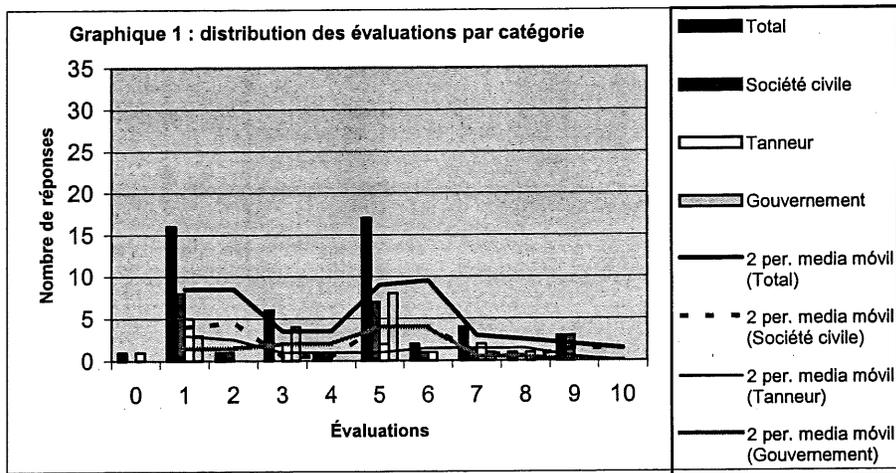


Figure 5.3 : Exemple de tableau de bord décisionnel : cas du critère HUM 8 et scénario 6

- Tableau 1 : il correspond à la valeur des paramètres suivants :
 - Médiane ;
 - La valeur des modes 1, 2 et 3 de l'échantillon total et leurs fréquences;
 - La probabilité de présence des données à une distance sur l'échelle de satisfaction inférieure à 2 autour de la médiane ($P_{<2}$) ;
 - La probabilité de présence des données à une distance inférieure ou égale à 2 autour de la médiane ($P_{\leq 2}$) ;
 - Le rapport entre les deux probabilités précédentes ($P_{<2}/P_{\leq 2}$) ;
 - La séparation existante, sur l'échelle des abscisses, entre la position du mode 1 et celle du mode 2 (Sép 1-2) ;
 - La séparation maximale existante, sur l'échelle des abscisses, entre les positions des modes 1, 2 et 3 (Sép 1-2-3) ;
 - Le rapport de fréquence entre mode 1 et mode 2 de l'échantillon total ($R_{1/2}$) ;
 - Le rapport de fréquence entre mode 1 et mode 3 de l'échantillon total ($R_{1/3}$) ;
 - L'écart type ;
 - Le coefficient de variation, exprimé en pourcentage ;
 - Le coefficient de dissymétrie ;
 - Le quartile 0 et le quartile 4.

- Tableau 2 : ce tableau rappelle, pour l'échantillon total et pour chaque catégorie d'expert, la position des quatre premiers modes, ainsi que le nombre de réponses correspondantes pour chacune de ces positions. De cette façon, il devient aisé de vérifier s'il existe une correspondance entre les modes 1, 2 et 3 de l'échantillon total et les premiers modes de chacune des catégories d'expert. A noter qu'il est fait référence non pas aux modes 1, 2, 3, etc., mais aux premiers modes, indépendamment de l'existence ou non de modes multiples, étant donné que ces derniers constituent des cas particuliers à traiter séparément⁵⁴.

- Graphique 1 : il s'agit d'un graphique en bâton avec, en abscisse, la valeur de la satisfaction et en ordonnée le nombre de réponses correspondantes, ceci pour l'échantillon total et pour chaque catégorie. Par ailleurs, des courbes de tendance dont le paramètre est la moyenne mobile de période 2 ont été également

⁵⁴ Voir à ce sujet la section 4.5.5.

rajoutées⁵⁵. La période 2 n'est pas le fruit du hasard puisqu'il a été montré que le chiffre 2 correspondait à un écart significatif d'échelle. L'utilisation de cette courbe permet à l'analyste de dégager la tendance générale, sans se laisser influencer par les faibles fréquences obtenues logiquement pour les satisfaction paires, dont le signifiant n'était pas mentionné dans l'échelle d'évaluation.

- Graphique 2 : il représente, dans un graphique du type toile d'araignée, la satisfaction ordonnée de chacun des 53 experts. Il est complété en dessous par les résultats du calcul de l'apport relatif de chaque catégorie d'évaluateurs à la satisfaction totale, et est exprimé en pourcentage.
- Graphique 3 : semblable au graphique 2, à l'exception du fait qu'il s'agisse de la satisfaction pondérée.

Ce tableau de bord contient donc tous les éléments nécessaires à la détermination du type de satisfaction pour chacun des tableaux de bords décisionnels ainsi que, le cas échéant, à la valeur de l'écart type catégoriel.

5.3.2- Résultats de l'application du filtre de paramètres

Les résultats de l'application de la méthodologie de définition de l'ETC sont présentés dans l'annexe 3. Les commentaires suivants peuvent être faits à partir des résultats obtenus.

Sur l'ensemble des 175 résultats d'application de la méthodologie, seuls 41 sont des satisfactions unimodales – soit 23% des cas – et les valeurs obtenues sont toujours équivalentes à la valeur de la médiane correspondante. Les SU se répartissent de la façon présentée au tableau 5.10.

⁵⁵ Ils apparaissent en espagnol sur les tableaux de bord : « 2 per. media movil »

TABLEAU 5.10 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE CATEGORIELLE :
SATISFACTIONS UNIMODALES

Catégories de critères et pondérations	Nombre de SU	Valeurs de la SU
Critères naturels	13 sur 42 (31%)	<ul style="list-style-type: none"> • 5 SU 1 • 3 SU 5 • 1 SU 6 • 1 SU 7 • 3 SU 8
Critères humains	10 sur 60 (17%)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 SU 6 • 9 SU 7
Critères technico-économiques	9 sur 48 (19%)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 SU 5 • 8 SU 7
Pondérations	9 sur 25 (36%)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 SU 7 • 2 SU 8 • 6 SU 9

Note : La notation "5 SU 1" signifie qu'il existe 5 satisfactions unimodales dont le pic se situe à une valeur 1 de satisfaction, soit "très insatisfaisant".

Ceci est en soi une donnée très importante, dans la mesure où cela signifie que dans 23% des cas seulement, la médiane est capable de caractériser l'opinion de l'ensemble des experts. Rappelons que dans la méthode DELPHI classique, les missions de consultation successives ont pour objectif de présenter aux experts les résultats de la ronde antérieure afin de leur demander de reconsidérer éventuellement leur opinion et de s'ajuster, le cas échéant, à la médiane obtenue. Cela signifie que si la méthode classique Delphi était utilisée dans cette présente étude, les évaluateurs seraient amenés dans le reste des cas, soit 77%, à s'ajuster à une valeur qui représente mal l'opinion de l'échantillon total.

Sur les 175 évaluations, 4 sont des satisfactions plurimodales (SP), soit à peine 2%. Rappelons ici que la satisfaction plurimodale serait, dans une échelle théorique de consensus, la plus petite valeur possible. Ces satisfactions plurimodales se répartissent de la façon présentée au tableau 5.11.

TABLEAU 5.11 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE CATEGORIELLE :
SATISFACTIONS PLURIMODALES

Catégories de critères et pondérations	Nombre de SP	Valeurs de la SP	Valeur de la médiane correspondante
Critères naturels	1 sur 42 (2%)	• 5 et 9	• 5 (NAT 6-3)
Critères humains	2 sur 60 (3%)	• 1 et 5 • 1 et 5	• 5 (HUM 6-6) • 5 (HUM 8-6)
Critères technico-économiques	1 sur 48 (2%)	• 3 et 7	• 7 (TEC 1-5)
Pondérations	0 sur 25 (0%)		

Note : Les valeurs 5 et 9 de SP (cas de la première ligne du tableau 5.11) signifient que pour l'ensemble des critères naturels, on trouve une satisfaction plurimodale dont les deux pics émergents se situent aux niveaux 5 et 9 de satisfaction.

La satisfaction plurimodale est obtenue lorsqu'il est évident qu'il existe plusieurs pics importants et séparés dans l'échelle de la satisfaction. En d'autres termes, qu'il existe plusieurs groupes de pression, quels qu'ils soient, dont les opinions sont clairement exprimées et franchement discordantes. Il apparaît ici que la médiane ne rend réellement compte que de l'une de ces opinions et qu'elle ignore la réalité de l'autre groupe (revoir l'exemple de la figure 5.3, où la médiane est égale à 5 mais où il existe deux pics significatifs pour les valeurs 1 et 5 de satisfaction). S'il arrivait que les évaluateurs se penchent sur les courbes de fréquence correspondantes, il faudrait légitimement s'attendre à ce qu'ils expriment leur incompréhension de voir l'analyste ignorer leur opinion alors qu'elle est représentée graphiquement comme un pic franchement émergeant du reste. Dans la méthodologie Delphi classique, cela signifierait également de demander au groupe dont l'évaluation ne coïncide pas avec le pic de la médiane de s'ajuster à celle-ci. La solution finale choisie s'en trouverait probablement affaiblie et il ne semble pas que cette solution puisse réellement résister au temps et aux efforts qui seront fatalement demandés aux parties lors de l'application concrète d'un scénario quelconque.

Le tableau 5.12 présente les satisfactions d'intervalle, de loin les plus nombreuses.

TABLEAU 5.12 : RESULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE CATEGORIELLE : SATISFACTIONS D'INTERVALLE.

Catégories de critères et pondérations	Nombre de S.I	Ecart type catégoriels
Critères naturels Pourcentage	28 sur 42 (67%)	<ul style="list-style-type: none"> • 9 ETC de 2 • 16 ETC de 4 • 3 ETC de 6
Critères humains Pourcentage	48 sur 60 (80%)	<ul style="list-style-type: none"> • 19 ETC de 2 • 25 ETC de 4 • 4 ETC de 6
Critères technico-économiques Pourcentage	38 sur 48 (79%)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 ETC de 1 • 14 ETC de 2 • 1 ETC de 3 • 17 ETC de 4 • 5 ETC de 6
Pondérations Pourcentage	16 sur 25 (64%)	<ul style="list-style-type: none"> • 11 ETC de 2 • 5 ETC de 4

Note : La dernière colonne du tableau 5.12 indique le nombre de satisfactions existantes pour une certaine valeur d'ETC. Par exemple, 9 ETC de 2 signifie que l'on trouve 9 satisfactions d'intervalle dont l'ETC est de 2.

Ici également, la valeur de la médiane est toujours incluse dans l'écart type catégoriel, ce qui confirme d'une certaine manière ce paramètre dans son rôle de mesure de tendance centrale de référence. Par référence, il est entendu balise, dans le sens où la médiane est une valeur stable qui autorise les comparaisons, mais non une référence comme valeur unique absolue. De fait, cela ne veut pas dire que la médiane se trouve au milieu de l'ETC (par exemple une médiane de 7 pour un Ecart Type Catégoriel de 5 à 9), bien au contraire. C'est là d'ailleurs tout l'intérêt d'appliquer cette méthodologie, dans la mesure où elle ne cherche pas un sens mathématique à sa détermination, mais repose sur les satisfactions clairement exprimées des experts, indépendamment de leur position dans l'échelle de satisfaction.

5.3.3- Représentations graphiques

L'ensemble des résultats de l'analyse de sensibilité obtenus précédemment peuvent se résumer en une seule figure analytique. De cette façon, le preneur de décision peut rapidement comprendre les avantages et inconvénients d'un scénario et même déduire les fonctions et critères qui provoqueraient un refus de son application.

La figure 5.4 présente les résultats compilés pour tous les scénarios.

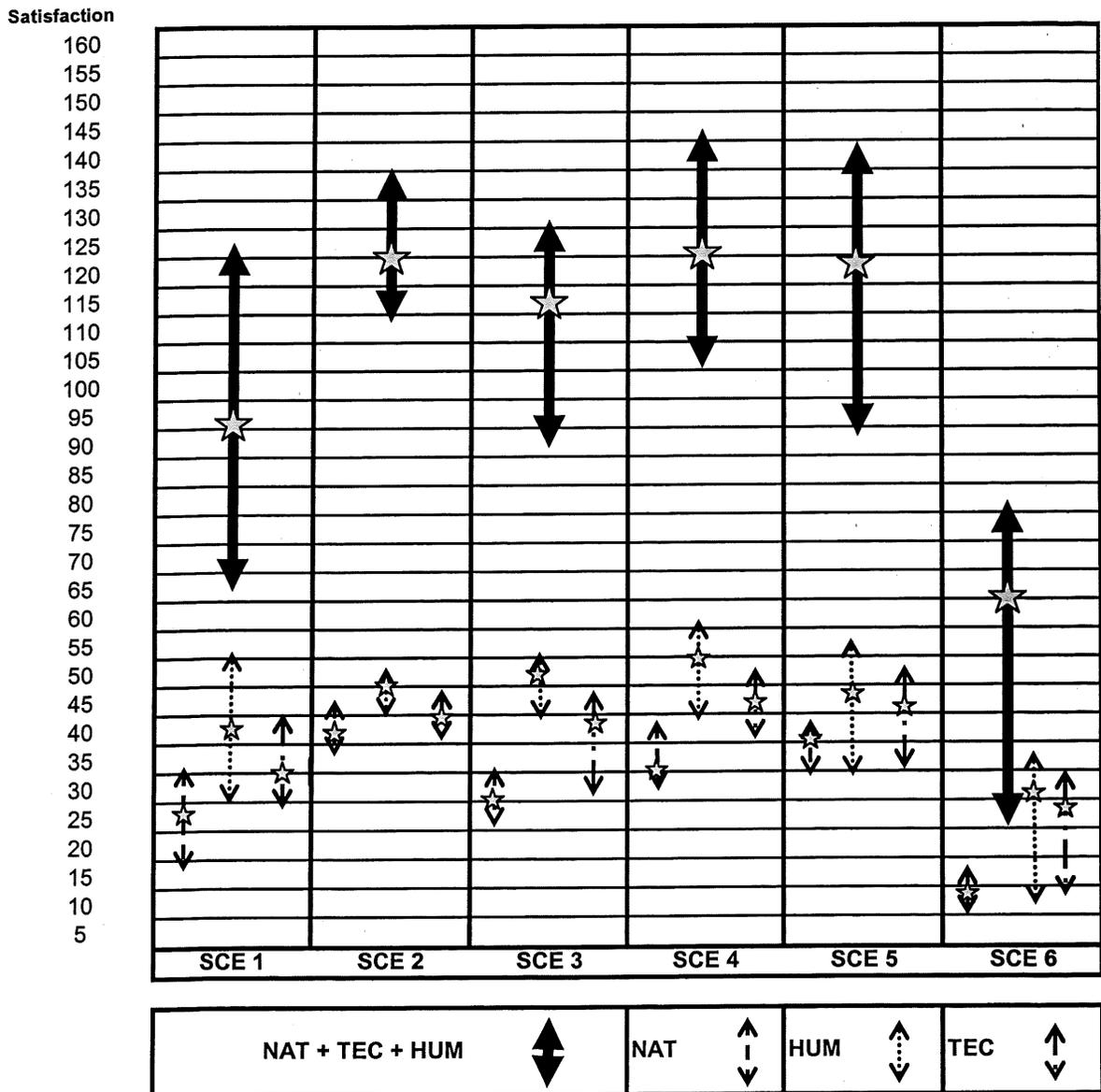


Figure 5.4 : Représentation graphique des résultats par catégorie de critère.

Les flèches proportionnent, pour l'ensemble des critères de l'analyse fonctionnelle et pour chaque catégorie de critère, l'écart type catégoriel obtenu. Les valeurs du calcul des médianes correspondantes sont représentées par des étoiles. Par exemple, l'intervalle dans lequel se situe la satisfaction du scénario 1 est compris entre les valeurs 62 et 122 de satisfaction.

La figure 5.4 représente les satisfactions cumulées pour l'ensemble des critères. Cependant, le preneur de décision peut vouloir connaître les résultats de satisfaction critère par critère. Ces résultats se présentent dans la figure 5.5. Afin de ne pas encombrer la figure, seuls les scénarios 2 et 5 sont présentés et seuls les critères issus de l'analyse fonctionnelle y sont mentionnés⁵⁶.

De gauche à droite, en colonne, on trouve successivement :

- le sigle du critère ;
- la catégorie de critère (analyse fonctionnelle AF et, le cas échéant, développement durable AF-DD) ;
- la définition du critère ;

A droite, une grille permet de visualiser le type de satisfaction ainsi que l'écart type catégoriel correspondant.

La satisfaction unimodale est représentée par un point (⊗). De la même façon, la satisfaction d'intervalle est indiquée par une flèche horizontale dont les extrémités démarquent les limites de l'écart type catégoriel.

De cette façon, il est possible de comparer les résultats pour ces 2 scénarios, ou plus. Les calculs des écarts types catégoriels pour les 6 scénarios séparément ainsi que pour les pondérations sont présentés en annexe 4. Les représentations graphiques correspondantes pour les 6 scénarios et pour les pondérations se trouvent en annexe 5.

⁵⁶ Certains critères étant communs à l'analyse fonctionnelle et au développement durable, ils sont présentés avec la mention AF-DD.

5.3.4- Indicateur de convergence et précision des résultats

La figure 5.4 présentait les résultats de l'analyse de sensibilité. Elle permettait de comparer plusieurs scénarios entre eux du point de vue de leurs performances respectives, de par la position relative des évaluations - et de leur ETC - sur l'échelle de satisfaction. Mais elle fournissait également un renseignement sur le degré de précision des résultats. En effet, plus le nombre et l'amplitude des satisfactions d'intervalle est important (largeur des flèches), moins les résultats sont précis. Or, le preneur de décision souhaite toujours prendre la meilleure décision avec le moins d'incertitude possible.

Il est donc pertinent de développer des indicateurs d'aide à la prise de décision qui prennent en compte le degré de précision des résultats et le degré de convergence d'opinion. Ces indicateurs se basent sur les proportions relatives des trois types de satisfaction et ont été développés à partir des constatations suivantes :

Les satisfactions unimodales et plurimodales correspondent à des satisfactions clairement exprimées (SCE) et sont donc précises, ce qui n'est pas le cas de la satisfaction d'intervalle (SNCE). La précision des réponses est donc proportionnelle au nombre de Satisfactions Unimodales et SP, et inversement proportionnelle au nombre de SI.

- La Satisfaction Unimodale est la seule satisfaction qui révèle une convergence d'opinion entre experts. La SI et tout particulièrement la SP sont caractéristiques au contraire d'une divergence nette d'opinion, plus ou moins importante pour la SI selon l'amplitude de l'ETC.
- Tant la précision des résultats que le degré de convergence d'opinion dépendent directement du nombre de SU et SP. Par contre, ces paramètres seront évalués différemment selon l'amplitude de l'intervalle de l'ETC des SI. Il est donc nécessaire de pouvoir incorporer ces différences dans le calcul des paramètres en sommant les ETC de chaque SI. Afin de pallier au déséquilibre provoqué par la sur-pondération des SI, il a été décidé de multiplier les SU et SP par un facteur de 10.

Deux indicateurs ont ainsi été introduits : il s'agit du calcul de l'Indicateur de Convergence des Opinions (ICO) et de l'Indicateur de Précision des Evaluations (IPE). Ces indicateurs peuvent s'écrire selon les 2 équations suivantes, respectivement 5.1 et 5.2 :

$$ICO = \frac{n_{SU} * 10}{(n_{SP} * 10) + \sum_{SI_i=2}^{10} n_i * SI_i} \quad (5.1)$$

$$IPE = \frac{(n_{SP} + n_{SU}) * 10}{\sum_{SI_i=2}^{10} n_i * SI_i} \quad (5.2)$$

où :

n_{SP} et n_{SU} correspondent au nombre de SP et de SU, respectivement.

n_i est le nombre de SI avec une certaine valeur de ETC, nombre pouvant varier de 2 à 10.

SI_i est la valeur de l'ETC de la SI.

L'application de ces paramètres aux valeurs obtenues pour les six scénarios donne les résultats présentés dans le tableau 5.13.

TABLEAU 5.13 : RESULTATS DU ICO ET IPE POUR LES 6 SCENARIOS

Scénarios	1	2	3	4	5	6
ICO	0,333	3,462	1	0,952	0,784	0,441
IPE	0,33	3,46	1	0,95	0,78	1,04

Plusieurs commentaires peuvent être faits au sujet du tableau 5.13, entre autres :

- Le scénario 4, qui arrive pourtant en première position dans le classement des résultats bruts, présente un ICO et IPE relativement faibles par rapport aux scénarios 2 et 3. Ceci peut s'expliquer en rappelant que ce scénario implique un regroupement entre plusieurs tanneries dans un parc industriel de Léon. Or, comme il a été décrit dans le chapitre 1, les tentatives antérieures de regroupement se sont toutes soldées par des échecs retentissants. Le regroupement peut donc paraître a priori comme une solution théorique pertinente,

mais la possibilité concrète d'application de ce scénario laisse les experts perplexes.

- La comparaison entre les résultats des scénarios 2 (ICO et IPE élevés) et 5 (ICO et IPE faibles) est également révélatrice : la partie humide des tanneries à León n'est pas considérée comme soutenable par les experts, mais les tanneurs ne désirent apparemment pas délocaliser leurs processus ailleurs que dans cette ville (les résultats des scénarios 3 et 4 le montrent très nettement). En résumé, on peut supposer que ces derniers souhaitent ne plus s'occuper de la partie humide mais attendent que des fournisseurs externes les pourvoient en Wet-Blue.
- Les valeurs de ICO et IPE du scénario 3 sont relativement élevées, et même supérieures aux scénarios 4 et 5. Ceci n'est guère surprenant dans la mesure où ce scénario est très bien connu des experts, et même de la société civile en général (les journaux se font souvent l'écho des avances dans l'application de ce scénario).
- Les résultats obtenus sur les valeurs de ICO et IPE semblent en accord avec la façon dont un scénario particulier est connu des experts et sur les enjeux qu'il représente par rapport à la situation actuelle. Ceci peut expliquer les mauvais scores obtenus par le scénario 5, qui implique non seulement le regroupement des tanneries mais également la restructuration totale du processus d'achat et vente de peaux.

En conclusion, les valeurs de ICO et IPE apportent une information chiffrée **relative** du niveau de convergence d'opinion et de précision des résultats, valeurs difficiles à estimer et comparer par la simple observation des figures représentant les satisfactions. La connaissance simultanée de ces trois éléments (type de satisfaction, ICO et IPE) constitue pour le preneur de décision une aide précieuse, et les éléments d'une meilleure compréhension et appréhension du concept de consensus.

5.4- Analyse de sensibilité sur la valeur des seuils

Dans la section 4.5, un certain nombre de seuils ont été introduits permettant de déterminer le type de satisfaction. La valeur de ces seuils s'est basée sur des critères subjectifs et après discussion avec CICUR et une observation attentive des résultats.

L'analyse de sensibilité peut aussi se faire sur la valeur des seuils. Côté et Waaub (2000) ont utilisé le logiciel PROMETHEE, qui suggère des seuils en fonction de la répartition des données, de façon à ce qu'un certain pourcentage des observations soit situé à l'intérieur de la moyenne plus une ou deux fois l'écart type. Toutefois, tel que montré dans la section 4.4, cette procédure s'adapte mal aux objectifs de cette étude.

Mais il est admis ici que la détermination de ces seuils reste par trop subjective et il est donc nécessaire de vérifier leur pertinence et cohérence, à travers une analyse de sensibilité. Cette analyse porte sur quatre paramètres distincts, introduits dans le filtre de paramètres (section 4.7 et figure 4.6). Il s'agit de la probabilité de présence des valeurs de satisfaction autour de la médiane ($P_{<2}$), du rapport entre le mode 1 et le mode 2 ($R_{1/2}$), du rapport entre le mode 1 et le mode 3 ($R_{1/3}$) et enfin des fréquences minimales des pics de satisfaction⁵⁷ afin qu'ils puissent être pris en compte dans le calcul de l'écart type catégoriel (ETC).

Le choix du premier paramètre consiste à vérifier qu'il n'influence pas significativement sur le résultat final et que son rôle se limite à permettre à l'analyste de conclure rapidement à une satisfaction unimodale (voir section 4.5.1), sans avoir à passer à travers une série de paramètres postérieurs. Les deux paramètres suivants se situent à des niveaux stratégiques dans le filtre, à savoir qu'ils conditionnent le passage à l'un des trois types de satisfaction. Quant au dernier paramètre (fréquence minimale des pics significatifs), comme il sera montré dans la section 5.4.4, il est directement lié au concept de degré souhaité de consensus.

Dans ce qui suit, il a été décidé de choisir le scénario 6 pour procéder à cette analyse, dans la mesure où c'est le seul scénario qui présente les trois types de satisfaction.

⁵⁷ Dans l'étude présentée ici, pour conclure à la présence d'un pic significatif, il fallait un minimum de 15% de fréquence pour la population totale, et un minimum de 25% pour chaque catégorie d'expert.

5.4.1- Sensibilité du paramètre $P_{<2}$

Le tableau 5.14 présente les types de satisfaction ainsi que les ETC pour différentes valeurs de $P_{<2}$, allant de 95% à 10%. La seconde colonne, en italique, rappelle les résultats obtenus pour la valeur de 85% utilisée dans cette étude. Seuls les critères issus de l'analyse fonctionnelle sont mentionnés.

TABLEAU 5.14 : ANALYSE DE SENSIBILITÉ SUR LE PARAMETRE $P_{<2}$

	$P_{<2}>95\%$	<i>$P_{<2}>85\%$</i>	$P_{<2}>65\%$	$P_{<2}>50\%$	$P_{<2}>30\%$	$P_{<2}>10\%$
Critere						
NAT 1	SU 1	<i>SU 1</i>	SU 1	SU 1	SU 1	SU 1
NAT 2	SU 1	<i>SU 1</i>	SU 1	SU 1	SU 1	SU 1
NAT 3	SU 1	<i>SU 1</i>	SU 1	SU 1	SU 1	SU 1
NAT 4	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 1
NAT 5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 1
HUM 3	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 3
HUM 4	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 3
HUM 6	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SU 5	SU 5
HUM 7	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SU 4	SU 4
HUM 8	SP 1,5	<i>SP 1,5</i>	SP 1,5	SP 1,5	SU 5	SU 5
HUM 9	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 3
HUM 10	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SU 3	SU 3
TEC 3	SI 1-3	<i>SI 1-3</i>	SI 1-3	SI 1-3	SU 3	SU 3
TEC 4	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SU 5	SU 5
TEC 5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 3
TEC 6	SI 1-7	<i>SI 1-7</i>	SI 1-7	SI 1-7	SU 5	SU 5
TEC 7	SI 3-5	<i>SI 3-5</i>	SI 3-5	SI 3-5	SU 5	SU 5
TEC 8	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SU 3

Hormis pour des valeurs de probabilités très basses (à partir de $P_{<2}>30\%$, voir les chiffres en gras), les résultats ne changent pas. Du moins est-il possible de vérifier que pour $P_{<2}>50\%$ (seuil de $P_{<2}$ pour le second paramètre du filtre), aucun changement dans le résultat n'apparaît. En résumé, ce seuil n'a de raison d'être que dans la mesure où il permet à l'analyste, pour des probabilités élevées de $P_{<2}$, de conclure directement à une SU.

5.4.2- Sensibilité du paramètre $R_{1/2}$

Le tableau 5.15 présente les résultats pour des valeurs de $R_{1/2}$ allant de 0,2 à 6. La colonne en italique correspond à la valeur de $R_{1/2}$ qui a été utilisée dans cette étude. Les caractères gras soulignent les cas pour lesquels cette valeur change.

TABLEAU 5.15 : ANALYSE DE SENSIBILITE DU PARAMETRE $R_{1/2}$

Critere	$R_{1/2} \geq 6$	$R_{1/2} \geq 4$	$R_{1/2} \geq 2$	$R_{1/2} \geq 1,6$	$R_{1/2} \geq 1,2$	$R_{1/2} \geq 1,0$	$R_{1/2} \geq 0,8$	$R_{1/2} \geq 0,6$	$R_{1/2} \geq 0,2$
NAT 1	SI 1-1	SU 1	SU 1	<i>SU 1</i>	SU 1				
NAT 2	SI 1-1	SU 1	SU 1	<i>SU 1</i>	SU 1				
NAT 3	SI 1-3	SI 1-3	SU 1	<i>SU 1</i>	SU 1				
NAT 4	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
NAT 5	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
HUM 3	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
HUM 4	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
HUM 6	SP 1,5	SP 1,5	SP 1,5	<i>SP 1,5</i>	SP 1,5				
HUM 7	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
HUM 8	SP 1,5	SP 1,5	SP 1,5	<i>SP 1,5</i>	SP 1,5				
HUM 9	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
HUM 10	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
TEC 3	SI 1-3	SI 1-3	SI 1-3	<i>SI 1-3</i>	SI 1-3				
TEC 4	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
TEC 5	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				
TEC 6	SI 1-7	SI 1-7	SI 1-7	<i>SI 1-7</i>	SI 1-7				
TEC 7	SI 3-5	SI 3-5	SI 3-5	<i>SI 3-5</i>	SI 3-5				
TEC 8	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5				

Seuls les trois premiers critères, pour des valeurs de $R_{1/2}$ supérieures à 4 et 6 (donc plus de deux fois supérieures à la valeur utilisée dans cette étude), voient leur type de satisfaction passer d'une Satisfaction Unimodale à une SI. Dans les deux premiers cas, cette satisfaction d'intervalle obtient un Ecart Type Catégoriel de 1-1, ce qui revient de fait à une satisfaction unimodale. Quant au critère NAT 3, le type de satisfaction passe d'une SU à une SI, ce qui peut se traduire par une diminution de la convergence d'opinion entre experts ; en d'autres termes, par un amoindrissement du degré de consensus.

Il est donc possible de conclure que la valeur de 1.6 choisie dans le cadre de cette étude n'a pas eu d'incidence notable sur la détermination du type de satisfaction. Par contre, ce paramètre reste justifié puisqu'il laisse la possibilité à l'analyste, pour des problématiques sensibles requérant une grande précision, de faire la ségrégation entre une Satisfaction

Unimodale et une satisfaction d'intervalle ou SP. Par exemple, un preneur de décision dont le mandat est de choisir l'emplacement d'une industrie considérée à haut risque, aura tout intérêt à introduire un seuil de $R_{1/2}$ élevé, afin de s'assurer d'une réelle convergence d'opinion entre les experts consultés.

5.4.3- Sensibilité du paramètre $R_{1/3}$

Le paramètre $R_{1/3}$ permet de faire la ségrégation entre une satisfaction d'intervalle et une SP. Pour autant, les critères ayant obtenu une satisfaction unimodale ne seront pas mentionnés dans le tableau 5.16. Ici encore, c'est l'exemple du scénario 6 qui a été choisi. La première colonne indique la valeur réelle de $R_{1/3}$ calculée et la colonne en italique rappelle le résultat obtenu dans cette étude.

TABLEAU 5.16 : ANALYSE DE SENSIBILITE DU PARAMETRE $R_{1/3}$

	$R_{1/3}$	$R_{1/3} \geq 4,0$	$R_{1/3} \geq 3,0$	$R_{1/3} \geq 2,5$	$R_{1/3} \geq 2,0$	$R_{1/3} \geq 1,5$	$R_{1/3} \geq 1,0$
Critere							
NAT 4	2.5	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5
NAT 5	1.8	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SP 1-3,3-5	SP 1-3,3-5
HUM 3	3.77	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5
HUM 4	1.69	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SP 1,5	SP 1,5
HUM 6	2.9	SI 1-5	SI 1-5	SP 1,5	<i>SP 1,5</i>	SP 1,5	SP 1,5
HUM 7	1.76	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SP 1,5	SP 1,5
HUM 8	2.7	SI 1-5	SI 1-5	SP 1,5	<i>SP 1,5</i>	SP 1,5	SP 1,5
HUM 9	2.8	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5
HUM 10	3.4	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5
TEC 3	3.09	SI 1-3	SI 1-3	SI 1-3	<i>SI 1-3</i>	SI 1-3	SI 1-3
TEC 4	2.18	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5
TEC 5	2.52	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5
TEC 6	1.76	SI 1-7	SI 1-7	SI 1-7	<i>SI 1-7</i>	SI 1-7	SI 1-7
TEC 7	3.43	SI 3-5	SI 3-5	SI 3-5	<i>SI 3-5</i>	SI 3-5	SI 3-5
TEC 8	2.24	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	<i>SI 1-5</i>	SI 1-5	SI 1-5

Le tableau 5.16 révèle que le paramètre $R_{1/3}$ est plus sensible que les deux précédents aux variations de son seuil. Pour des seuils de $R_{1/3}$ supérieurs à 3, seules les satisfactions plurimodales changent et passent à des SI (critères HUM 6 et HUM 8). La satisfaction plurimodale exige qu'il y ait émergence nette d'au moins deux pics dans le diagramme de fréquence, d'où la nécessité de s'assurer que les autres pics aient des fréquences peu

élevées. Cependant, une exigence trop élevée, comme celle d'un rapport entre mode 1 et mode 3 supérieur ou égal à 3, fait basculer la SP vers la SI. Pour des seuils de $R_{1/3}$ égaux ou inférieurs à 2, certaines satisfactions d'intervalles peuvent se transformer en SP (NAT 5, HUM 4 et HUM 7). En effet, pour des raisons similaires à celles citées précédemment, un $R_{1/3}$ plus faible signifie que l'exigence diminue quant à un troisième pic peu important par rapport aux deux premiers, et la SP peut apparaître.

Dans tous les cas, l'écart type catégoriel ne change pas, sauf pour le critère NAT 5 qui obtient en fait une SP avec trois pics de satisfaction (1, 3 et 5). Comme il n'existe pas d'écart significatif d'échelle réel entre 1 et 3, et entre 3 et 5, il a été décidé de le présenter sous la forme « SP 1-3,3-5 », ce qui correspond à une satisfaction plurimodale dont l'écart type catégoriel est plus flou.

5.4.4- Sensibilité sur la représentativité des pics de fréquence

Le tableau 5.17 présente les résultats pour différentes fréquences minimales des pics de satisfaction. Ces fréquences permettent de déterminer l'écart type catégoriel (section 4.5.4). La première colonne rappelle les résultats obtenus dans cette étude (15% pour l'échantillon total et 25% pour les différentes catégories A, C et G) et les colonnes suivantes présentent des proportions différentes.

TABLEAU 5.17 : ANALYSE DE SENSIBILITE DES PICS SIGNIFICATIFS

	A, C, G = 25% TOT = 15%	A, C, G = 15% TOT = 15%	A, C, G = 25% TOT = 25%	A, C, G = 15% TOT = 25%
Critère				
NAT 4	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
NAT 5	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
HUM 3	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
HUM 4	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
HUM 6	SP 1,5	SP 1,5	SP 5 (ou SU 5)	SP 5 (ou SU 5)
HUM 7	SI 1-5	SI 1-7	SI 1-5	SI 1-5
HUM 8	SP 1,5	SP 1-3,3-5	SP 1,5	SP 1-5
HUM 9	SI 1-5	SI 1-7	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
HUM 10	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5	SI 1-5
TEC 3	SI 1-3	SI 1-5	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
TEC 4	SI 1-5	SI 1-7	SI 1-5	SI 1-5
TEC 5	SI 1-5	SI 1-9	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)
TEC 6	SI 1-7	SI 1-7	SI 3-5	SI 3-5
TEC 7	SI 3-5	SI 3-5	SI 3-5	SI 3-5
TEC 8	SI 1-5	SI 1-7	SI 1-1 (ou SU 1)	SI 1-1 (ou SU 1)

Lorsque sont considérés, pour le calcul de l'ETC, les pics catégoriels à partir d'une fréquence minimale de 15% (au lieu de 25% pour cette étude), certaines satisfactions d'intervalle voient leur Ecart Type Catégoriel s'élargir (HUM 7, HUM 9, TEC 3, 4, 5 et 8). Ceci est dû à la présence, hors de l'intervalle obtenu dans cette étude (fréquence de 25% pour les catégories A, C et G), de pics catégoriels qui n'étaient pas considérés auparavant. Cela signifie aussi que l'incertitude quant à la valeur de signification exprimée par les experts augmente. En ce qui concerne les SP, aucun changement n'apparaît pour le critère HUM 6, mais le critère HUM 8 voit sa satisfaction passer de SP 1,5 à une SP 1-3, 3-5, donc là encore à une augmentation de l'imprécision quant à l'opinion des experts.

Par contre, lorsque l'on prend comme fréquence minimale la valeur de 25% pour l'échantillon total (TOT = 25%), et ceci quel que soit la valeur de fréquence pour les catégories d'expert (A, C, G = 15 ou 25%), les résultats obtenus montrent un rétrécissement de l'ETC pour les cas de satisfaction d'intervalle, pouvant même déboucher sur des satisfactions d'intervalles d'écart type catégoriel 1, ce qui revient à une satisfaction unimodale. Quant aux SP, elles ne changent pas par rapport aux valeurs de fréquence utilisées dans cette étude

5.4.5- Conclusion sur la valeur des seuils

L'analyse de sensibilité effectuée sur la valeur des seuils des principaux paramètres montre que la méthodologie utilisée est cohérente et consistante. Cohérente parce que la variation de la valeur des seuils à une influence limitée sur la teneur des résultats. Consistante parce que seules des variations très importantes de ces valeurs seuils provoquent des changements. La valeur seuil de $R_{1/2}$ doit être multipliée par plus de 2 pour voir apparaître une quelconque modification. En diminuant la valeur seuil de $R_{1/3}$, certaines SI peuvent se transformer en SP ; en augmentant cette même valeur, les SP se transforment en SI. Dans ce dernier cas, il est nécessaire pourtant de multiplier la valeur utilisée dans cette étude par 1,5 pour voir apparaître une variation. Quant à la valeur de fréquence minimale qui est choisie pour considérer les pics comme significatifs, elle a une influence notable sur les résultats finaux.

Le consensus n'est pas une notion absolue mais relative. En d'autres termes, il est possible de parler de consensus atteint à condition qu'un degré minimal de concordance d'opinion a été préalablement défini. De la même façon, il est possible de parler de consensus pour la pire des alternatives si l'ensemble des experts est d'accord à ce sujet. Cette valeur se détermine en répondant à la question suivante : « A partir de quel pourcentage minimal d'opinion concordante sur une même valeur de satisfaction doit on inclure cette opinion dans la détermination du type de satisfaction et de l'ETC ? ». De cette valeur dépend, comme il a été montré dans la section précédente, la nature des résultats. Il est donc possible avec cette méthode de prédéterminer à l'avance un certain degré de consensus désiré ou souhaitable. Ou encore, inversement, en fonction des résultats obtenus, de prendre un certain nombre d'initiatives postérieures (voir section 5.5) jusqu'à obtenir le degré de consensus voulu et adapté à la problématique traitée.

En effet, cette analyse de sensibilité a montré la corrélation existante entre une SP et une SI, et entre cette dernière et une SU. En d'autres termes, ceci suggère que les SI sont en fait des satisfactions unimodales ou satisfactions plurimodales potentielles mais non révélées. Plus les valeurs seuils des différents paramètres sont exigeants, et moins il y aura de SU et vice versa. Pour faire apparaître un nombre croissant de SU dans les résultats, plusieurs possibilités s'offrent à l'analyste : augmenter le nombre d'experts et espérer ainsi obtenir des courbes de fréquence plus nettes et marquées ; retourner voir les évaluateurs avec un complément d'information qui précise les concepts ; ou encore, en dernière instance, procéder à une nouvelle mission de consultation, en demandant aux experts s'ils confirment ou non leur opinion, mais sans pour autant leur fournir aucune indication sur les résultats antérieurs. Quoi qu'il en soit, le recours à une méthodologie telle que proposée ici constitue les prolégomènes d'une approche plus intégrée et concrète de la notion de consensus.

5.5- Interprétation des types de satisfaction

La section 5.2 a permis de révéler la satisfaction obtenue via la méthodologie conventionnelle DELPHI, limitée à un seul tour d'expert. Cette satisfaction s'exprime par le biais d'un chiffre brut, autorisant le classement ordinal et cardinal des scénarios entre eux, mais dépourvu de toute indication sur leur susceptibilité à des changements mineurs. Pour

autant, l'analyse de sensibilité catégorielle développée dans ce travail a fourni les valeurs de l'écart type catégoriel, basées sur les satisfactions clairement exprimées (SCE) ou non clairement exprimées (SNCE) des différentes catégories d'expert.

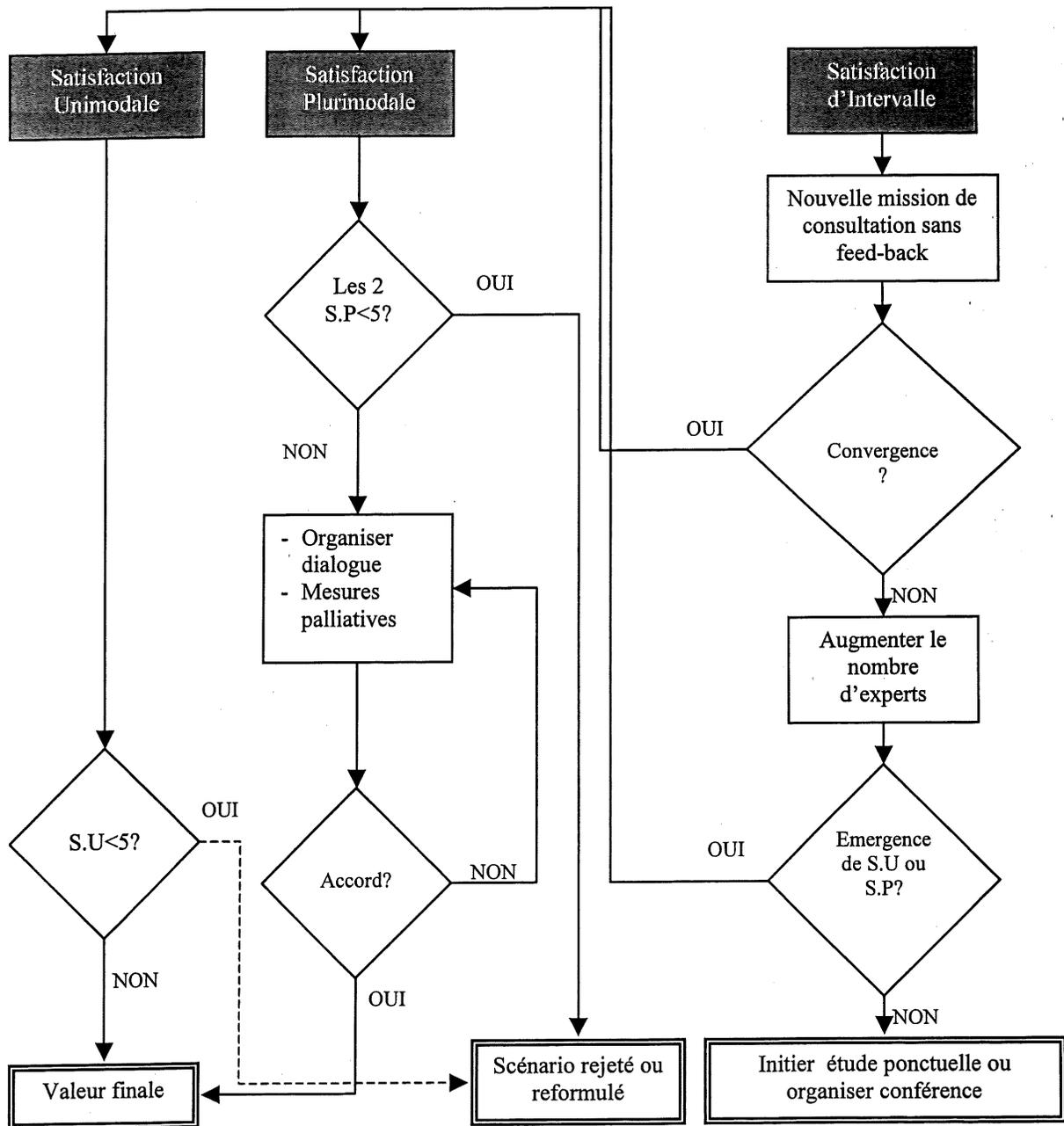


Figure 5.6 : Conséquences relatives à l'obtention d'une SU, SI et SP.

Ces valeurs obtenues sont riches en information : hormis la SU, qui correspond à la médiane seule, les SI et SP révèlent des intervalles de satisfaction à l'intérieur desquelles se trouve l'opinion des différentes catégories d'expert. Ces intervalles proviennent du bruit obtenu dont l'origine provient d'opinions contrastées. A partir de ces résultats, il est désormais possible de construire de nouveaux scénarios (tel que suggéré par Coté et Waaub, 2000 et Höjer, 1998) en tentant d'interpréter au mieux la signification de ces bruits. Cette idée repose sur le fait qu'il semble impossible de développer la meilleure alternative dès la première ronde d'expert (Wang, 2001). Certains éléments méthodologiques seront proposés dans la présente section afin d'utiliser ces différents résultats. En appui, le diagramme de la figure 5.6 a été construit et est expliqué par la suite.

5.5.1- Signification de la satisfaction unimodale

La satisfaction unimodale signifie que la seule valeur de la médiane représente parfaitement l'opinion de l'ensemble des évaluateurs et qu'il n'existe pas de sensibilité possible sur cette valeur, qui est finale. Autrement dit, toute tentative de faire varier cette valeur aux fins d'en étudier la sensibilité n'est pas justifiée. Du moins serait-ce aller à l'encontre de toute logique puisque, dans ce cas précis, tout le monde semble être d'accord. Concrètement, cela veut dire que s'il existe, pour un scénario donné et en fonction d'un critère considéré comme décisif, une seule satisfaction unimodale qui soit inférieure à un seuil de satisfaction déterminé (par exemple 5), alors il faut abandonner le scénario dans son ensemble. C'est le cas ici pour le scénario 6 où l'on obtient, pour le critère NAT 1 relatif à la charge de sel dans l'effluent, une satisfaction unimodale de valeur 1 (très insatisfaisant). Dans la mesure où, en toute logique, ce critère est fondamental dans la problématique traitée, ce scénario n'a plus de raison d'être. Un cas semblable est fourni par le scénario 3, avec le critère NAT 3 « Quantité d'eau utilisée », qui obtient une SU de 5. Si le preneur de décision met la préservation et conservation de cette ressource hydrique au premier plan de ses priorités, et s'il considère que le niveau 5 de satisfaction (« indifférent ») ne remplit pas ses attentes, alors il peut justifier l'abandon de ce scénario.

Il est possible de discuter longuement sur la signification de « critère décisif », car tous peuvent paraître a priori importants. Brugha (1997) mentionne à ce sujet qu'il est tout à fait possible d'éliminer une alternative si celle-ci obtient un mauvais score au niveau d'un

critère particulièrement important. Quoi qu'il en soit, un postulat peut être exprimé ici, qui élargit la définition de l'Optimum de Pareto à l'analyse de sensibilité décrite dans ce travail : « Un scénario dont un des critères décisifs obtient une satisfaction unimodale dont la valeur est inférieure à un certain degré de satisfaction prédéterminé n'est pas Optimum de Pareto et doit donc être rejeté ». Inversement, le preneur de décision peut prôner l'acceptation immédiate d'un scénario à la condition que l'ensemble des critères décisifs qu'il aura préalablement définis obtiennent tous des Satisfactions Unimodales supérieures à un niveau x de satisfaction (par exemple 9 : « très satisfaisant »).

Pour autant, il reste au preneur de décision de déterminer quel est, selon lui et selon chaque problème étudié, la valeur minimale (maximale) de satisfaction nécessaire ou suffisante en dessous (au dessus) de laquelle il devra conclure au rejet (à l'élection) du scénario.

5.5.2- Signification de la satisfaction plurimodale

Ce type de satisfaction implique qu'il existe deux (ou plus) valeurs de satisfaction nettement distinctes qui révèlent l'opinion divergente des experts. En résumé, cela signifie que parmi les évaluateurs, il existe au moins deux groupes de personnes dont l'opinion est résolument antagoniste sur la façon dont un critère sera satisfait par l'application d'un certain scénario. C'est le cas par exemple du critère TEC 1 appliqué au scénario 5, qui obtient une satisfaction plurimodale de valeurs 3 et 7. Dans ce cas précis, les groupes composés par le gouvernement et les tanneurs semblent plutôt optimistes avec des valeurs de satisfaction de 7, alors que la société civile marque son désaccord avec des valeurs autour de 3.

Contrairement au cas précédent sur les satisfactions unimodales de faible valeur pour des critères décisifs, une satisfaction plurimodale de la sorte n'implique pas forcément de remettre tout le scénario en question. Elle exprime plutôt la nécessité soit de mieux informer les parties sur ce critère, soit de mettre en place des mesures palliatives importantes afin de mitiger les arguments à l'origine de cette insatisfaction. En d'autres termes, elle appelle à un plus grand dialogue entre les différentes parties prenantes. Ce dialogue peut se concrétiser, à la façon présentée par le modèle STOPER (De Coninck et al., 1999), en organisant des tables rondes, durant lesquelles un spécialiste indépendant

et mandaté en la matière exposera la problématique et fera des propositions concrètes susceptibles de satisfaire le groupe qui s'oppose, ou tout autre initiative adaptée à la culture et idiosyncrasie locale.

Les seuls cas pour lesquels une satisfaction plurimodale pourrait compromettre dangereusement l'application d'un certain scénario se présenteraient lorsque le groupe insatisfait à un pouvoir de veto sur ce critère ou est directement responsable de son application. Ou encore lorsque les deux valeurs de la satisfaction plurimodale se situent en dessous d'une valeur minimale de satisfaction. Le critère HUM 6 appliqué au scénario 6 est un exemple de ce dernier cas : il obtient une satisfaction plurimodale de 1 et 5. Ici, quoi qu'il arrive, les deux groupes en question - le gouvernement et les personnes représentants la société civile - ne sont pas franchement satisfaits.

En conclusion, on peut résumer les implications de la satisfaction plurimodale de la façon suivante : une satisfaction plurimodale requiert de fournir au groupe mécontent un supplément d'information et d'initier un dialogue, sauf dans les cas où ce groupe a un pouvoir de veto sur le critère en question ou lorsque les deux (ou plus) valeurs de satisfaction obtenues se situent en dessous d'une valeur seuil de satisfaction. Dans ce cas, il serait souhaitable de reconsidérer ou reformuler le scénario.

5.5.3- Signification de la satisfaction d'intervalle

Ce type de satisfaction signifie qu'il n'existe pas, au sein du groupe total et entre catégorie d'expert, de valeur unique qui exprime une certaine tendance commune ou convergence d'opinion. Les raisons peuvent avoir plusieurs origines :

- Une mauvaise compréhension du critère et de ses implications;
- Un nombre insuffisant d'expert permettant d'aboutir à cette convergence;
- Une information insuffisante ne permettant pas aux experts d'avoir une opinion marquée.

Ici encore, ces différents points suggèrent à nouveau l'idée que la satisfaction d'intervalle peut être en fait une satisfaction unimodale ou plurimodale potentielle mais non révélée.

La méthodologie suggérée ici pour la construction de nouveaux scénarios doit donc chercher à dévoiler l'un ou l'autre des deux types de satisfaction unimodale ou plurimodale, à travers les initiatives suivantes :

1. Préparer un dossier plus complet et explicatif sur la signification du critère et ses implications et retourner voir les experts en leur demandant de confirmer leur opinion, mais sans leur fournir aucune indication sur les résultats antérieurs (sans feed-back). Si aucune tendance convergente n'apparaît, faire appel à d'autres experts ou passer au point suivant.
2. Si, malgré tout, ni la SU ni la SP se révèlent, il est alors nécessaire de procéder à une étude technico-économique limitée et ponctuelle, sur le critère en particulier, sans avoir à procéder à une étude exhaustive complète et fournir les résultats aux experts. Ou alors, comme le suggèrent Chakravarti et al. (1998) et De Coninck et al. (1999), organiser une conférence ou séminaire avec les experts pour discuter de ces critères litigieux.

Cette dernière remarque a sa raison d'être dans la mesure où la méthodologie proposée permet en quelque sorte de cibler les points sur lesquels il est nécessaire de procéder à une étude plus technique. Autrement dit, la non obtention d'une convergence d'opinion après les initiatives mentionnées relatives aux satisfactions d'intervalle, permet d'ébaucher un espèce de cahier des charges réduit pour les études technico-économiques futures. Il ne faut pas oublier que le fait d'intégrer des experts provenant de la société civile entraîne de fortes limitations quant à la possibilité de quantifier des impacts basés sur des aspects techniques, ce que l'étude technico-économique permet, mais à un coût élevé. Dans un contexte particulier de carence de données et de ressources économiques limitées, il devient donc crucial d'avoir accès à une méthode permettant de cerner – et donc limiter – les projets d'étude à leur strict minimum. Il faut s'attendre alors à réaliser des économies substantielles, tant en argent qu'en temps.

Selon le degré d'exigence du preneur de décision, il est possible également de se contenter des satisfactions d'intervalles, mais seulement celles dont l'écart est réduit (par exemple de 7 à 9, c'est-à-dire pas supérieur à un écart significatif d'échelle) et dont les valeurs se situent au dessus d'un certain seuil de satisfaction désiré (par exemple, tout écart dont les valeurs sont supérieures à 5).

L'analyste chargé de l'étude est donc à même de pourvoir le preneur de décision d'informations importantes et peut en quelque sorte lui passer le bâton de façon efficace. Ces informations sont constituées du type de satisfaction et de l'écart type catégoriel correspondant, ainsi que des indicateurs de convergence d'opinion (ICO) et de précision des évaluations (IPE). Selon l'exigence du preneur de décision quant au niveau de consensus souhaité, il peut adapter sa décision aux circonstances et aux caractéristiques du projet, le tout dans le respect, la transparence et une plus grande objectivité.

6.- DISCUSSION

« Je suis parti avec l'idée que le consensus consistait à trouver la solution acceptée par le plus grand nombre et au fil des années, j'ai compris que le consensus n'était pas un compromis ; c'est la recherche de la meilleure solution ou du moins de la moins mauvaise... »

Francois Bonnet de Paillerets

6.1- Justification de la méthode proposée

L'histoire a montré, à travers de nombreux exemples (Lipietz,1999), que la vision monochromatique – de fait, souvent technologique – du développement a ses limites. Un exemple concret, mais significatif, est donné par la construction du barrage d'Hassouan à l'embouchure du Nil, en Egypte. En son temps, il s'agissait du plus gros chantier du moment et ceux qui allaient se bénéficier le plus de cet œuvre d'art étaient les habitants qui se situaient en aval du barrage, au détriment des autres. Pour autant, ces derniers ont massivement émigré vers ce nouvel Eldorado, délaissant leurs terres dont la susceptibilité à l'érosion s'est vu grandement amplifiée. Le fleuve, nouvellement chargé par des alluvions, a vu son pouvoir érosif augmenter, ce qui a eu pour conséquence le colmatage prématuré du barrage et donc diminué de façon conséquente sa vie utile. Pire encore, plus en aval, l'irrigation excessive des terres a provoqué la remontée artificielle du niveau piézométrique de la nappe phréatique, jusqu'au moment où celle-ci est entrée en contact direct avec l'eau saline marine, ce qui a eu pour effet de saliniser de nombreuses terres, les rendant impropres à la culture. Au désastre écologique, il faut rajouter les tensions sociales, résultat de la paupérisation des populations locales.

Aujourd'hui - que ce soit au niveau des études d'impact, des grands projets immobiliers, de l'utilisation des ressources, etc. - il est suggéré par un grand nombre d'organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, de tenter dans la mesure du possible d'intégrer les populations aux choix décisionnels les concernant. Or, une des façons, on l'a vu, consiste à procéder à des enquêtes, comme c'est le cas de la méthode Delphi, bonifiée par l'analyse de la sensibilité présentée ici.

Mais cette façon de procéder n'est pas dénuée de paradoxes. En effet, afin de pouvoir prendre en compte l'ensemble des points de vue existants par rapport à un projet potentiel, on fait appel à des experts de diverses provenances. Ceux-ci sont questionnés sur un ensemble de scénarios en fonction d'un certain nombre de critères. Or, si l'on désire vraiment s'assurer que le projet réunisse un certain nombre de qualités diverses et parfois hétéroclites comme c'est le cas dans les critères du développement durable présentés ici, il faut s'assurer que ces experts en question aient un avis fondé sur l'ensemble de ces éléments qu'on leur demande d'évaluer. En quelque sorte, les experts doivent être en mesure de prouver leur savoir holistique des tenants et aboutissants du projets, et en connaître à l'avance les conséquences dans le futur. D'où le paradoxe, car c'est justement la constatation de l'absence de cette connaissance réunie dans un seul homme qui a provoqué l'émergence des analyses multicritères.

Si ces constatations ne remettent pas forcément en cause l'utilisation des analyses multicritères pour des sujets purement technologiques ou économiques, elles posent un vrai casse tête pour tous les autres sujets qui impliquent l'humain, avec ses références culturelles, spirituelles et autres valeurs subjectives. En effet, le fond du problème réside justement dans le fait que personne ne puisse se targuer de la connaissance universelle et exhaustive d'une problématique dans toutes ses composantes. D'où une forte dispersion - ou bruit - fatalement obtenue au niveau des réponses. Or, l'existence de ce bruit est dû à la perception individuelle de chacun des experts, perception qui est le fruit de leur expérience et leur vécu face à la réalité qu'ils observent. Il peut avoir un grand nombre d'origines : d'une mauvaise compréhension des questions ou de la méthodologie de remplissage de la matrice jusqu'à une mauvaise foi intentionnelle, en passant par les valeurs mentionnées ci-dessus.

Quoi qu'il en soit, ce bruit est source d'information et de compréhension des facteurs qui caractérisent la problématique, une sorte d'instantané des perceptions individuelles regroupées dans une matrice. Il est la face cachée de la réalité, dans toute sa complexité et finesse. Aucune étude technico-économique exhaustive ne sera capable de le faire ressortir, de révéler ces impondérables, ces petits « riens » qui font qu'un projet maintes fois disséqué et étudié finisse par échouer. Ce bruit est donc une composante factuelle à part entière de la complexité de la problématique et vouloir l'éliminer revient à tronquer la réalité de toute la sensibilité qui la caractérise et la définit. Ce bruit, dans la méthodologie

conventionnelle Delphi, est « traité » par le biais de plusieurs rondes successives jusqu'à obtenir une certaine convergence d'opinions. Mais si l'on applique le principe d'Heisenberg à la méthode Delphi – principe stipulant que toute mesure transforme la mesure –, alors il faut s'attendre à ce que chaque ronde d'expert rapporte avec elle son lot d'erreurs, ce qui est exactement opposé à l'objectif initial de cette méthode.

Pour autant, une attention particulière doit être portée sur la façon de tirer avantage de la connaissance - ou du moins la caractérisation - de ce bruit, ce qui est un des objectifs de ce travail. Plutôt que de remettre en question la validité de l'opinion de tel ou tel expert, ce bruit est mis en relief par la détermination, le cas échéant, de la satisfaction d'intervalle. En effet, ce bruit ne se manifeste que lorsqu'on obtient une SI, car les deux autres types de satisfaction, vu leur convergence d'opinion relative, ne résultent pas en des bruits significatifs. Tel que mentionné auparavant, ce bruit peut être l'expression d'une méconnaissance du sujet, d'un à priori, de la perception sincère ou non d'une certaine réalité individuelle, ou d'une combinaison entre plusieurs de ces causes. La connaissance de ces éléments, même si elle rajoute quelque fois de la confusion, doit motiver le preneur de décision à mettre en place un certain nombre de mesures palliatives destinées à mitiger les risques. La méthodologie proposée aide le décideur à déterminer où exactement porter ses efforts.

Cette méthodologie s'inscrit également dans un contexte de carence de données. Cette carence n'est pas rare, ni même caractéristique des pays en développement. Pour preuve, le principe global de précaution retenu au sommet de Rio, selon lequel « l'absence de certitude, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement ». Il n'existe pas de science parfaitement objective au sens où, dans sa constitution, ses choix d'axes prioritaires, son traitement des incertitudes, et donc ses conclusions, elle soit totalement indépendante de la culture des scientifiques, eux mêmes liés à leur civilisation et à leur époque. Cette disposition du principe de précaution pourrait donc marquer un tournant historique dans la hiérarchie théorique et légale des critères de décision et des valeurs sociales. Les analyses multicritères peuvent fournir une aide précieuse à cette nécessité de prendre une décision. La méthodologie présentée ici apporte un plus dans la mesure où elle permet de caractériser, à priori, les

éléments pour lesquels cette incertitude existe, et donc confiner les besoins de données supplémentaires à leur strict minimum.

Un autre atout important apporté par cette méthode concerne sa possibilité de cerner les inévitables études technico-économiques postérieures à leur strict minimum. Lorsque le fait d'intégrer la société civile dans la prise de décision devient un requis, il faut accepter par ailleurs les limitations qui lui sont inhérentes. Or, on l'a vu, cette approche ne permet en aucun cas de quantifier des impacts ce que, au contraire, les études technico-économiques permettent. Cependant, si elles sont incontournables, leur coût élevé les rend souvent inaccessibles dans le contexte décrit de carence de données et de budget limité. La méthodologie présentée ici apporte une contribution importante à cette problématique et concilie en partie ces inconvénients.

En ce qui à trait à la situation des tanneurs étudiée dans ce travail, l'histoire des relations entre le secteur du cuir et le gouvernement est éloquente : depuis une décennie bientôt, les deux parties se sont renvoyées la responsabilité à tour de rôle. Les tanneurs accusent le gouvernement de ne pas leur offrir de solutions cohérentes et adaptées à leur situation et le gouvernement reproche aux tanneurs de mener la politique de l'autruche et de la sourde oreille. Résultat, aucune décision n'est prise concrètement et, lorsqu'elle l'est, elle est immédiatement remise en question. Dans un effort de conciliation réel, les instances gouvernementales ont tenté d'agir de façon plus proactive, en recherchant le consensus et en initiant des programmes de formation et de sensibilisation. D'un autre côté, cette ultime démarche les a obligés à marquer une pause dans leur programme de vérification et sanction, pause immédiatement considérée par les tanneurs comme la marque incontestable de la faiblesse du gouvernement, de laquelle les tanneurs ont promptement profité.

Compte tenu de la situation d'urgence dans laquelle se trouve confrontée la ville de León par rapport à la problématique du sel dans les nappes souterraines, toute solution doit être prise avec une certaine urgence. Mais comment espérer – et l'histoire l'a montré – aboutir à une solution durable et consensuelle pour plus de 800 tanneries aux situations si distinctes entre elles, si les alternatives proposées ne traitent qu'une partie des problèmes rencontrés. Dans ce contexte, le consensus large ou, pire encore, le compromis négocié seront perçus comme faibles et ne résisteront pas facilement aux évolutions. En d'autres

termes, le consensus ne devrait pas s'obtenir, mais se construire, ceci afin d'aider d'une part les autorités gouvernementales à remplir leur mandat populaire et d'autre part les tanneurs à s'aligner sur une solution qui soit plausible à court terme, et la meilleure à moyen et long terme.

Les résultats de l'application de la méthode d'analyse de la sensibilité catégorielle présentés ici permettent de se rapprocher de cet objectif. Grâce à la caractérisation du bruit pour les satisfactions d'intervalle, le preneur de décision est en mesure de révéler, en plus des solutions purement techniques ou technologiques, l'ensemble des aspects pour lesquels il est important d'apporter des solutions additionnelles et palliatives. Le but est de construire une solution intégrée et métadisciplinaire⁵⁸, en soumettant les nouvelles solutions déduites par l'analyse de sensibilité aux réalités sociétales, environnementales et économiques. L'intégralité de ces solutions peut être comparé métaphoriquement à un corps : l'aspect technologique devient alors la colonne vertébrale, autour de laquelle sont greffés un certain nombre de solutions particulières (organes) aux fonctions aussi variées qu'indispensables à sa fonctionnalité. Cependant, l'intégralité du corps ne suffit pas à sa survie : encore faut-il qu'il soit adapté et préparé à l'environnement dans lequel il doit se mouvoir.

6.2- Sur la méthodologie d'analyse de sensibilité

Un des premiers avantages de la méthodologie d'analyse de sensibilité, basée sur la satisfaction clairement exprimée des différents experts, repose tout d'abord sur le fait qu'elle se construise à partir des évaluations premières de ces évaluateurs. La place laissée à la négociation, à la révision de l'opinion, aux volte face éventuels est réduite à son stricte minimum. Ceci est important en soi. Tout bruit obtenu après une première ronde ne doit pas être reconnu comme un phénomène préjudiciable à l'obtention d'un consensus. Bien au contraire, ce travail vise à démontrer que ce bruit est un phénomène à mettre en évidence, et à partir duquel il est possible de construire de nouvelles options ou scénarios. Il ne s'agit pas ici de faire l'apologie de l'analyse de la satisfaction versus les

⁵⁸ La métadisciplinarité cherche une plus grande intégration des disciplines de la connaissance vers un objectif commun. Elle se démarque de la transdisciplinarité dans la mesure où elle ne se contente pas de regrouper les disciplines, mais étudie les moyens (vocabulaire commun) pour y parvenir.

études technico-économiques ; mais plutôt de démontrer tout l'intérêt potentiel existant à la combinaison de ces deux méthodes. En effet, la première est rapide, relativement peu coûteuse mais ne permet pas de quantifier convenablement les impacts, ce que peut faire la seconde, mais à un coût élevé. L'application préalable de l'analyse de la satisfaction selon la méthodologie présentée ici peut apporter des éléments significatifs sur la pertinence d'un projet, et surtout sur les facteurs pouvant éventuellement compromettre son succès futur. La représentation graphique des écarts type catégoriels par scénario propose un cliché synthétique de la situation, facile de lecture et d'analyse. L'étude technico-économique postérieure pourra alors se concentrer sur les critères pour lesquels il y a absence évidente de convergence (satisfactions d'intervalle ou plurimodales) et s'économiser la peine d'étudier les critères pour lesquels un véritable consensus apparaît, comme c'est le cas des satisfactions unimodales. Par exemple, dans le cas étudié ici, l'apparition de satisfactions unimodales inférieures à 5 pour des critères décisifs a permis d'écartier les scénarios 1 et 6, à éviter des analyses technico-économiques coûteuses et longues pour des critères dont la Satisfaction Unimodale est supérieure à 5, à révéler au contraire les éléments pour lesquels il existe un réel antagonisme entre experts et où il est donc crucial de canaliser ses efforts.

L'autre avantage net obtenu par cette analyse de la sensibilité provient du fait qu'elle réduit significativement tant le nombre que l'envergure des éventuelles missions de consultation ultérieures, et permet donc de gagner du temps. Le nombre, parce que ces missions ne se justifient que par la nécessité de réduire les Ecart Type Catégoriel des SI, et l'envergure justement parce qu'elles se limitent aux seules satisfactions d'intervalles des scénarios considérés comme meilleurs et qui n'ont pas été préalablement rejetés. Une fois les résultats de l'enquête obtenus, l'analyse peut se faire très rapidement, d'autant plus que la très grande majorité du traitement des données peut aisément se systématiser grâce à un quelconque programme informatique. En résumé, une analyse complète des données peut se faire en très peu de temps. Ceci est considéré comme un avantage considérable pour des problématiques jugées urgentes, comme c'est le cas du sel émis par les tanneries de León au Mexique.

6.3- Consensus versus compromis

Les réflexions faites dans la dernière section obligent à revenir sur la signification des termes consensus et compromis. Le grand dictionnaire terminologique⁵⁹ indique pour ces termes :

- le consensus est l' « acceptation générale signifiant l'absence d'opposition ferme d'une partie importante des intéressés à l'encontre de l'essentiel du sujet »
- le compromis est « l'action de céder un avantage en échange d'un autre, considéré comme plus intéressant, plus profitable ».

En résumé, la notion de compromis suggère une négociation entre les parties pour arriver à un nouvel état, globalement meilleur, alors que le consensus est plus strict dans la mesure où il impose l'absence d'opposition ferme d'une partie importante des intéressés.

La méthodologie conventionnelle, basée sur plusieurs missions de consultation, suggère plutôt la recherche de compromis et la considère même comme l'unique possibilité de sortie d'un conflit (Barba et al., 1997). Même si les experts entre eux ne se rencontrent pas, comme c'est le cas dans les analyses anonymes type Delphi, ils ont connaissance a posteriori des conclusions obtenues durant la ronde antérieure grâce aux résultats basés sur la médiane. Dans leur nouvelle évaluation, ils doivent forcément s'y référer dans la mesure où la question qu'on leur pose est justement de s'ajuster ou non à cette mesure. Sur l'ensemble des évaluations, ils peuvent s'ajuster à certaines d'entre elles dans un esprit conciliateur et lorsque cela ne les oblige pas à remettre fondamentalement en question leurs convictions, et être d'un autre côté plus exigeant lorsqu'ils se sentent vraiment concernés. D'une certaine façon, il s'agit là de recherche de compromis entre experts.

Dans la méthode d'analyse de sensibilité catégorielle, cette remise en cause successive des opinions des experts n'existe pas. L'évaluation est considérée a priori comme le fruit d'une véritable réflexion aboutie. Dans la mesure où elle se base sur la satisfaction clairement exprimée – ou non - des différentes catégories d'expert et qu'elle se sert de ces résultats pour la construction de nouveaux scénarios « clés en main », le résultat final

⁵⁹ http://www.granddictionnaire.com/_fs_global_01.htm

s'apparentera plus à un consensus construit qu'à un compromis négocié. La seule notion nouvelle apportée ici a été de déterminer, pour le cas des tanneries, des seuils acceptables au dessus desquels on doit parler « d'une partie importante des intéressés ». C'est-à-dire de proportionner une méthode objective qui souligne les cas pour lesquels on ne peut plus parler de consensus, sinon plutôt de compromis. Or, de l'opinion du candidat, s'il devait exister une échelle de valeur permettant de classer le compromis et le consensus, ce dernier obtiendrait probablement une meilleure évaluation.

Cette dernière observation permet d'introduire la réflexion suivante sur l'incompatibilité apparente entre satisfaction et compromis. En effet, l'idée générale du compromis suggère inconsciemment que ce dernier ait été obtenu des experts en leur extirpant des concessions, chacun un petit peu, jusqu'à arriver à une situation non pas satisfaisante, mais acceptable. C'est aussi, dans une certaine mesure, la constatation qui a été faite dans ce travail et qui a été à l'origine de l'idée même du développement de cette méthodologie. Or, il y a une différence réelle d'échelle de valeur entre un compromis acceptable et un autre satisfaisant. En réalité, l'un paraît à priori faible et l'autre fort. Il n'est plus guère étonnant dès lors d'apprendre que dans la plupart des projets utilisant l'analyse multicritère, la solution choisie fasse rarement partie d'une des solutions prévues initialement (Barba et al., 1997). En résumé, que la solution de compromis soit rarement la meilleure.

Ceci mérite un commentaire additionnel. Supposons l'existence d'une solution idéale, représentée métaphoriquement par une balance à l'ancienne dont l'aiguille indique la verticale (équilibre des poids) et dont les masses de chaque côté représentent la satisfaction de deux parties prenantes. Dans le cas d'un compromis obtenu qui satisfasse pleinement les deux parties (poids lourds), l'aiguille indiquera la verticale (compromis), de la même façon que pour un compromis beaucoup moins satisfaisant (poids légers), mais acceptable des deux côtés. Les deux sont des compromis, mais leur susceptibilité au changement provenant d'un facteur extérieur (rafale de vent par exemple) ne sera pas la même. En effet – toujours dans la métaphore – une modification soudaine des conditions initiales (un changement de politique, la promulgation d'une loi environnementale, etc) fera « basculer » plus facilement le compromis obtenu de mauvais gré (faible inertie) que le consensus construit sur de solides bases (forte inertie). En suivant toujours l'image de la

balance, on peut dire que le consensus est en quelque sorte un compromis « poids lourd » à forte inertie.

6.4- Sur la notion d'expert

Dans la longue liste des définitions du développement durable développée dans la section 3.4.1, l'importance accordée à une plus grande intégration des différentes parties impliquées dans le processus de prise de décision apparaît fréquemment. En effet, il semble aujourd'hui de moins en moins réaliste de tenter d'imposer des mesures sans préalablement en informer les citoyens. De fait, les études d'impact intègrent toutes aujourd'hui un processus d'information et de concertation entre toutes les personnes qui seront, de près ou de loin, affectées par le projet visé. Ici, on retrouve la définition de l'expert, tel que mentionné dans l'analyse de la satisfaction. C'est justement de la « qualité de jugement » des experts dont il est question.

En effet, ce qui est énoncé précédemment introduit un corollaire incontournable : les projets, lorsqu'ils sont d'envergure et peuvent affecter des personnes ou des populations entières, ne devraient plus être traités sous la seule lentille économique, technique ou technologique, mais associer tous les autres aspects tels l'environnement, la société, la culture, etc. D'où l'intérêt d'intégrer, dans l'analyse multicritère, des experts provenant de différentes strates de la population, qui seront affectés directement ou indirectement par la mise en place du projet. Mais il n'en reste pas moins que, très souvent, ces projets possèdent un volet technologique majeur ! Or, il faut s'attendre à ce qu'une bonne partie des personnes de la société civile se sente prise au dépourvu et incapable, faute de préparation ou information, de répondre à un questionnaire où des aspects techniques ou technologiques sont invoqués.

Deux conséquences découlent de cette constatation. La première concerne l'énoncé des critères : lorsqu'ils traitent d'aspects plus techniques, ils risquent de déconcerter une certaine proportion d'expert. Si l'objectif est d'intégrer la population, il devient le devoir de l'analyste, comme suggéré par Lockett et al. (1997), de préparer le questionnaire de manière à ce qu'il soit accessible et compréhensible à l'ensemble des experts et de

rompre avec l'arcane technocratique selon laquelle seuls des initiés privilégiés (politiques, statisticiens, etc.) peuvent prendre des décisions en connaissance de cause, et indépendamment des « sujets » pourtant directement affectés par la problématique.

La seconde remarque est plus une interrogation : qu'est-il préférable ? Procéder, selon la méthode Delphi classique, à plusieurs missions de consultation, avec le risque, pour ces personnes méconnaissant les aspects techniques, de finir par s'ajuster à une mesure de tendance centrale provenant d'un échantillon dont les erreurs d'estimation ont très certainement contribué à leur obtention ? Ou alors, selon la méthodologie proposée, mettre au contraire en relief cette absence trompeuse de compromis et en profiter pour élaborer un plan d'information de la population sur les tenants et aboutissants techniques de la mise en place de ce même projet ? On retrouve ici le même problème énoncé auparavant sur l'intérêt de l'analyse multicritère : il est peu probable de trouver une seule personne qui puisse connaître, de façon exhaustive, l'ensemble des fonctions de la problématique et ses conséquences dans le futur. Le problème ne semble donc pas être résolu non plus par cette méthode mais il semble plus pertinent d'adopter une attitude conservatrice du « et si... » que de chercher, par des moyens discutables, un compromis quelconque. Par ailleurs, rien n'empêche le chargé de l'enquête de faire un effort particulier de simplification et synthèse didactique au niveau de l'énoncé des critères et scénarios.

7.- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

« Les chiffres sont aux analystes ce que les lampadaires sont aux ivrognes : ils fournissent bien plus un appui qu'un éclairage ». Jean Dion, chroniqueur québécois

7.1- Conclusions

Le but de ce travail consiste en l'élaboration d'une méthode de post-optimisation relative aux méthodes d'analyse multicritères basées sur l'entrevue d'un panel d'expert. En l'occurrence, il s'agit d'une analyse de la satisfaction dont la méthodologie provient de la technique DELPHI. Le cadre général se situe dans un contexte de carence de données et de situations de conflits d'intérêts entre experts issus de divers milieux. L'exemple concret utilisé a été celui des tanneries de la ville de León, au Mexique, et plus spécifiquement le problème issu de la charge en sel de leurs effluents, problème qui a été abordé en tentant d'intégrer les principes généraux inscrits dans le concept de développement durable.

L'originalité principale réside dans le fait que cette analyse de sensibilité ne repose pas sur des considérations purement mathématiques, mais considère, selon des paramètres préalablement définis, une ou des valeurs de satisfactions clairement exprimées. En d'autres termes, la mesure de tendance centrale habituellement choisie, en l'occurrence la médiane, est substituée par la (ou les) valeurs qui exprime(nt) au mieux la satisfaction réelle de ces experts. En effet, au terme d'un premier sondage d'experts, l'analyste se trouve confronté fréquemment à des résultats caractérisés par une dispersion importante des données. Cette dispersion est telle qu'elle l'oblige, s'il choisit de suivre Delphi, à procéder à de nouvelles missions de consultation. Pour ce faire, il retourne voir les experts en leur demandant s'ils seraient d'accord à reconsidérer leur opinion et il leur fournit à cet effet la valeur de la médiane obtenue de la mission antérieure. Or, cette médiane, dans un contexte caractérisé par des intérêts divergents entre catégories d'expert, n'est que rarement une mesure de tendance centrale représentant fidèlement l'opinion générale : dans l'exemple présenté ici, la médiane n'est représentative de l'opinion des experts que

dans 23% des cas, les autres réponses étant parsemées de bruit additionnel qui compromet la possibilité d'obtention d'un véritable accord entre les parties.

L'objectif fixé était donc de créer une méthodologie basée sur l'analyse des courbes de fréquence et qui permette de déterminer un certain type de satisfaction ainsi que, le cas échéant, les valeurs d'un écart type catégoriel. Ces résultats doivent permettre d'avoir une compréhension plus fine de la problématique et des préoccupations des différents experts.

Pour ce faire, la méthodologie choisie a consisté à développer un filtre composé de paramètres statistiques qui permette de révéler et caractériser, lorsqu'elles existent, les satisfactions clairement exprimées. Ce filtre est composé de la médiane, des modes et d'autres outils statistiques.

Les principaux résultats obtenus dans ce travail ont montré que la méthodologie d'analyse de sensibilité répondait de façon pertinente à l'objectif de caractérisation des satisfactions des experts. En effet, le filtre de paramètres ainsi que les seuils qui lui sont associés décrivent de façon satisfaisante l'opinion catégorielle des évaluateurs interrogés, et les graphiques synthétiques des résultats fournissent des informations appropriées susceptibles d'aider le preneur de décision dans ses choix. L'intégration des critères du développement durable a été bien acceptée par les experts et ils semblent cohérents avec le reste des critères. Les biais rencontrés, principalement au niveau du classement des scénarios, sont mineurs et proportionnent au contraire une perspective temporelle qui peut être avantageusement exploitée. La détermination des types de satisfaction ainsi que de leurs écarts types catégoriels respectifs constituent des prolégomènes ouvrant de nouvelles possibilités d'interprétation et d'analyse, plus susceptibles de comprendre les tenants et aboutissants de la problématique traitée et d'en tirer les conséquences au moment de l'élaboration de nouveaux scénarios. Le temps dédié au projet peut ainsi s'en trouver réduit de façon significative, ce qui engendre des coûts moindres. Enfin, cette post-optimisation réalise un pas en avant vers le consensus construit, plutôt que le compromis négocié obtenu par les méthodes traditionnelles, ce qui confirme finalement l'hypothèse originale.

En conclusion, le projet présenté ne prétend pas remettre en question les post-optimisations des techniques type Delphi, mais attire l'attention du lecteur sur certains

dangers à vouloir interpréter, sous la seule lentille mathématique, des résultats issus d'un groupe d'expert, surtout lorsque ceux-ci sont répartis en groupes aux intérêts distincts. Dans ce contexte, il ne faut guère s'attendre à ce qu'une seule valeur puisse révéler de façon suffisante leur opinion sur un certain sujet. De fait, la méthodologie d'analyse de sensibilité basée sur la satisfaction des experts n'est pas non plus une fin en soi, mais pourrait avantageusement compléter et renforcer les techniques traditionnelles. En fin de compte, qu'elle que soit le type d'outil adopté, il ne faut pas oublier que les résultats obtenus ne servent qu'à une aide à la prise de décision, et leur utilisation ne devrait en aucun cas prétendre dépasser ces limites, qui sont inhérentes à la méthode même.

7.2- Perspectives et nouveaux travaux

La fenêtre d'application de cette méthode d'analyse de la sensibilité est vaste, et le sera probablement d'autant plus au fur et à mesure que s'appliqueront les principes de la démocratie locale et du développement durable. A chaque fois qu'il s'agira de construire des scénarios dans un contexte de carence de données, de conflits d'intérêts entre les parties, ou entre ces dernières et les générations futures, et que le temps sera un facteur déterminant, cette méthode trouvera une possibilité d'application. L'ingénieur dans ses choix de technologies, de tracé de nouvelles routes, de choix des matériaux pour la construction de bâtiments ou lors des études d'impact ; l'économiste ou le sociologue dans les choix de société qui affectent une large population, le gouvernement durant l'élaboration de nouvelles lois ou règlements ou pour des référendums ; l'environnementaliste dans une meilleure compréhension du « complexe », caractéristique du domaine qu'il étudie.

Bien entendu, ce travail présente une première étude et les linéaments de possibilités d'applications futures. Par exemple, il devra être possible de laisser au preneur de décision le choix de la valeur des seuils présents dans le filtre de paramètres, ou alors l'informer des résultats obtenus en fonction de différentes valeurs de seuils. Ces dernières, tel que montré dans la section 5.4, si elles ne modifient en rien le classement des scénarios, introduisent la possibilité de développer une échelle de consensus, échelle qui dépendra par exemple de la proportion relative des trois types de satisfaction obtenues. Ces réflexions montrent à quel point le développement futur d'un logiciel

informatique d'automatisation et de standardisation de la méthodologie proposée pourrait constituer un suivi intéressant des résultats obtenus.

La notion même de catégorie d'expert n'est pas entièrement satisfaisante. Il serait important dans le futur d'agréger à ce type d'analyse une méthode permettant de déterminer, en fonction du profil de réponse des experts, les différentes catégories qui la composent. Ceci est tout à fait possible en statistique grâce à des types de représentations adaptées : sur un même plan, les résultats sont regroupés selon le patron de réponse des experts ce qui permet de révéler ce que chaque groupe a en commun. De cette façon, il sera possible de faire apparaître éventuellement d'autres ségrégations entre experts, qui pourraient être utiles au preneur de décision. Cependant, le recours aux sciences ontologiques paraît être une voie incontournable à une meilleure compréhension et donc utilisation d'évaluateurs issus de la société civile dans les problèmes de décision.

Enfin, la détermination des écarts type catégoriels n'entraîne pas systématiquement de combinaison évidente pour la conformation de nouveaux scénarios supposés idéaux. Ceux-ci doivent se confronter avant tout à la réalité de la situation, dont la complexité n'est pas forcément entièrement révélée par l'entremise d'un certain nombre de critères, même si ces derniers ont été déterminés avec des méthodes reconnues et scientifiques. C'est aussi pourquoi il est si important d'avoir toujours pour référence un scénario du type « Statu quo » : l'empressement à vouloir, coûte que coûte, prendre une décision par rapport à une situation initiale jugée insatisfaisante peut amener à des extrémités pires encore, qui peuvent se révéler peu profitables.

Pour autant, et indépendamment du pays concerné, tout projet d'envergure caractérisé par une carence de données, un budget limité et l'existence d'intérêts divergents entre des personnes directement ou indirectement concernées par la problématique étudiée, peut constituer une opportunité à l'utilisation de cette méthodologie, et pas seulement dans le domaine de l'environnement, même si dans la réalité ce dernier présente fréquemment ces trois caractéristiques (Druon, 1995). C'est le cas par exemple de la gestion de l'eau et des ressources naturelles en tant que patrimoine commun, de la détermination de la valeur d'un impôt ou d'un incitatif quelconque pour le développement de nouveaux systèmes de transport, la formulation d'une loi ou règlement ou l'organisation d'un référendum, etc.

Références bibliographiques

Agresh A. (1990), "Categorical Data analysis", John Wiley, New York.

Asplund, J. (1979), "Teorier om Framtiden" (Theories about the Future, in Swedisch), *Liber*, Falköping.

Barba-Romero S., Pomerol J.C (1997), "Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización concreta", *Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcala*, 420 p.

Bastidas L.A, Gupta H.V., Sorooshian W.J., Shuttleworth W.J and Yang Z.L. (1999), "Sensitivity analysis of a land surface scheme using multicriteria method", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104 N°D16, pp 19481-19490.

Belton V., Vickers S. (1990), "Use of a simple multiattribute value function incorporating visual interactive sensitivity analysis for multiple criteria decision making", in *Readings in multiple criteria decision making*, BANA E COSTA C.A., Ed., Springer, p. 319-334.

Belton V., (1990), "Multiple Criteria Decision Analysis: Practically the Only Way to Choose" in L Hendry & R Eglese eds, *Operational Research Tutorial Papers*, Operational Research Society, Birmingham, UK.

Bender A., Din A., Favarger P., Hoesli M., Laakso J. (1997), "An analysis of perceptions concerning the environmental Quality of housing in Geneva", *Urban studies*, Vol. 34, N° 3, pp. 503-513.

Bennett M., Peter J. (1998), "The green bottom line : management accounting for environmental improvement and business benefit", *Management Accounting*, Vol. 76, pp 20-25.

Brugha C. (1997), "Structuring and weighting criteria in Multi criteria decision making (MCDM)", in *Trends in Multicriteria Decision Making*, Stewart T and Van den Honert R.C, Springer, Berlin, 448p

Butler J., Jia J., Dyer J. (1997), "Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models", *European Journal of Operational Research*, N° 103, pp. 531-546.

Canter L.W. (1997), "Manual de evaluación de impacto ambiental: técnicas para la elaboración de los estudios de impacto", 2e édition, McGraw Hill, 841p.

Carnaban J.V, Thurston D.L., Liu T. (1994), "Fuzzing ratings for multiattribute design decision-making", *ASME J. Mech. Des.* 116, pp 511-521.

Chakravarti A. K., Vasanta B., Krishnan A. S. A., Dubash R. K. (1998), "Modified Delphi methodology for technology forecasting: case study of electronics and information technology in India", *Technological forecasting and social change* N° 58, pp 155-165.

Climaco J., (1997), "Multicriteria analysis: proceedings of the XIth International Conference on MCDM, 1-6 August 1994, Coimbra, Portugal", Springer, 616p.

De Coninck De P., Séguin M., Chornet E. (1999), « Citizen Involvement in Waste Management : An Application of The STOPER Model via an Informed Consensus Approach", *Environmental Management* Vol. 23, N°1, pp. 87-94.

Conraud, T., Urra-Carasco, P., Cloutier, F., Villeneuve, S., Huppe, I. et Cabral, A.R. (2000). « Cuinba: gestión ecologica industrial en la empresa CUIMBA, SA de CV": Reporte de trabajo.

Conraud, T., Urra-Carasco, P., Harvey, M. et Cabral, A.R. (2001). "CICUR: Minimización de la sal de conservación en los efluentes de las tenerías de León, Gto: Evaluación multicriterio de escenarios", Reporte final.

Cormier, M. (2002) "Charge de sel dans les effluents des tanneries de la ville de León au Mexique : analyse multicritère », Rapport final, Essai de Maîtrise en Environnement de l'Université de Sherbrooke.

Côté G. et Waaub J.P (2000), « L'évaluation des impacts d'un projet routier : l'utilité de l'aide multicritère à la décision », Cahiers de géographie du Québec, Volume 44, N°121, pp. 43-64.

Daellenbach H. (1994), "Systems and Decision Making", Wiley, Chichester.

Dalkey N., Brown B., Cochran S. (1969), "The DELPHI method, III: Use of self ratings to improve group estimates", *Rand Corporation* (RM-6115-PR)

Dendy L.R, Gnanadesikan R., Kettenring J.R, Susansky J.W. (1990), "An analysis of questionnaire data on work design and job satisfaction: a case study in the use of simple graphical displays", in: S. Geisser, J.S. Hodges, S.J. Press and A. Zellner (eds), *Bayesian and likelihood methods in statistics and econometrics*, Elsevier Science Publishers BV, North Holland.

Engel J., Kollat D., Blackwell R. (1978), "Consumer behavior", Dryden Press, Illinois.

Erkman S. (1997), "Industrial ecology: a historical view", *Journal of Cleaner production*.

Finnveden Göran (1999) "Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems", *Resources, Conservation and Recycling* 26, pp 173-187.

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, en el Banco de México), (1989), *Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, FIRA, boletín informativo 204(21), México city.

Garipey M., Domon G., Jacobs P. éds. (1990), "Développement viable et évaluation environnementale en milieu urbain », Montréal, Université de Montréal, Faculté d'aménagement, 54p.

Gauthier Stephen J. (1998) "Applying Full-Cost Accounting to Solid-Waste Management Operations" *Government Finance Review*, pp 19-22.

Gilles A. (1994), "Elements de méthodologie et d'analyse statistique pour les sciences sociales", McGraw Hill, 571 p.

Goodwin P & Wright G. (1998), "Decision Analysis for Managerial Judgment", Wiley, Chichester.

Graedel T. E. (2000), « The evolution of industrial ecology », *Environmental Science and Technology*, pp 28-34.

Green P.E., Wind J., (1973), "Multi-attribute decisions in marketing: a measurement approach", *The Dryden Press*, Illinois.

Grenon G., Viau S.(1997), "Statistique appliquée : initiation a l'analyse des données statistiques », Gaetan Morin Editeur, 557 p.

Gupta, U.G., Clarke R. E.: (1996), "Theory and applications of the Delphi Technique: a bibliography (1975-1994)", *Technological Forecasting and social change*, N°53, pp. 185-211.

- Hanushek, E.A., Jackson J.E. (1977), "Statistical methods for social scientists", Academic Press.
- Hartog J.A., Hinloopen E., Nijkamp P. (1989), "A sensitivity analysis of multicriteria choice-methods: an application on the basis of the optimal site selection for un nuclear power plant", *Energy economics*, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd.
- Hausler R., Hade A., Béron P. (1994), "Total quality management for environment: a view approach for the choice of purification technology", *Proceedings Earthcare 1994*, 8-10 Nov., INSA-Toulouse, France, pp. 12-18.
- Henry J.G., Heinke G.W. (1999), "Ingeniería ambiental", 2e édition, Pearson, 800 p.
- Höjer M. (1998), "Transport telematics in urban systems – a backcasting DELPHI study", *Transpn Res.-D*, Vol. 3, N°6, pp. 445-463.
- Hsu T.H. (1999), "Public transport system project evaluation using the analytic hierarchy process: a fuzzy Delphi approach", *Transportation planning and Technol.*, Vol 22, pp. 229-246.
- Hurley W.J. (2001), "The analytical hierarchy process: a note on an approach to sensitivity which preserves rank order", *Computers & Operations Research*, 28, pp. 185-188.
- Hyden C. (1995), "A basis for evaluation-Road Safety" Deliverable 24, TOSCA II, ARENA, Swedisch National Road Administration, Borlange.
- Jothi S.P., Umaretiya S.B., Jothi S.B. (1991), "Decision making in preliminary engineering design", *Artificial Intell. Eng. Des. Anal. Manufact.* 5, pp 21-30.
- Kaymak U., Van Nauta Lemke H.R. (1998), "A sensitivity analysis approach to introducing weights factors into decision functions in fuzzy multicriteria decision making", *Fuzzy sets and systems* 97, pp. 169-182.
- Keeney S., Hasson F., McKenna H. P. (2000), "A critical review of the Delphi Technique as a research methodology for nursing", *International Journal of nursing studies*, pp 195-200.
- Lachnitt J. (1980), "L'analyse de la valeur", Presses Universitaires de France, 127 p.
- Lipietz, A. (1999), "Qu'est ce que l'écologie politique ?. La grande transformation du XXI siècle », Ed. La découverte, 127 p.
- Lockett G., Naudé P., and Islei g. (1997), "Influence in Group Decision Making", in *Trends in Multicriteria Decision Making*, Stewart T and Van den Honert R.C, Springer, Berlin, 448p.
- Lootsma, F.A., Ramanathan, R., Schuijt, H. (1998), "Fairness and Equity via concepts of multicriteria decision analysis", Stewart and R.C. van den Honert (eds.), *Proceedings of the Cape Town MCDM Conference*, Springer, Berlin.
- Mabin V., King G., Menzies M., Joyce K. (2001), "Public sector priority setting using decision support tools", *Australian Journal of Public Administration*, N°60(2), pp. 44-59.
- Malczewski J., Moreno-Sanchez R., Bojorquez-Tapia L.A., Onguey-Delumeau E. (1997), "Multicriteria Group Decision-making Model for Environmental Conflict Analysis in the Cape Region, Mexico", *Journal of Environmental Planning and Management*, 40(3), pp 349-374.
- Mareschal B., (1988), "Weight stability intervals in multicriterio decision aid", *European Journal of Operational Research*, vol. 33, p. 54-64.

Masser I., Sviden O., Wegener M. (1992), "The geography of Europe's futures", Belhaven Press, London.

Malyon BE, Stewart TJ; (2000), "Soft-OR and Multicriteria decision analysis for group decision support: a case study in fisheries management", Research and practice in multiple criteria decision making lecture notes in economics and mathematical systems, No.487,pp.445-457, Springer, Berlin

Montès Luisa (1998), "Financing sustainable development in Mexico through alternative banks or "green banks"", Journal of Project Finance, Vol 4.

Moskowitz H., Preckel P.V., Yang A. (1991), "Multiple Criteria Robust Interactive Decision Analysis (MCRID): a tool for multiple criteria decision support", in Multiple Criteria Decision Support, Korhonen P., Lewandowsky A., Wallenius J., Eds., Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 356p, pp 118-127.

Neumann von J., Morgenstern O. (1944), "theory of games and economic behavior", Princeton University Press.

Oral M., Kettani O., Cinar U. (2001), "Project evaluation and selection in a network of collaboration: a consensual disaggregation multi-criterion approach", European Journal of Operational research, N° 130, pp 332-346.

Panisset J.C, D. Béguin, M. Gérin (1996), « La prévention de la pollution : un avantage concurrentiel pour l'entreprise d'aujourd'hui », Entreprise et développement durable, Les cahiers scientifiques Ed. ACFAS.

Pauli Günter (1995), "Pollution zéro, les nouvelles grappes industrielles », Consommation et Environnement, pp 26-30.

Provost Michel (1996), "Le développement durable : concept, réactions et positions de l'entreprise », Entreprise et développement durable, Les cahiers scientifiques Ed. ACFAS.

Quaddus M.A, Siddique M.A.B. (2001), "Modelling sustainable development planning: a multicriteria decision conferencing approach", Environment international 27, pp 89-95

Quaile Hill K., Fowles J. (1975), "The methodological worth of the Delphi forecasting technique", Technological forecasting and social change, p 179-192.

Qureshi M.E, Harrison S.R, Wegener M.K. (1999), "Validation of multicriteria analysis models", Agriculture systems 62, pp 105-116

Ramanathan R. (2001), "A note on the use of the analytic hierarchy process for environment impact assessment", Journal of Environmental Management, N°63, pp. 27-35.

Rauch W (1979), "The decision Delphi", Technological forecasting and social change, N° 15, pp 159-169.

Ray T.G., Triantaphyllou E., (1998), "Evaluation of rankings with regard to the possible number of agreements and conflicts", European Journal of Operational Research 106, pp. 129-136.

Redclift M. (1992), "The meaning of Sustainable Development", Geoforum, vol.23, n°3.

Riggs W. E. (1983), "The Delphi technique. An experimental evaluation", Technological forecasting and social change, N°23, pp 89-94.

Robinson M.S, Soland R.M (1995), "The sensitivity analysis of "inexact" multicriteria decision", in Lecture notes in economics and mathematical systems, Multiple Criteria Decision Making, Proceedings of the Twelfth International Conference, Hagemn, germany, 678 p.

Roy B. (1985), « Méthodologie Multicritère d'Aide a la Décision », *Economica*, Paris.

Saaty T.L. (1980), « The Analytical Hierarchy Process », McGraw Hill.

Saaty T.L. (2000), « Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytical Hierarchy Process », Pittsburgh: RWS Publications.

Sackman, H. (1974) « Delphi assessment: Expert opinion, forecasting and group process" R-1283-PR, *The Rand CORPORATION*, Santa Monica.

Scarelli A., Venzi L. (1997), « Nonparametric statistics in multicriteria analysis », *Theory and Decision* 43, pp 89-105.

SEDUE (Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología), (1988), *Manual de Ordenamiento Ecológico del territorio (México, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica), Subsecretaria de Ecología, México.*

SEMARNAP (1999), "Promoción de la minimización y manejo integral de los residuos peligrosos", INE, SEMARNAP.

Simon H.A (1955), « A behavioral model of rational choice », *Quaterly Journal of Economics*, vol. 69, p. 99-118. Repris dans *Models of Man*, Wiley, New York, 1957, p. 241-260.

Siskos Y., Grigoroudis E., Zopounidis C., Saurais O. (1998) « Measuring customer satisfaction using a collective preference disaggregation model », *Journal of Global Optimization* 12, pp. 175-195.

Sixto R., Rios-Insua M.J, Rios-Insua S. (1989), "Procesos de decisión multicriterio", *Eudema Universidad*, 332 p.

Srinivasan V., Shocker A.D., (1973), "Estimating the weights for multiple attributes in a composite criterion using pairwise judgments", *Psychometrika*, vol. 38, pp 473-493.

Thurston D.L. (1991), « A formal method for subjective design evaluation with multiple attributes", *Res. Eng. Des.* 3, pp 105-122.

Tiwari D.N, Loof R., Paudyal G.N, (1999), "Environmental-economic decision-making in lowland irrigated agriculture using multi-criteria analysis techniques", *Agricultural Systems* 60, pp 99-112.

Turoff M. (1970), « The design of a policy Delphi », *Technological forecasting and social change*, N°2, pp 149-171.

Vanderpooten D., (1990), "L'approche interactive dans l'aide multicritère a la décision », *Thèse de l'université de Paris-Dauphine*, Paris.

Wang J.R. (2001), "Ranking engineering design concepts using a fuzzy outranking preference model", *Fuzzy sets and systems*, pp 161-170.

Wei Q., Yan H., Ma J., Fan Z. (2000), « A compromise weight for multi-criteria group decision making with individual preference », *Journal of the Operational Research Society*, 51, pp. 625-634.

Woudenberg F. (1991), "An evaluation of Delphi", *Technological forecasting and social change*, p. 131-150.

Zionts S. (1981), "A multiple criteria method for choosing among discrete alternatives", *European Journal of Operational Research*, vol. 7, pp 143-147.

ANNEXES

ANNEXE 1: DOSSIER D'ÉVALUATION

- Matrice d'évaluation
- Information générale proportionnée aux experts

Nombre:		Sector:						
Categorías/criterios		Ponderación (usar escala ponderación)	ESCENARIOS (usar escala criterios)					
			1- Cump. Zona Urbana	2- Wet Blue en adelante	3- Reub. Z.I solos	4- Reub. Z.I Agrupados	5- Reub. Zona matederos	6- Statu Quo
Ambiente Natural		EVALUACION						
NAT 1	Carga de la sal en el efluente							
NAT 2	Carga de los demás contaminantes en el efluente							
NAT 3	Cantidad de agua utilizada							
NAT 4	Cantidad de energía utilizada							
NAT 5	Cantidad de Materia Secundaria							
NAT 6	Calidad del medio ambiente							
NAT 7	Responsabilidad ambiental							
Ambiente Humano								
HUM 1	Necesidades fundamentales actuales							
HUM 2	Necesidades fundamentales de las futuras generaciones							
HUM 3	Salud de los trabajadores							
HUM 4	Salud de la población							
HUM 5	Respeto de la cultura local							
HUM 6	Impacto inmediato sobre empleo							
HUM 7	Impacto mediano largo plazo sobre empleo							
HUM 8	Acceso al conocimiento y a la información							
HUM 9	Receptividad de la población							
HUM 10	Receptividad política							
Criterios Técnico - Económicos								
TEC 1	Gestión de recursos tec. y econ. a corto plazo							
TEC 2	Gestión de recursos tec. y econ. a mediano largo plazo							
TEC 3	Disponibilidad de equipo y tecnologías							
TEC 4	Acceso a materia prima							
TEC 5	Acceso al recurso agua							
TEC 6	Acceso a la materia secundaria							
TEC 7	Calidad de la materia prima							
TEC 8	Impacto sobre el sector							
SATISFACCION								
CLASIFICACIÓN								

Clave:

INFORMATION GENERALE PROPORTIONNEE AUX EXPERTS

Eau

- La consommation totale en eau des secteurs industriels de la ville de León est approximativement de 141,5 millions de m³ d'eau par an. La consommation moyenne d'une petite tannerie est de 226 m³ d'eau par mois. La consommation totale d'eau du secteur des tanneries se situe entre 10 000 et 14 000 m³ d'eau par jour.
- La transformation d'une tonne de peau requiert de 25 à 35 m³ d'eau. La majeure partie de la consommation d'eau se situe dans la phase humide (93 %). Les entreprises ne réutilisent ou ne recyclent presque jamais l'eau.
- La forte croissance de la tarification de l'eau est entrée en vigueur. Les coûts de production augmentent en conséquence.

Sel

- Problématique considérée comme prioritaire par les tanneurs (88 %) ainsi que pour CICUR, CNA, INE, et PROPAEG.
- Il est impossible de séparer ce problème de celui de l'eau. En effet, la conservation des peaux lors de leur transport de l'abattoir jusqu'à la tannerie nécessite une application de 9 kg de sel pour chaque 30 kg de peau. De plus, 80 % des tanneries reçoivent le cuir salé et seulement 20 % le reçoivent en sang. Seulement 20 % des tanneries achètent le Wet Blue.
- De la quantité totale de sel utilisée dans les processus humides des tanneries, 80 à 90 % correspond au sel de conservation, 10-20 % au sel du processus Pickle (ce dernier génère sept tonnes de sel par tannerie et par année).
- À l'heure actuelle, il est impossible de savoir avec certitude si le seul fait d'éliminer le sel de conservation (et non celui du Pickle) permettra ou non de diminuer la charge de sel dans les effluents jusqu'à atteindre les normes environnementales en vigueur.
- Le Wet Blue actuellement disponible est de qualité et disponibilité très variable.
- L'utilisation de systèmes alternatifs de conservation des peaux (agents biochimiques, réfrigération, etc.) présente certaines limites (temps, températures maximales, manipulation, contaminations et autres coûts associés). C'est la raison pour laquelle ils n'ont pas été mis en place par beaucoup de tanneurs.

Parc industriel

- Les parcs industriels sont encore inopérants dans la mesure où ils ne comptent pas encore avec l'infrastructure nécessaire pour le fonctionnement des tanneries et pour la manipulation des sous-produits.
- La relocalisation des tanneries dans un parc industriel de León a donné dans le passé

des résultats négatifs.

Matière première

- La matière première des tanneries est constituée par la peau des animaux : 80 % des peaux proviennent des États-Unis, le reste provenant de différentes parties des Amériques, dont le Mexique.
- La faible utilisation des peaux mexicaines est due au manque de concentration géographique et au manque d'organisation des fournisseurs (sources dispersées d'abattoirs)
- Depuis plusieurs années, on observe une raréfaction des peaux et une diminution de leur qualité. Cela a un impact sur les prix.
- Aux États-Unis, la diversité des peaux est grande. Il y a jusqu'à 49 sélections différentes. Au Mexique, une très faible diversité (cinq) de peaux est disponible.
- Les espèces animales exploitées sont :
 - Boeuf : 60-90 %
 - Porc : 15 %
 - Chèvre : 6%
 - Agneau : 6%
- La possibilité actuelle de contrôle sur la qualité des peaux par les micros et petites tanneries est très limitée. Les tanneurs doivent se rendre à un pôle de distribution dans la ville de León. De là, les peaux leur sont concédées à la criée et ils n'ont pratiquement aucun pouvoir de décision sur le choix de celles qu'ils achèteront.

Systèmes de traitements

- Presque aucune tannerie ne possède un système complet de traitement de ses effluents. Entre 35 et 50 % des tanneries versent leurs effluents directement dans les égouts.
- Les systèmes de traitement sont toujours très dispendieux et impliquent de gros investissements à long terme : en investissement initial, opération et entretien.
- La moyenne d'espace disponible dans les tanneries est de 200 m² et 50% des tanneries n'ont aucun espace physique pour l'installation de systèmes de traitement.
- Les systèmes de traitement achetés par les tanneurs sont partiels et pas nécessairement de la dernière génération : ils ne permettent pas de rencontrer les normes environnementales en vigueur (dû à la haute charge de contaminants et au mélange des effluents).
- Les systèmes de traitement doivent être techniquement adéquats, socialement acceptables et respectueux de l'environnement. Le cas particulier du sel est sûrement le problème majeur des tanneries en ce qui a trait au système de traitement. Les

systèmes conventionnels ne permettent pas d'enlever le sel dans les effluents à des niveaux acceptables.

- Le traitement des effluents séparés donne de meilleurs résultats, est plus simple et plus économique que celui des effluents combinés, mais le regroupement des différents systèmes de traitement intégrés nécessite souvent un espace plus important que dans le cas d'un traitement conventionnel.

Charge de l'effluent

- Une tonne de peau transformée provoque la génération de :
 - 129 kg de demande biologique en oxygène (DBO)
 - 500 kg de demande chimique en oxygène (DCO)
 - 257 kg de solides en suspension totale
 - 351 kg de solides dissous totaux
 - 1,65 kg de graisse et huile
 - 4,53 kg de sulfures
 - 0,0005 kg de chrome

Normes et réglementation

- Tout semble indiquer que les normes deviendront plus dures avec le temps, conformément à l'avancement des connaissances et à l'application progressive des accords de libre commerce avec les partenaires américains et européens.
- Doivent également être considérées l'augmentation de l'influence et la pression des clients des tanneries au niveau international, qui exigeront chaque fois de leurs fournisseurs le respect des critères environnementaux et une qualité totale (ISO, système de gestion environnementale des résidus, etc.).
- Il existe, surtout à long terme, une grande différence de susceptibilité à la norme environnementale entre le fait de traiter les effluents ou de les réduire à la source.

Regroupement et coopérativisme

- Le regroupement est la reconnaissance d'un problème partagé par une majorité des entreprises.
- Les initiatives antérieures de regroupement et coopérativisme entre les tanneries ont donné des résultats négatifs : les facteurs en cause sont d'ordre culturels comme l'individualisme, le manque de confiance, l'importance de la hiérarchie sociale, le problème de la succession familiale, l'autonomie, etc.
- L'argument principal pour le regroupement est d'ordre financier (les tanneries seules peuvent difficilement assumer les coûts associés aux solutions proposées).
- Il y a par contre d'autres avantages inhérents au regroupement : économie d'échelle, augmentation du pouvoir d'investissements, accès à de meilleurs crédits, plus

d'espace physique, amélioration continue des tanneries et de leurs technologies.

Situation financière

- Peu d'accès aux crédits
- Intérêts bancaires très élevés
- Endettement excessif
- Manque de liquidité
- Augmentation des coûts de production (eau, confinement des déchets, raréfaction des peaux, etc.).

Réceptivité politique

- Il est nécessaire de prendre en compte les traités de libre échange avec le Canada, les États-Unis et l'Europe. Ces traités incluent des spécifications rigoureuses de protection de l'environnement qui conditionne le commerce entre les pays.
- Dans le contrat du Rio Turbio (Convenio del Rio Turbio) en 1997, le secteur gouvernemental a proposé trois alternatives au secteur : la rencontre des normes environnementales dans la zone urbaine, l'arrêt de la production de Wet Blue et le déménagement des tanneries dans un parc industriel. A ce jour, seulement 30 % de ces ententes ont été suivies par des initiatives concrètes.

Emploi

- 12,2 % de la population active de León travaille dans le secteur des tanneries
- 59,2 % de la population active est employée dans le secteur de la confection
- Au total : 71,4% du secteur économique de la ville de León dépend du secteur de la peau.
- De chaque travailleur du secteur des tanneries dépendent huit travailleurs du secteur de la confection.
- Il existe un important savoir-faire dans la ville de León en relation avec le travail de la peau.

ANNEXE 2 :

CRITERES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Concepts	Sources (abréviations)	Occurrence (#fois/30)	Référence Internet
Environnement (NAT)			
Utiliser adéquatement les ressources naturelles	A.Markandya A.Sen ACDI Agri/Agro. Can BCNI Brundtland CCE DEC Décl. Rio.92 Env. Can. ÉPFL Action 21 IISD Conoco inc. 3M cpie LoiDD MAECI Minnesota State OCDE Patrimoine Can. Res. Nat. Can. Res. Hum. Can. SBI SEI UDD WBCSD	26/30	<u>MARK</u> <u>A.Sen</u> <u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>BRUNDTLAND</u> <u>DEC</u> <u>RIO</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>ACTION</u> <u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>CONOCO</u> <u>LoiDD</u> <u>MAECI1</u> , <u>MAECI2</u> <u>MinnST</u> <u>OCDE1</u> , <u>OCDE2</u> <u>PATRIMOINE</u> <u>RNCAN1</u> , <u>RNCAN2</u> , <u>RNCAN3</u> <u>RHCAN</u> <u>SBI</u> <u>SEI</u> <u>UDD</u> <u>WBCSD</u>
Protéger, conserver et préserver la qualité des ressources naturelles	ACDI Agri/Agro. Can BCNI Env. Can. ÉPFL IISD Res. Hum. Can. SBI	8/30	<u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>RHCAN</u> <u>SBI</u>
Préserver, protéger et conserver le fonctionnement autosuffisant et la biodiversité des	ACDI Agri/Agro. Can BCNI Décl. Rio.92 Env. Can. ÉPFL	12/30	<u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>RIO</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u>

écosystèmes	IISD LoiDD MAECI Res. Hum. Can. SBI UDD		<u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>LoiDD</u> <u>MAECI1</u> , <u>MAECI2</u> <u>RHCAN</u> <u>SBI</u> <u>UDD</u>
Humain (HUM)			
Accès plus équitable aux ressources naturelles	ACDI	1/30	<u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u>
Maintenir/augmenter la qualité de vie de tous les acteurs impliqués	ACDI Agri/Agro. Can. Dow Chem. Env. Can ÉPFL Gouv. Can. IISD 3M cpie. OCDE Res. Hum. Can. Santé Can. SBI Sust. Mgnt Tool WBCSD	14/30	<u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>DOW</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>GOUV</u> <u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>OCDE1</u> , <u>OCDE2</u> <u>RHCAN</u> <u>SANTÉ</u> <u>SBI</u> <u>TOOL</u> <u>WBCSD</u>
Respecter la culture locale, l'équité, les droits de la personne, de la femme et des minorités	A.Sen ACDI Env. Can Conoco. Inc. SBI UDD	6/30	<u>A.Sen</u> <u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>CONOCO</u> <u>SBI</u> <u>UDD</u>
Répondre aux besoins présents réels des humains	ACDI Agri/Agro. Can. BCNI CCE DEC Décl. Rio 92 Env. Can ÉPFL IISD Conoco inc. LoiDD MAECI Minnesota State OCDE Patrimoine	19/30	<u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>DEC</u> <u>RIO</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>CONOCO</u> <u>LoiDD</u> <u>MAECI1</u> , <u>MAECI2</u> <u>MinnST</u> <u>OCDE1</u> , <u>OCDE2</u> <u>PATRIMOINE</u>

	Can. Res. Hum. Can. Res. Nat. Can SEI WBCSD		<u>RHCAN</u> <u>RNCAN1</u> , <u>RNCAN2</u> , <u>RNCAN3</u> <u>SEI</u> <u>WBCSD</u>
Répondre aux besoins potentiels des générations futures	A.Markandya A.Sen ACDI Agri/Agro. Can BCNI Brundtland CCE DEC Décl. Rio.92 Env. Can. ÉPFL Action 21 IISD Conoco inc. 3M cpie LoiDD MAECI Minnesota State OCDE Patrimoine Can. Res. Nat. Can. Res. Hum. Can. SEI WBCSD	24/30	<u>MARK</u> <u>A.Sen</u> <u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>BRUNDTLAND</u> <u>DEC</u> <u>RIO</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>ACTION</u> <u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>CONOCO</u> <u>LoiDD</u> <u>MAECI1</u> , <u>MAECI2</u> <u>MinnST</u> <u>OCDE1</u> , <u>OCDE2</u> <u>PATRIMOINE</u> <u>RNCAN1</u> , <u>RNCAN2</u> , <u>RNCAN3</u> <u>RHCAN</u> <u>SEI</u> <u>WBCSD</u>
Technico-économique (TEC)			
Minimiser la demande en ressources naturelles	Décl. Rio 92 ÉPFL	2/30	<u>RIO</u> <u>ÉPFL</u>
Utilisation/gestion efficace des ressources économiques et techniques	ACDI Agri/Agro. Can BCNI Brundtland CCE DEC Décl. Rio.92 Env. Can. ÉPFL IISD Conoco inc. LoiDD	20/30	<u>ACDI1</u> , <u>ACDI2</u> , <u>ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>BRUNDTLAND</u> <u>DEC</u> <u>RIO</u> <u>ENV1</u> , <u>ENV2</u> , <u>ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>IISD1</u> , <u>IISD2</u> , <u>IISD3</u> <u>CONOCO</u> <u>LoiDD</u>

	MAECI Minnesota State OCDE Patrimoine Can. Res. Nat. Can. Res. Hum. Can. SEI WBCSD		<u>MAECI1, MAECI2</u> <u>MinnST</u> <u>OCDE1, OCDE2</u> <u>PATRIMOINE</u> <u>RNCAN1, RNCAN2, RNCAN3</u> <u>RHCAN</u> <u>SEI</u> <u>WBCSD</u>
Travailler de manière sécuritaire	Conoco inc.	1/30	<u>CONOCO</u>
Travailler de manière responsable vis-à-vis l'environnement	Décl. Rio 92 ÉPFL Conoco inc. OCDE SBI	5/30	<u>RIO</u> <u>ÉPFL</u> <u>CONOCO</u> <u>OCDE1, OCDE2</u> <u>SBI</u>
Protéger et garantir l'emploi et les moyens financiers des individus impliqués	Agri/agro Can. Env. Can. Res. Hum. Can. SBI	4/30	<u>AGRC</u> <u>ENV1, ENV2, ENV3</u> <u>RHCAN</u> <u>SBI</u>
Développement économique et technique avec une vision à long terme	A.Markandya A.Sen ACDI Agri/Agro. Can BCNI Brundtland CCE DEC Décl. Rio.92 Env. Can. ÉPFL Action 21 IISD Conoco inc. 3M cpie LoiDD MAECI Minnesota State OCDE Patrimoine Can. Res. Nat. Can. SEI UDD WBCSD	24/30	<u>MARK</u> <u>A.Sen</u> <u>ACDI1, ACDI2, ACDI3</u> <u>AGRC</u> <u>BCNI</u> <u>BRUNDTLAND</u> <u>DEC</u> <u>RIO</u> <u>ENV1, ENV2, ENV3</u> <u>ÉPFL</u> <u>ACTION</u> <u>IISD1, IISD2, IISD3</u> <u>CONOCO</u> <u>LoiDD</u> <u>MAECI1, MAECI2</u> <u>MinnST</u> <u>OCDE1, OCDE2</u> <u>PATRIMOINE</u> <u>RNCAN1, RNCAN2, RNCAN3</u> <u>SEI</u> <u>UDD</u> <u>WBCSD</u>

Liste d'abréviation des sources et adresses Internet complètes:

A.Sen = Amartya Sen

http://iisd1.iisd.ca/pdf/sen_paper.pdf

A. Markandya

http://iisd1.iisd.ca/pdf/markandya_paper.pdf

ACDI = Agence Canadienne pour le Développement International

http://www.acdi-cida.gc.ca/cida_ind.nsf/85256290006554ac852561a9006bf4bd/87b355d0dec639b0852564ba0065cadb?OpenDocument

[http://www.acdi-cida.gc.ca/cida_ind.nsf/a7a0fa26f7e532a18525679200715683/8ad6847996700764852569e70070796e/\\$FILE/SDD_sansphotos.pdf](http://www.acdi-cida.gc.ca/cida_ind.nsf/a7a0fa26f7e532a18525679200715683/8ad6847996700764852569e70070796e/$FILE/SDD_sansphotos.pdf)

http://www.acdi-cida.gc.ca/cida_ind.nsf/85256290006554a985256250006cbb1a/90d4e9bb1fec14fe8525656b004e4fda?OpenDocument#sec3

http://www.acdi-cida.gc.ca/cida_ind.nsf/85256290006554a985256250006cbb1a/90d4e9bb1fec14fe8525656b004e4fda?OpenDocument#sec3

<http://www.acdi-cida.gc.ca/xpress/exd/exd9608.htm>

ENV. CAN. = Ministère de l'Environnement du Canada

http://www.ec.gc.ca/press/2001/010214_n_f.htm

<http://www.sdinfo.gc.ca/SDinfo/Fre/development.cfm>

http://www.ec.gc.ca/sd-dd_consult/final/sdg13_f.htm

IISD = International Institute for the Sustainable Development

<http://iisd.ca/about/>

http://iisd.ca/pdf/iisd_brochure_2000.pdf

<http://sdgateway.net/introsd/definitions.htm>

OCDE = Organisation pour le Commerce et le Développement Économique

http://www.oecd.org/publications/Pol_brief/1998/9808-eng.htm

<http://www.oecdseoul-conference.or.kr/main.htm>

WBCSD = World Business Council for Sustainable Development

<http://www.wbcsd.ch>

BCNI = Business Council on National Issues

http://www.ec.gc.ca/grngvt/1_2_e.htm

Agri/Agro Can. = Ministère Agriculture et Agroalimentaire Canada

http://www.agr.ca/policy/environment/eb/public_html/ebf/i_sds.html

Déc. Rio 92 = Conférence de Rio de Janeiro sur l'environnement en 1992
<http://www.sdinfo.gc.ca/FRE/docs/rio/rio.cfm>

Ress. Hum. Can. = Ministère de Ressources Humaine Canada
<http://www.hrhc-drhc.gc.ca/dept/sds/introx.shtml>

ÉPFL = École Polytechnique Fédérale de Lausanne
<http://dgrwww.epfl.ch/>

MAECI = Ministère des Affaires Étrangères et du Commerce International (Canada)
<http://www.dfait-maeci.gc.ca/sustain/SustainDev/overview-f.asp>
<http://www.dfait-maeci.gc.ca/sustain/SustainDev/survey-f.asp>

Dow Chem. = Dow Chemical, compagnie
<http://www.wbcd.ch/Speech/s82.htm>

Action 21 = Document sur le développement durable résultant de la conférence sur l'environnement à Rio de Janeiro en 1992
http://www.sdinfo.gc.ca/FRE/docs/a21/21_35_p.cfm

Gouv. Can = Gouvernement Canadien
http://www.ec.gc.ca/sd-dd_consult/PDF/DiscussiondocMar17_f.pdf

Santé Can = Santé Canada
<http://www.hc-sc.gc.ca/susdevdur/French.pdf>

SEI = Stockholm Environment Institute
<http://www.sei.se/SEIsystemic.html>

Sust. Mgmt Tool = Sustainable Management Tool
<http://www.sustainability.org.uk/info/sustmgmt/susman.htm>

CCE = Commission pour la Coopération Environnementale
Brundtland = Réfère à la commission sur le développement et l'environnement de 1987
http://www.ec.gc.ca/sd-dd_consult/PDF/DiscussiondocMar17_f.pdf

DEC = Développement Économique Canada
<http://www.dec-ced.gc.ca/fr/pdf/sdd.pdf>

Minnesota State = Minnesota Sustainable Development Initiative
http://www.sustainable.doe.gov/success/minnesota_sust.htm

3M cpie = La compagnie 3M
Conoco inc. = une compagnie, privée
<http://www.wbcd.ch/Speech/s89.htm>

Patrimoine Can = Patrimoine Canada

http://www.pch.gc.ca/sdd/2001-2003/1-0_intro.htm

Res. Nat. Can = Ressources Naturelles Canada
<http://www.nrcan.gc.ca/dmo/susdev/sd2k/sd2kintf.htm>
<http://www.nrcan.gc.ca/dmo/susdev/sd2k/sd2kstrf.htm>
http://www.nrcan.gc.ca/dmo/susdev/index_f.html

SBI = Sustainable Business Investor-Europe
<http://www.sbi-e.com>

UDD = Union pour le Développement durable
<http://www.udd.org/>

LoiDD = Loi Belge du DD
(<http://www.belspo.be/frdocfdd/fr/conseil/loidd.htm>)

ANNEXE 3 :

RESULTATS DU TYPE DE
SATISFACTION ET DE L'ETC

Critere-scénario	Type de satisfaction	ETC
CRITERES NATURELS		
NAT 1-1	SI	1-7
NAT 2-1	SI	3-7
NAT 3-1	SI	1-5
NAT 4-1	SI	3-7
NAT 5-1	SU 5	1
NAT 6-1	SI	3-5
NAT 7-1	SI	3-7
NAT 1-2	SU 8	1
NAT 2-2	SU 8	1
NAT 3-2	SI	7-9
NAT 4-2	SI	5-9
NAT 5-2	SI	5-9
NAT 6-2	SI	3-9
NAT 7-2	SI	7-9
NAT 1-3	SI	3-7
NAT 2-3	SI	3-7
NAT 3-3	SU 5	1
NAT 4-3	SI	5-7
NAT 5-3	SU 5	1
NAT 6-3	SP	5,9
NAT 7-3	SI	3-9
NAT 1-4	SI	5-9
NAT 2-4	SU 7	1
NAT 3-4	SI	5-9
NAT 4-4	SI	5-7
NAT 5-4	SI	5-7
NAT 6-4	SI	5-9
NAT 7-4	SI	5-9

NAT 1-5	SU 8	1
NAT 2-5	SI	5-9
NAT 3-5	SI	5-9
NAT 4-5	SI	5-7
NAT 5-5	SU 6	1
NAT 6-5	SI	7-9
NAT 7-5	SI	7-9
NAT 1-6	SU 1	1
NAT 2-6	SU 1	1
NAT 3-6	SU 1	1
NAT 4-6	SI	1-5
NAT 5-6	SI	1-5
NAT 6-6	SU 1	1
NAT 7-6	SU 1	1
CRITERES HUMAINS		
HUM1-1	SI	3-7
HUM2-1	SI	3-7
HUM3-1	SI	3-9
HUM4-1	SI	3-7
HUM5-1	SI	5-7
HUM6-1	SI	5-7
HUM7-1	SI	5-7
HUM8-1	SI	3-7
HUM9-1	SI	3-7
HUM10-1	SI	3-7
HUM1-2	SI	5-7
HUM2-2	SI	5-9
HUM3-2	SU 7	1
HUM4-2	SU 7	1
HUM5-2	SI	5-7
HUM6-2	SU 6	1
HUM7-2	SI	5-7
HUM8-2	SI	3-7

HUM9-2	SU 7	1
HUM10-2	SI	5-7
HUM1-3	SU 7	1
HUM2-3	SI	5-7
HUM3-3	SI	3-7
HUM4-3	SI	7-9
HUM5-3	SI	5-7
HUM6-3	SU 7	1
HUM7-3	SI	5-7
HUM8-3	SI	5-7
HUM9-3	SU 7	1
HUM10-3	SI	5-7
HUM1-4	SU 7	1
HUM2-4	SI	5-9
HUM3-4	SU 7	1
HUM4-4	SI	7-9
HUM5-4	SI	5-7
HUM6-4	SI	3-7
HUM7-4	SI	5-7
HUM8-4	SI	5-9
HUM9-4	SI	5-9
HUM10-4	SI	7-9
HUM1-5	SI	5-9
HUM2-5	SI	5-9
HUM3-5	SU 7	1
HUM4-5	SI	5-9
HUM5-5	SI	3-7
HUM6-5	SI	3-7
HUM7-5	SI	3-9
HUM8-5	SI	3-7
HUM9-5	SI	5-7
HUM10-5	SI	3-7
HUM1-6	SI	1-7

HUM2-6	SI	1-5
HUM3-6	SI	1-5
HUM4-6	SI	1-5
HUM5-6	SI	1-7
HUM6-6	SP	1,5
HUM7-6	SI	1-5
HUM8-6	SP	1,5
HUM9-6	SI	1-5
HUM10-6	SI	1-5
CRITERES TECHNICO- ECONOMIQUES		
TEC 1-1	SI	3-7
TEC2-1	SI	1-7
TEC3-1	SI	3-7
TEC4-1	SU 5	1
TEC5-1	SI	3-7
TEC6-1	SI	5-7
TEC7-1	SI	5-7
TEC8-1	SI	3-7
TEC1-2	SU 7	1
TEC2-2	SU 7	1
TEC3-2	SU 7	1
TEC4-2	SI	5-7
TEC5-2	SU 7	1
TEC6-2	SI	5-7
TEC7-2	SI	5-9
TEC8-2	SU 7	1
TEC1-3	SI	3-7
TEC2-3	SI	3-9
TEC3-3	SI	3-9
TEC4-3	SI	5-7
TEC5-3	SI	3-7
TEC6-3	SI	5-7
TEC7-3	SI	5-7

TEC8-3	SI	5-7
TEC1-4	SI	3-9
TEC2-4	SI	7-9
TEC3-4	SI	7-9
TEC4-4	SI	5-9
TEC5-4	SI	5-7
TEC6-4	SU 7	1
TEC7-4	SU 7	1
TEC8-4	SI	5-9
TEC1-5	SP	3,7
TEC2-5	SU 7	1
TEC3-5	SI	7-8
TEC4-5	SI	5-9
TEC5-5	SI	5-8
TEC6-5	SI	5-7
TEC7-5	SI	5-9
TEC8-5	SI	3-7
TEC1-6	SI	1-5
TEC2-6	SI	1-5
TEC3-6	SI	1-3
TEC4-6	SI	1-5
TEC5-6	SI	1-5
TEC6-6	SI	1-7
TEC7-6	SI	3-5
TEC8-6	SI	1-5
PONDÉRATIONS		
NAT1	SU 9	1
NAT2	SI	7-9
NAT3	SU 9	1
NAT4	SI	5-9
NAT5	SI	5-7
NAT6	SU 9	1
NAT7	SI	7-9

HUM1	SI	7-9
HUM2	SI	7-9
HUM3	SU 9	1
HUM4	SU 9	1
HUM5	SI	5-9
HUM6	SU 7	1
HUM7	SI	7-9
HUM8	SI	5-9
HUM9	SI	5-9
HUM10	SI	7-9
TEC1	SI	7-9
TEC2	SU 8	1
TEC3	SI	7-9
TEC4	SI	7-9
TEC5	SU 9	1
TEC6	SI	5-9
TEC7	SI	7-9
TEC8	SU 8	1

ANNEXE 4 :

**RESULTATS DU CALCUL DE L'ETC
POUR LES 6 SCENARIOS**

Critere	Description	Pond.		Scé 1		P*1		Scé 2		P*2		Scé 3		P*3	
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	9	9	1	7	9	63	8	8	72	72	3	7	27	63
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	7	9	3	7	21	63	8	8	56	72	3	7	21	63
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	9	9	1	5	9	45	7	9	63	81	5	5	45	45
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	5	9	3	7	15	63	5	9	25	81	5	7	25	63
NAT 5	Quantité de matiere secondaire	5	7	5	5	25	35	5	9	25	63	5	5	25	35
	Sous total	35	43	13	31	79	269	33	43	241	369	21	31	143	269
HUM 3	Santé des travailleurs	9	9	3	9	27	81	7	7	63	63	3	7	27	63
HUM 4	Santé de la population	9	9	3	7	27	63	7	7	63	63	7	9	63	81
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	7	7	5	7	35	49	6	6	42	42	7	7	49	49
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	7	9	5	7	35	63	5	7	35	63	5	7	35	63
HUM 8	Acces a la connaissance et information	5	9	3	7	15	63	3	7	15	63	5	7	25	63
HUM 9	Réceptivité de la population	5	9	3	7	15	63	7	7	35	63	7	7	35	63
HUM 10	Réceptivité politique	7	9	3	7	21	63	5	7	35	63	5	7	35	63
	Sous total	49	61	25	51	175	445	40	48	288	420	39	51	269	445
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	7	9	3	7	21	63	7	7	49	63	3	9	27	81
TEC 4	Acces a matiere premiere	7	9	5	5	35	45	5	7	35	63	5	7	35	63
TEC 5	Acces a la ressource eau	9	9	3	7	27	63	7	7	63	63	3	7	27	63
TEC 6	Acces a la matiere secondaire	5	9	5	7	25	63	5	7	25	63	5	7	25	63
TEC 7	Qualité de la matiere premiere	7	9	5	7	35	63	5	9	35	81	5	7	35	63
TEC 8	Impact sur le secteur	8	8	3	7	24	56	7	7	56	56	5	7	40	56
	Sous total	43	53	24	40	167	353	36	44	263	389	26	44	183	389
	Total AF	127	157	62	122	421	1067	109	135	792	1178	86	126	595	1103

Critere	Description	Pond.		Scé 1		P*1		Scé 2		P*2		Scé 3		P*3	
NAT 6	Qualité de l'environnement	9	9	3	5	27	45	3	9	27	81	5	9	45	81
NAT 7	Responsabilité environnementale	7	9	3	7	21	63	7	9	49	81	3	9	27	81
	Sous total	16	18	6	12	48	108	10	18	76	162	8	18	66	162
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	7	9	3	7	21	63	5	7	35	63	7	7	49	63
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	7	9	3	7	21	63	5	9	35	81	5	7	35	63
HUM 5	Respect de la culture locale	5	9	5	7	25	63	5	7	25	63	5	7	25	63
	Sous total	19	27	11	21	67	189	15	23	95	207	17	21	109	189
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. a court terme	7	9	3	7	21	63	7	7	49	63	3	7	21	63
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. a long terme	8	8	1	7	8	56	7	7	56	56	3	9	24	72
	Sous total	15	17	4	14	29	119	14	14	105	119	6	16	45	135
	Total DD	50	62	21	47	144	416	39	55	276	488	31	55	220	486

Critère	Description	Scé 4		P*4		Scé 5		P*5		Scé 6		P*6	
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	5	9	45	81	8	8	72	72	1	1	9	9
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	7	7	49	63	5	9	35	81	1	1	7	9
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	5	9	45	81	5	9	45	81	1	1	9	9
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	5	7	25	63	5	7	25	63	1	5	5	45
NAT 5	Quantité de matière secondaire	5	7	25	49	6	6	30	42	1	5	5	35
	Sous total	27	39	189	337	29	39	207	339	5	13	35	107
HUM 3	Santé des travailleurs	7	7	63	63	7	7	63	63	1	5	9	45
HUM 4	Santé de la population	7	9	63	81	5	9	45	81	1	5	9	45
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	3	7	21	49	3	7	21	49	1	5	7	35
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	5	7	35	63	3	9	21	81	1	5	7	45
HUM 8	Accès à la connaissance et information	5	9	25	81	3	7	15	63	1	5	5	45
HUM 9	Réceptivité de la population	5	9	25	81	5	7	25	63	1	5	5	45
HUM 10	Réceptivité politique	7	9	49	81	3	7	21	63	1	3	7	27
	Sous total	39	57	281	499	29	53	211	463	7	33	49	287
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	7	9	49	81	7	8	49	72	1	3	7	27
TEC 4	Accès à matière première	5	9	35	81	5	9	35	81	1	5	7	45
TEC 5	Accès à la ressource eau	5	7	45	63	5	8	45	72	1	5	9	45
TEC 6	Accès à la matière secondaire	7	7	35	63	5	7	25	63	1	7	5	63
TEC 7	Qualité de la matière première	7	7	49	63	5	9	35	81	3	5	21	45
TEC 8	Impact sur le secteur	5	9	40	72	3	7	24	72	1	5	8	40
	Sous total	36	48	253	423	30	48	213	441	8	30	57	265
	Total AF	102	144	723	1259	88	140	631	1243	20	76	141	659

Critère	Description	Scé 4		P*4		Scé 5		P*5		Scé 6		P*6	
NAT 6	Qualité de l'environnement	5	9	45	81	7	9	63	81	1	1	9	9
NAT 7	Responsabilité environnementale	5	9	35	81	7	9	49	81	1	1	7	9
	Sous total	10	18	80	162	14	18	112	162	2	2	16	18
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	7	7	49	63	5	9	35	81	1	7	7	63
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	5	9	35	81	5	9	35	81	1	5	7	45
HUM 5	Respect de la culture locale	5	7	25	63	3	7	15	63	1	7	5	63
	Sous total	17	23	109	207	13	25	85	225	3	19	19	171
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. à court terme	3	9	21	81	3	7	21	63	1	5	7	45
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. à long terme	7	9	56	63	7	7	56	56	1	5	8	40
	Sous total	10	18	77	144	10	14	77	119	2	10	15	85
	Total DD	37	59	266	513	37	57	274	506	7	31	50	274

ANNEXE 5 :

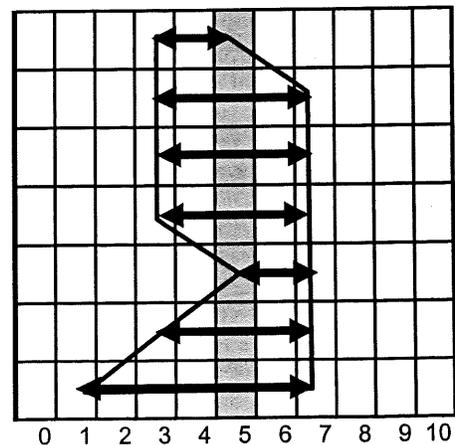
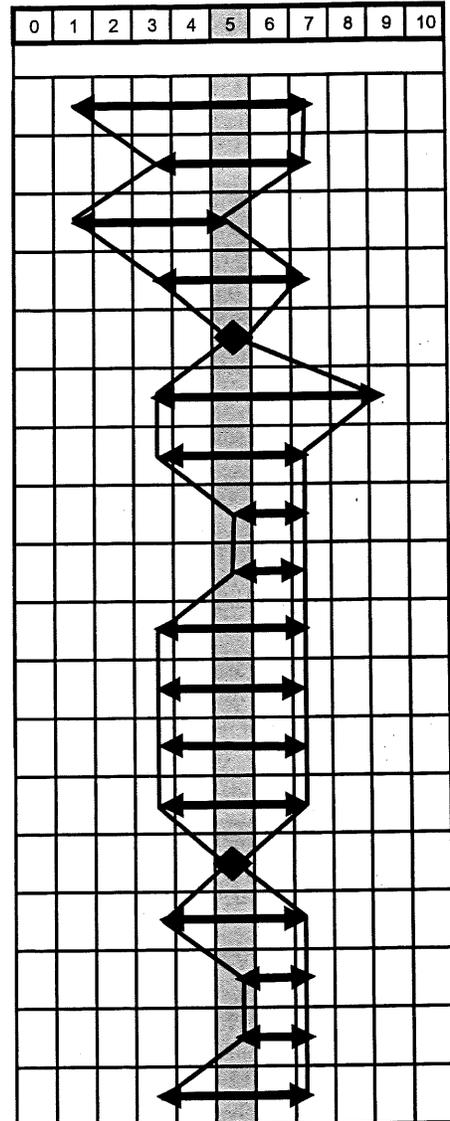
REPRESENTATIONS GRAPHIQUES POUR LES 6 SCENARIOS

SCENARIO 1: RENCONTRER LES NORMES EN ZONE URBAINE

Critere	Description	Satisf.
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	SI 1-7
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	SI 3-7
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	SI 1-5
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	SI 3-7
NAT 5	Quantité de matiere secondaire	SU 5
HUM 3	Santé des travailleurs	SI 3-9
HUM 4	Santé de la population	SI 3-7
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	SI 5-7
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	SI 5-7
HUM 8	Acces a la connaissance et information	SI 3-7
HUM 9	Réceptivité de la population	SI 3-7
HUM 10	Réceptivité politique	SI 3-7
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	SI 3-7
TEC 4	Acces a matiere premiere	SU 5
TEC 5	Acces a la ressource eau	SI 3-7
TEC 6	Acces a la matiere secondaire	SI 5-7
TEC 7	Qualité de la matiere premiere	SI 5-7
TEC 8	Impact sur le secteur	SI 3-7

NAT 6	Qualité de l'environnement	SI 3-5
NAT 7	Responsabilité environnementale	SI 3-7
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	SI 3-7
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	SI 3-7
HUM 5	Respect de la culture locale	SI 5-7
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. a court terme	SI 3-7
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. a long terme	SI 1-7

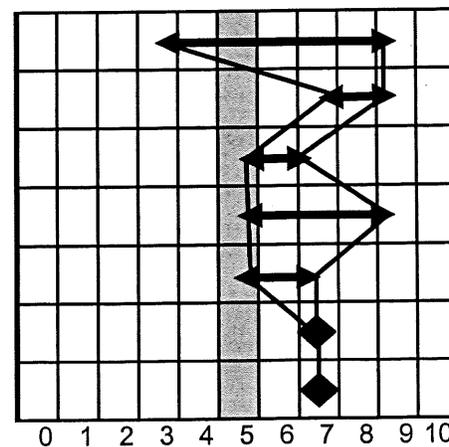
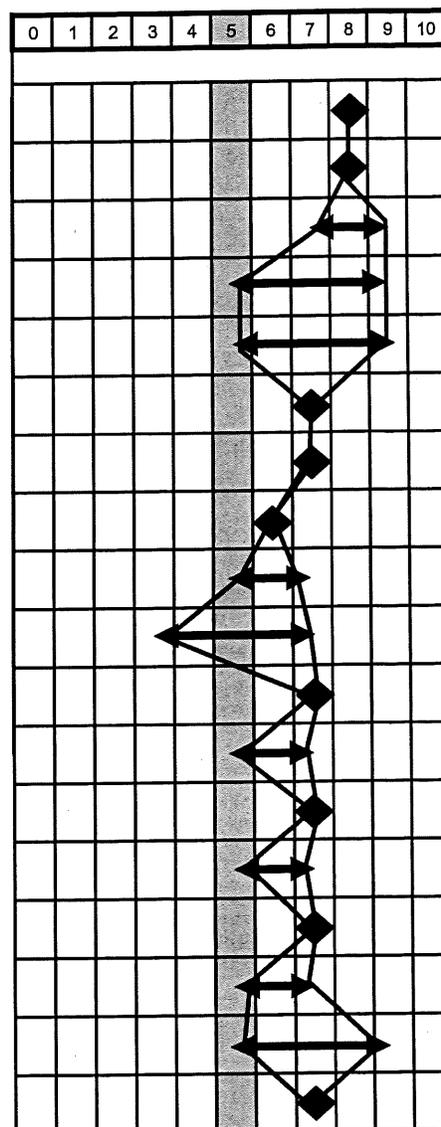
Légende SU: ◆ SI: ↔ SP: ◆...◆



SCENARIO 2: TRAVAILLER A PARTIR DU WET BLUE

Critere	Description	Satisf.
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	SU 8
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	SU 8
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	SI 7-9
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	SI 5-9
NAT 5	Quantité de matiere secondaire	SI 5-9
HUM 3	Santé des travailleurs	SU 7
HUM 4	Santé de la population	SU 7
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	SU 6
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	SI 5-7
HUM 8	Acces a la connaissance et information	SI 3-7
HUM 9	Réceptivité de la population	SU 7
HUM 10	Réceptivité politique	SI 5-7
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	SU 7
TEC 4	Acces a matiere premiere	SI 5-7
TEC 5	Acces a la ressource eau	SU 7
TEC 6	Acces a la matiere secondaire	SI 5-7
TEC 7	Qualité de la matiere premiere	SI 5-9
TEC 8	Impact sur le secteur	SU 7

NAT 6	Qualité de l'environnement	SI 3-9
NAT 7	Responsabilité environnementale	SI 7-9
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	SI 5-7
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	SI 5-9
HUM 5	Respect de la culture locale	SI 5-7
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. court terme	SU 7
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. long terme	SU 7

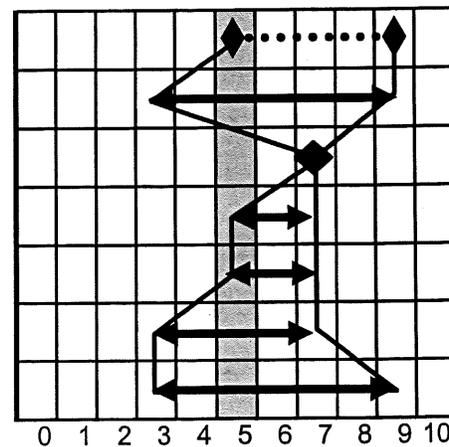
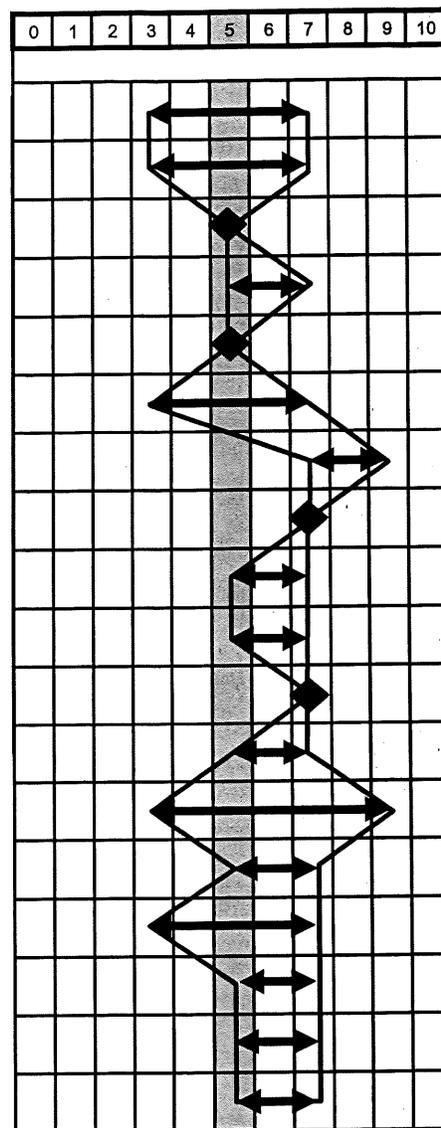


Légende SU: ◆ SI: ↔ SP: ◆.....◆

SCENARIO 3: RELOCALISATION EN ZONE INDUSTRIELLE SEULS

Critere	Description	Satisf.
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	SI 3-7
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	SI 3-7
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	SU 5
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	SI 5-7
NAT 5	Quantité de matière secondaire	SU 5
HUM 3	Santé des travailleurs	SI 3-7
HUM 4	Santé de la population	SI 7-9
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	SU 7
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	SI 5-7
HUM 8	Acces a la connaissance et information	SI 5-7
HUM 9	Réceptivité de la population	SU 7
HUM 10	Réceptivité politique	SI 5-7
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	SI 3-9
TEC 4	Acces a matière première	SI 5-7
TEC 5	Acces a la ressource eau	SI 3-7
TEC 6	Acces a la matière secondaire	SI 5-7
TEC 7	Qualité de la matière première	SI 5-7
TEC 8	Impact sur le secteur	SI 5-7

NAT 6	Qualité de l'environnement	SP 5,9
NAT 7	Responsabilité environnementale	SI 3-9
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	SU 7
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	SI 5-7
HUM 5	Respect de la culture locale	SI 5-7
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. court terme	SI 3-7
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. long terme	SI 3-9

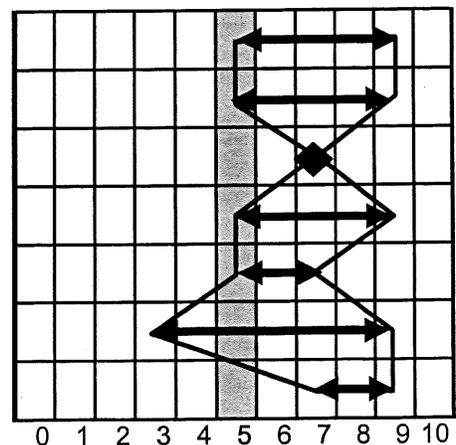
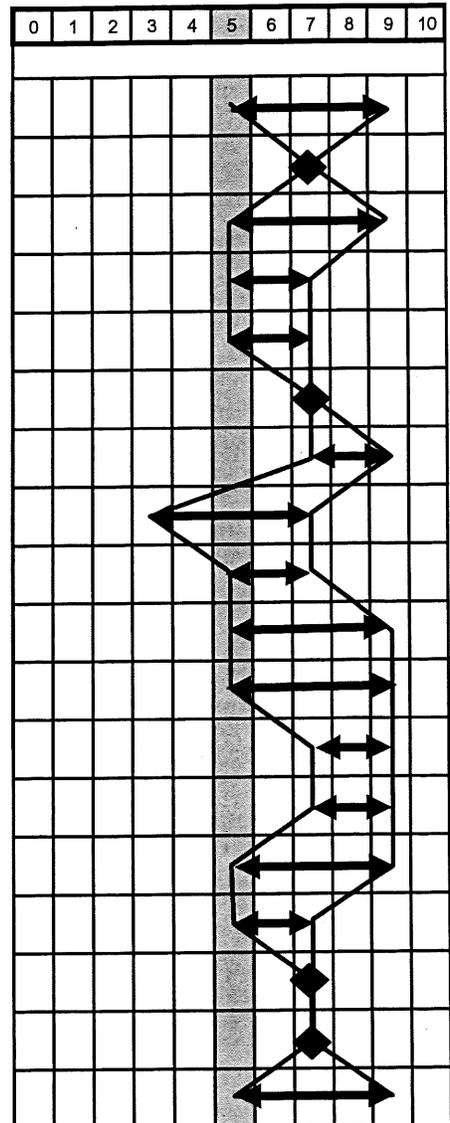


Légende SU: ◆ SI: ↔ SP: ◆.....◆

SCENARIO 4: RELOCALISATION EN ZONE INDUSTRIELLE, AGROUPES

Critere	Description	Satisf.
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	SI 5-9
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	SU 7
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	SI 5-9
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	SI 5-7
NAT 5	Quantité de matiere secondaire	SI 5-7
HUM 3	Santé des travailleurs	SU 7
HUM 4	Santé de la population	SI 7-9
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	SI 3-7
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	SI 5-7
HUM 8	Acces a la connaissance et information	SI 5-9
HUM 9	Réceptivité de la population	SI 5-9
HUM 10	Réceptivité politique	SI 7-9
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	SI 7-9
TEC 4	Acces a matiere premiere	SI 5-9
TEC 5	Acces a la ressource eau	SI 5-7
TEC 6	Acces a la matiere secondaire	SU 7
TEC 7	Qualité de la matiere premiere	SU 7
TEC 8	Impact sur le secteur	SI 5-9

NAT 6	Qualité de l'environnement	SI 5-9
NAT 7	Responsabilité environnementale	SI 5-9
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	SU 7
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	SI 5-9
HUM 5	Respect de la culture locale	SI 5-7
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. court terme	SI 3-9
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. long terme	SI 7-9



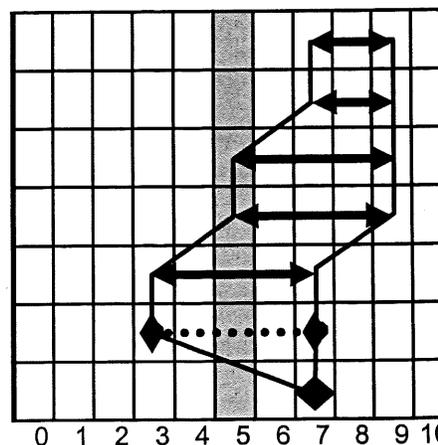
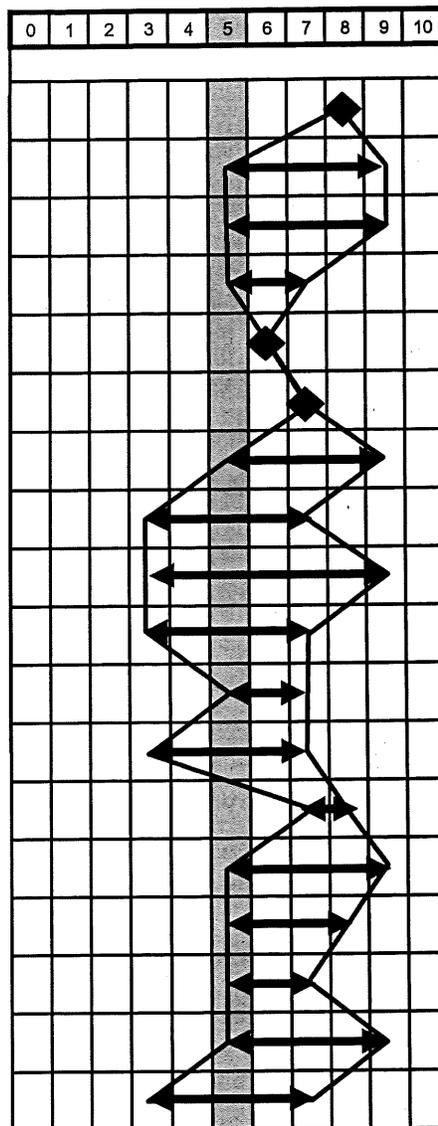
Légende SU: ◆ SI: ↔ SP: ◆.....◆

SCENARIO 5: RELOCALISATION PRES DES ABATTOIRS

Critere	Description	Satisf.
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	SU 8
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	SI 5-9
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	SI 5-9
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	SI 5-7
NAT 5	Quantité de matiere secondaire	SU 6
HUM 3	Santé des travailleurs	SU 7
HUM 4	Santé de la population	SI 5-9
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	SI 3-7
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	SI 3-9
HUM 8	Acces a la connaissance et information	SI 3-7
HUM 9	Réceptivité de la population	SI 5-7
HUM 10	Réceptivité politique	SI 3-7
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	SI 7-8
TEC 4	Acces a matiere premiere	SI 5-9
TEC 5	Acces a la ressource eau	SI 5-8
TEC 6	Acces a la matiere secondaire	SI 5-7
TEC 7	Qualité de la matiere premiere	SI 5-9
TEC 8	Impact sur le secteur	SI 3-7

NAT 6	Qualité de l'environnement	SI 7-9
NAT 7	Responsabilité environnementale	SI 7-9
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	SI 5-9
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	SI 5-9
HUM 5	Respect de la culture locale	SI 3-7
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. court terme	SP 3,7
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. long terme	SU 7

Légende SU: ◆ SI: ↔ SP: ◆.....◆



SCENARIO 6: STATU QUO

Critere	Description	Satisf.
NAT 1	Charge de sel dans l'effluent	SU 1
NAT 2	Charge des autres polluants dans l'effluent	SU 1
NAT 3	Quantité d'eau utilisée	SU 1
NAT 4	Quantité d'énergie utilisée	SI 1-5
NAT 5	Quantité de matiere secondaire	SI 1-5
HUM 3	Santé des travailleurs	SI 1-5
HUM 4	Santé de la population	SI 1-5
HUM 6	Impact immédiat sur l'emploi	SP 1,5
HUM 7	Impact moyen long terme sur l'emploi	SI 1-5
HUM 8	Acces a la connaissance et information	SP 1,5
HUM 9	Réceptivité de la population	SI 1-5
HUM 10	Réceptivité politique	SI 1-3
TEC 3	Disponibilité d'équipement et technologie	SI 1-3
TEC 4	Acces a matiere premiere	SI 1-5
TEC 5	Acces a la ressource eau	SI 1-5
TEC 6	Acces a la matiere secondaire	SI 1-7
TEC 7	Qualité de la matiere premiere	SI 3-5
TEC 8	Impact sur le secteur	SI 1-5

NAT 6	Qualité de l'environnement	SU 1
NAT 7	Responsabilité environnementale	SU 1
HUM 1	Nécessités fondamentales actuelles	SI 1-7
HUM 2	Nécessités fond. futures générations	SI 1-5
HUM 5	Respect de la culture locale	SI 1-7
TEC 1	Gestion ress. techn. et écon. court terme	SI 1-5
TEC 2	Gestion ress. techn. et écon. long terme	SI 1-5

Légende SU: ◆ SI: ↔ SP: ◆.....◆

