



HAL
open science

Aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement

B. Rousval

► **To cite this version:**

B. Rousval. Aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement. Modélisation et simulation. Université Paris Dauphine - Paris IX, 2005. Français. NNT : . tel-00543658

HAL Id: tel-00543658

<https://theses.hal.science/tel-00543658>

Submitted on 6 Dec 2010

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

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

Université Paris IX Dauphine

Ecole Doctorale Décision, Informatique, Mathématiques et Organisation
Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Systèmes pour l'Aide à la Décision

D.F.R Sciences des organisations

THESE

Pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS DAUPHINE
(arrêté du 25 avril 2002)

Discipline : **Informatique**

présentée et soutenue publiquement le 21 Novembre 2005 par

Benjamin ROUSVAL

AIDE MULTICRITERE A L'EVALUATION DE L'IMPACT DES TRANSPORTS SUR L'ENVIRONNEMENT

JURY

Directeurs de thèse :

Monsieur Luc ADOPLHE
Professeur à l'Institut Français de l'Urbanisme

Monsieur Denis BOUYSSOU
Directeur de Recherches au CNRS

Rapporteurs :

Monsieur Michel LAMURE
Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Monsieur Jean LATERRASSE
Professeur à l'Université de Marne la Vallée

Suffragants :

Monsieur Jacques BEAUMONT
Directeur de Recherches à l'Inrets

Monsieur Bernard ROY
Professeur à l'Université Paris IX Dauphine

Invité :

Monsieur Michel MAURIN
Chargé de Recherches à l'Inrets

L'université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Remerciements

Mes pensées vont tout d'abord à Luc ADOLPHE, coordinateur du projet de recherche Prospectives et Indicateurs de l'Environnement dans lequel s'intègre ce travail, qui a, non seulement proposé au Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Systèmes d'Aide à la Décision de l'Université Paris IX Dauphine le sujet à l'origine de cette thèse, mais aussi a su m'encadrer, me motiver et suivre régulièrement l'avancée de mes recherches.

Je remercie ensuite les personnes plus directement impliquées dans mon travail et qui ont fait preuve d'une grande disponibilité et de beaucoup de patience pour leurs nombreuses lectures des différentes versions de ce document. Je pense tout particulièrement à Denis BOUYSSOU et Michel MAURIN pour leurs conseils avisés, leurs encouragements et leur gentillesse. Je suis heureux et fier d'avoir pu travailler, échanger et apprendre avec eux.

Je remercie l'Institut National de la Recherche sur les Transports et leur Sécurité, financeur de la thèse et porteur du projet PIE, et tout particulièrement Jacques BEAUMONT pour m'avoir fait confiance depuis le début et m'avoir soutenu même dans les moments difficiles.

Mes remerciements vont aussi à Bernard ROY et Daniel VANDERPOOTEN qui m'ont permis d'exposer l'avancement de mes travaux dans le séminaire « Modélisation des Préférences et Aide Multicritère à la Décision » ainsi qu'à toutes les personnes qui ont assisté à cette présentation et qui n'ont pas manqué de me faire part de leurs réflexions aussi intéressantes que constructives.

Je remercie Maria Lucia GALVES pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail et pour ses riches commentaires. Je n'oublie pas non plus toutes les personnes ayant participé aux diverses relectures et qui m'ont suggéré leurs remarques tant sur le fond que sur la forme.

Au cours de ces années, j'ai aussi échangé beaucoup d'idées de manière moins formelle avec des personnes de l'Inrets, de l'Université Paris Dauphine, de l'Euro Working Group – Multicriteria Decision Ainding et de mon entourage. Merci à tous.

Enfin, je souhaite remercier mes proches, qui, malgré mes pics d'humeur, ont su ne pas m'en tenir rigueur et m'ont au contraire encouragé et soutenu tout au long de cette épreuve. Je pense particulièrement à Angèle, Cécile et Jacques.

Sommaire

Chapitre I : Transports et environnement : un état des lieux.....	19
1. Importance et complexité du problème.....	21
1.1. Les transports : présentation générale.....	21
1.1.1. Rôle, poids économique et social.....	21
1.1.2. Modes de transports.....	23
1.1.3. Cycle de vie.....	23
1.2. Les transports et l'environnement.....	24
1.2.1. Prise de conscience des préoccupations environnementales.....	24
1.2.2. Diversité des impacts des transports sur l'environnement.....	25
1.2.3. Facteurs de complication.....	26
1.2.4. Les normes.....	27
2. Evaluation mono-nuisance.....	28
2.1. Découpage DPSIR.....	29
2.2. Pression, état, impact.....	30
2.3. Nuisances sonores.....	31
2.3.1. Indicateurs de pression.....	32
2.3.2. Indicateurs d'état.....	32
2.3.3. Indicateurs d'impact.....	32
2.4. Pollution de l'air.....	33
2.4.1. Indicateurs de pression.....	34
2.4.2. Indicateurs d'état.....	35
2.4.3. Indicateurs d'impacts.....	36
2.4.4. L'exemple de l'indice Atmo.....	38
2.5. Accidents.....	39
2.6. Déchets.....	39
2.7. Pollution des eaux.....	39
2.8. Conséquence sur le paysage.....	40
2.9. Consommation d'énergies.....	40
2.10. Création de coupures.....	40
2.11. Synthèse sur la typologie des indicateurs.....	41
3. Evaluation multi-nuisances.....	43
3.1. Choix du panier d'indicateurs.....	44
3.2. Analyse des méthodes d'agrégation des indicateurs.....	47
3.2.1. Agrégation géographique.....	47
3.2.2. Agrégation temporelle.....	48
3.2.3. Agrégation multi-nuisances en critère unique de synthèse.....	48
3.2.4. Agrégation multi-nuisances sans critère unique de synthèse.....	50
4. Problématique retenue.....	51
4.1. Champ d'application : impact des transports sur l'environnement.....	51
4.2. Enjeu théorique : évaluation et agrégation.....	51
4.3. Opérationnalisation des résultats : spécification d'un outil.....	53

Chapitre II : Aide à l'évaluation	57
1. Qu'est-ce qu'évaluer ?	59
1.1. Définition de l'évaluation.....	59
1.1.1. Différentes définitions.....	59
1.1.2. Notre définition	64
1.2. Propriétés de l'évaluation.....	66
1.2.1. Modèle de pensée	67
1.2.2. Subjectivité.....	68
1.2.3. Faits et Valeurs.....	71
1.3. Concepts	73
1.3.1. Contexte	73
1.3.2. Evaluant.....	73
1.3.3. Evalué.....	73
1.3.4. But	74
1.3.5. Etat du système.....	74
1.3.6. Evalueur.....	74
1.3.7. Objectif.....	74
1.3.8. Critère et performance.....	74
2. Pourquoi évaluer ?.....	75
2.1. Evaluation scolaire	75
2.2. Contrôle de gestion.....	77
2.3. Diagnostic.....	78
2.4. Evaluation environnementale	79
2.5. Bilan des fonctions de l'aide à l'évaluation	81
3. Comment évaluer ?.....	82
3.1. Acteurs	82
3.1.1. L'évaluant.....	82
3.1.2. L'évalué.....	82
3.1.3. Les experts.....	82
3.1.4. Les hommes d'étude.....	83
3.1.5. Les personnes extérieures.....	83
3.2. Processus d'aide à l'évaluation	83
3.2.1. Définir le système évalué	83
3.2.2. Décliner un système de valeurs à travers des objectifs	83
3.2.3. Sélectionner les critères mesurant l'atteinte des objectifs.....	84
3.2.4. Evaluer les performances sur les critères	84
3.2.5. Consulter les résultats de l'évaluation.....	84
3.3. Schéma	85
4. Différences entre l'aide à la décision et l'aide à l'évaluation	85
4.1. Les problématiques de l'aide multicritère à la décision	86
4.2. Evaluer une décision	87
4.3. Différences avec l'aide à l'évaluation	87

Chapitre III : Structuration des objectifs.....	93
1. Approche par les valeurs.....	95
1.1. Principe.....	95
1.2. Les objectifs.....	96
1.2.1. Objectif de fin et de moyen.....	97
1.2.2. Objectif stratégique.....	100
1.2.3. Révéler les objectifs.....	100
1.2.4. Construire la structure d'objectifs.....	101
1.2.5. Résultats : l'arbre des objectifs de fin.....	102
1.3. Particularités de l'approche par les valeurs.....	104
1.3.1. En aide à la décision.....	104
1.3.2. En aide à l'évaluation.....	106
1.3.3. Pour notre problématique.....	108
2. Interviews : application à l'environnement et les transports.....	110
2.1. Interviewés.....	110
2.2. Consigne de départ.....	111
2.3. Protocole.....	112
2.3.1. Préparation des interviews.....	112
2.3.2. Technique d'interviews.....	113
2.4. Résultats.....	115
3. Synthèse des résultats.....	118
3.1. Méthode de synthèse.....	118
3.1.1. L'union.....	118
3.1.2. Applicabilité.....	118
3.2. Application aux résultats des interviews.....	120
3.3. Structure retenue : arbre générique.....	122
3.4. De l'arbre générique à l'arbre sélectionné.....	124

Chapitre IV : Aide Multicritère à la Décision et problématique du tri.....	127
1. Les principaux concepts de l'Aide à la Décision	130
1.1. Action potentielle	130
1.2. Critère.....	130
1.3. Pouvoir discriminant d'un critère.....	131
1.3.1. Vrai-critère	132
1.3.2. Quasi-critère	132
1.3.3. Pseudo-critère.....	133
1.4. Famille de critères	134
1.4.1. Limites de l'analyse monocritère	134
1.4.2. Analyse multicritère	135
2. Les procédures d'agrégation en un critère unique de synthèse	136
2.1. Principes d'agrégation.....	136
2.1.1. Système relationnel de préférence globale.....	136
2.1.2. Agrégation multicritère	137
2.2. Propriétés.....	138
2.2.1. Résultats de l'agrégation	138
2.2.2. Pas d'incomparabilité	138
2.2.3. Caractère compensatoire	139
2.2.4. Intransitivité de l'indifférence ?	139
2.2.5. Transitivité des préférences.....	140
2.3. Réponse à la problématique du tri.....	141
2.3.1. Catégories.....	142
2.3.2. Procédure d'affectation	142
2.4. Mise en œuvre	142
3. Principes des procédures d'agrégation de type Electre	144
3.1. Principes d'agrégation.....	144
3.1.1. Système relationnel de préférences globales.....	144
3.1.2. Agrégation multicritère	144
3.2. Propriétés.....	149
3.2.1. Résultats de l'agrégation	149
3.2.2. Incomparabilité possible	149
3.2.3. Caractère compensatoire affaibli.....	149
3.2.4. Intransitivité de l'indifférence possible.....	150
3.2.5. Intransitivité des préférences possible.....	150
3.3. Réponse à la problématique du tri.....	150
3.3.1. Catégories.....	151
3.3.2. Procédure d'affectation	151
3.4. Mise en oeuvre	154
3.4.1. Informations intracritère.....	154
3.4.2. Informations intercritères	154

Chapitre V : Vers une Aide Multicritère à l'Evaluation	159
1. De l'aide à la décision vers l'aide à l'évaluation	161
1.1. Complémentarité des processus	161
1.2. De la problématique de description à celle du tri.....	163
1.3. Adéquation avec les fonctions de l'aide à l'évaluation.....	165
1.3.1. Fonction diagnostic	165
1.3.2. Fonction alerte.....	166
1.3.3. Fonction évolution.....	166
1.4. Complémentarité entre les rôles des acteurs	168
2. Orientations méthodologiques.....	170
2.1. Catégories.....	171
2.2. Poids et paramètre λ	173
2.2.1. Poids fixés par l'évaluant	173
2.2.2. Problèmes rencontrés par les experts	177
2.2.3. Paramètre λ	180
2.3. Agrégation temporelle et géographique	181
2.4. Lien avec Atmo	183
3. Mise en œuvre	184
3.1. Critères et famille de critères	185
3.1.1. Limiter l'effet de serre.....	186
3.1.2. Limiter les effets sur la santé.....	189
3.1.3. Limiter la gêne due au bruit	191
3.1.4. Critères retenus.....	192
3.2. Catégories.....	193
3.2.1. Emissions de gaz à effet de serre	194
3.2.2. Teneur en CO	196
3.2.3. Teneur en NO2 et en particules.....	197
3.2.4. Niveau de bruit	198
3.3. Seuils de discrimination	199
3.3.1. Emissions de gaz à effet de serre	200
3.3.2. Teneur en CO	200
3.3.3. Teneur en NO2 et en particules.....	201
3.3.4. Niveau de bruit	201
3.4. Seuils de veto	202
3.5. Poids et majorité requise	204
3.6. Procédure d'agrégation multicritère.....	205

Chapitre VI : Spécifications fonctionnelles de l'outil	207
1. Modes d'utilisations et acteurs	209
2. Spécifications fonctionnelles.....	213
2.1. Processus définition du système évalué	214
2.1.1. Fonction sélection du périmètre géographique	214
2.1.2. Fonction sélection de la fenêtre temporelle d'étude.....	214
2.2. Processus définition de la structure d'objectifs : arbre générique	215
2.2.1. Fonction décomposition d'un objectif en sous-objectif	215
2.2.2. Fonction ajout et suppression de sous-objectifs	215
2.3. Processus sélection et pondération des objectifs : arbre sélectionné	216
2.3.1. Fonction sélection des objectifs	216
2.3.2. Fonction pondération des objectifs	217
2.4. Processus définition des critères	217
2.4.1. Fonction construction d'un critère	217
2.4.2. Fonction affectation et désaffectation d'un critère à un objectif.....	217
2.5. Processus définition des catégories	218
2.5.1. Fonction saisie des valeurs limites sur un critère.....	218
2.5.2. Fonction définition des seuils.....	218
2.6. Processus évaluation des performances	218
2.6.1. Fonction saisie d'une performance	218
2.6.2. Fonction saisie d'une valeur servant de clé de répartition	219
2.7. Processus consultation des résultats.....	219
3. Modèles de données	220
3.1. Modèle conceptuel de données	220
3.1.1. Entités.....	221
3.1.2. Associations	222
3.1.3. Cardinalités.....	223
3.2. Modèle logique associé	224
3.3. Compatibilité avec un SIG	228
4. Le moteur d'agrégation	229
4.1. Construction de la famille de critère	229
4.2. Calcul des poids des critères	229
4.3. Recherche des zones à évaluer	230
4.4. Recherche des performances	230
4.4.1. Dimension géographique.....	230
4.4.2. Dimension temporelle	231
4.5. Affectation du périmètre à une catégorie.	231
5. Prototype	232
5.1. Scénario 1 : Construction de la hiérarchie d'objectifs	232
5.2. Scénario 2 : Sélection des critères et pondération par l'expert	234
5.3. Scénario 3 : Pondération des objectifs par l'évaluant et choix d'un périmètre.....	235
5.4. Scénario 4 : Consultation des résultats par l'évaluant.....	236

Introduction générale

Cette thèse a été codirigée par le Laboratoire Transports et Environnement (Lte) de l'Institut National de la Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets), financeur, et par le Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Systèmes d'Aide à la DEcision (Lamsade) de l'Université Paris IX Dauphine et du Centre National de la Recherche Scientifique (Cnrs).

Elle vise à contribuer à la conception d'un outil informatique devant permettre d'aider les utilisateurs à évaluer, de manière globale, l'impact des transports sur l'environnement.

Ainsi, assez naturellement, elle traitera à la fois :

- du domaine à la frontière entre les transports et l'environnement, tel qu'il est considéré par le Lte de l'Inrets,
- d'aspects méthodologiques concernant une aide à l'évaluation, exprimés dans un langage issu de l'« Aide à la Décision », développée au Lamsade,
- d'une proposition d'instruments se rattachant à l'informatique.

Un constat

Alors que l'on observe des phénomènes de dérèglements climatiques de plus en plus fréquents, alors que certaines ressources naturelles sont susceptibles de s'épuiser sous l'action de l'Homme, l'activité de transport, une des principales sources des nuisances sur l'environnement, ne cesse de s'accroître, tant dans le nombre de déplacements que dans la rapidité et la portée de ceux-ci. Or, il convient de constater que le bilan de l'ensemble des problèmes environnementaux qui apparaissent ou qui risquent d'émerger sur notre planète est loin d'être établi. Il s'agit pourtant pour l'Homme de tenter de conserver l'équilibre de ce que l'on peut considérer jusqu'à aujourd'hui comme son seul espace vital. Sait-on où l'on va ? Sait-on même où l'on en est ?

L'environnement est aujourd'hui une préoccupation omniprésente sur la scène politique que cela soit à l'échelle locale, nationale ou internationale.

Dans les années 20, les textes de loi et traités internationaux faisant état de préoccupations environnementales étaient proches de la dizaine, pour atteindre plus de 240 actuellement. Plus des deux tiers ont été rédigés après la conférence de Stockholm du 16 juin 1972 (conférence des Nations Unies sur l'environnement humain) et cela concernant des domaines aussi variés que la biodiversité et la pêche maritime, la pollution des océans, les produits et déchets dangereux et la pollution atmosphérique. Les premières initiatives de l'Union Européenne dans ce domaine datent aussi de cette période avec notamment le sommet de Paris de juillet 1972 au cours duquel les différents chefs d'Etats ont reconnu l'importance de la prise en compte des considérations environnementales dans le cadre de l'expansion économique et de l'amélioration de la qualité de vie.

L'environnement est présent dans le concept de « développement durable ». Ce terme est apparu au début des années 70 avec la prise de conscience puis l'attention particulière que les acteurs économiques portèrent à l'environnement proche (déchets, fumées, pollutions des eaux...) [Berthet V., 2002]. Ce concept est maintenant en vogue dans les discours des élus, des représentants et des politiques, du public, et des acteurs économiques. Le développement

durable consiste à assurer le développement économique et social avec la prise en compte de l'environnement afin de préserver la situation pour le respect des générations futures. Ainsi, comme le précise [Faucheux S., 1995], les trois dimensions clés du développement durable sont économiques, sociales et environnementales.

Or, l'activité de transports, qui est en en plein développement, joue un rôle clé dans notre société qu'il s'agisse de transport de personnes ou de marchandises.

D'un point de vue économique tout d'abord, la part de la consommation de la fonction transport dans la consommation des ménages français était en 1999 de plus de 15%, avec une large part réservée à l'automobile [Ministère de l'Equipeement des Transports et du Logement, 1999]. On atteint presque, aujourd'hui, le niveau d'un véhicule particulier pour deux habitants. Au niveau mondial, le phénomène automobile est en plein essor et l'on attend un triplement du parc automobile entre 1998 et 2020 [Meyronneinc J.P., 1998]. Les déplacements des personnes génèrent aujourd'hui une activité de première importance dans l'économie mondiale. Les industriels ont bien compris les enjeux économiques que représentent les transports. Ce n'est donc pas un hasard si l'automobile représente à elle seule plus de 63% du marché mondial de la publicité [Ministère de l'Equipeement des Transports et du Logement, 1999]. Concernant le transport aérien, les prévisions de trafic et les récentes baisses de prix, du fait d'une concurrence de plus en plus rude, laissent présager que l'avion tend lui aussi à se démocratiser. Dans un tout autre volet, les transports, vus comme fonction transversale à de nombreux secteurs d'activités (industriels et commerciaux) notamment pour l'acheminement de marchandises, représentent un enjeu économique majeur pour les nations. On constate par exemple que la valeur ajoutée de la branche transport (hors agences de voyages) représente de manière quasiment constante entre 3.5% et 3.6% du PIB de la France sur la dernière décennie [Ministère de l'Equipeement des Transports et du Logement, 1999]. Notons aussi qu'il existe d'autres conséquences économiques, plus locales, comme par exemple l'annonce de l'emplacement des futures gares du TGV Est qui a fait flamber les prix de l'immobilier dans les villes concernées. Un autre rôle économique des transports est dû au fait que les transports ne sont rendus possibles que grâce à la consommation d'énergie. Ainsi l'industrie de l'énergie (principalement pétrolière) est liée en partie à celle des transports qui est en pleine croissance. En s'intéressant à la part de la consommation finale en énergies du secteur d'activité des transports en France, on constate qu'elle a augmenté de plus de 35% entre 1980 et 1999 et qu'elle est de ce fait à la seconde place derrière le secteur résidentiel et tertiaire et devant le secteur industriel. En 1998, elle représente 30% de la consommation mondiale d'énergies [Meyronneinc J.P., 1998].

D'un point de vue social ensuite. L'Homme consacre en moyenne deux heures de son temps quotidien à se déplacer. Il est intéressant de noter que cette valeur peut être considérée comme quasiment constante depuis tout temps et sur l'ensemble de la planète (dans les limites de ce qui a pu être constaté) [Papon F., 2004]. Ainsi, d'un point de vue du temps de déplacement, on ne peut pas vraiment dire que l'Homme se déplace de plus en plus. Mais, depuis la révolution industrielle et les développements technologiques qui l'ont accompagnée, sont apparus différents modes de transport permettant aux individus de circuler. La rapidité et la portée géographique de ces moyens de transport n'ont cessé de croître pour arriver au point où il est maintenant aisé de se rendre à l'opposée de la planète en moins d'une journée. Il est bien entendu que deux heures de déplacement à pied ne permettent pas de parcourir la même distance que deux heures en avion. Si le temps que l'Homme consacre aux transports ne varie sensiblement pas, il n'en est pas de même pour la distance parcourue. Cela n'est pas sans impact social. Par exemple, la récente liaison par TGV mettant Paris à trois heures de

Marseille a changé les comportements. La ville de Reims accessible en 45 minutes à partir de Paris pourra devenir, pour certains travailleurs de la capitale, une « banlieue dortoir ».

D'un point de vue environnemental enfin. Concernant la consommation d'énergie, on voit bien qu'il y a des conséquences environnementales directes. Mais les transports ne sont pas seulement le vecteur de consommation de l'énergie non renouvelable : le pétrole. Par exemple, en conséquence de cette consommation, les transports émettent des gaz comme le dioxyde de carbone (CO₂). L'Homme est conscient qu'il émet ce gaz depuis des années, et notamment depuis la révolution industrielle. Cependant, le dioxyde de carbone n'étant pas directement nocif pour la santé humaine, on ne se préoccupait pas vraiment de ces émissions, jusqu'à l'apparition d'un phénomène interpellant : « l'effet de serre ». Or, les scientifiques s'accordent à dire que le CO₂ présent dans l'atmosphère contribue à lui seul pour 50% à l'effet de serre. Les relevés en CO₂ montrent que l'on atteint actuellement un niveau record sur les 420 000 dernières années [Brown L.R., Flavin C., French H., 2001]. En l'espace de ces 200 dernières années, le taux a encore plus augmenté que pendant les 15 000 années de l'ère de la déglaciation, qui correspond pourtant à une période de fortes émissions naturelles de dioxyde de carbone. Or, des études statistiques ont permis de mettre en évidence, sur les 420 000 dernières années, une corrélation entre la concentration de carbone dans l'air et les relevés de température atmosphérique [Brown L.R., Flavin C., French H., 2001]. Mais bien d'autres nuisances environnementales sont imputables aux transports. Outre les problèmes de pollution (rejets atmosphériques, impacts sur la faune et la flore...), les transports sont devenus une atteinte au cadre de vie [Meyronneinc J.P., 1998]. Par exemple, le bruit que subissent les usagers ou les riverains mais aussi la dégradation du paysage sont des nuisances causées entre autres par les transports. La prise en compte des enjeux environnementaux liés à tout choix politique ou technologique devient incontournable [Faucheux S., 1995].

Ainsi, l'activité de transport a des conséquences tant économiques que sociales et environnementales. Si l'on s'intéresse aux effets à moyen et long terme des transports sur l'environnement, pour préserver la situation pour les générations futures en assurant le développement économique et social, on est exactement dans le cadre du développement durable. En conséquence, les nombreuses prises de décisions publiques concernant les transports entrent pleinement dans le cadre d'un développement durable.

Une demande

Les décisions publiques sont de plus en plus ancrées dans l'idée de « gouvernance ». Ce concept qui n'a rien de spécifique au domaine des transports est désormais défini par la Commission européenne comme « la totalité des différents moyens par lesquels les individus et les institutions publiques et privées gèrent leurs affaires communes. Elle vise aussi bien des institutions et des régimes officiels dotés de compétences d'exécution, que des arrangements amiables que les citoyens et les institutions estiment, d'un commun accord ou intuitivement, pouvoir passer. » [European Commission, 1995]. La gouvernance englobe donc les façons dont les décideurs choisissent de faire participer les différents acteurs. Elle intègre à ce titre les approches participatives, dans lesquelles le décideur public tient compte de l'avis des personnes qu'il représente, grâce à un processus de concertation.

Plus spécifiquement, « la prise de décision en matière d'environnement et de développement durable induit une évolution vers de nouvelles formes de gouvernance dont l'un des ingrédients essentiels est une participation accrue de tous les acteurs au processus

décisionnel » [Van den Hove S., 2001]. Le domaine des transports avec une perspective de développement durable est un endroit de prédilection pour appliquer ce genre de démarches dites de « démocratie participative ». En effet, de nombreuses décisions publiques sont prises dans ce domaine par les élus avec une volonté de consultation préalable des représentants du public (usagers, riverains...) et des acteurs économiques.

Dans ce contexte, une demande de plus en plus forte provenant des acteurs entrant en jeu dans une démocratie participative (les élus ou responsables politiques, l'opinion publique et les représentants associatifs) témoigne du besoin d'outils permettant d'appréhender au mieux l'impact des transports sur l'environnement afin de considérer ces aspects conjointement aux aspects économiques et sociaux et répondre ainsi aux enjeux d'un développement durable des transports. Il s'agit avant tout d'une demande d'instrumentation afin d'aider à évaluer, de façon globale, l'impact des transports sur l'environnement.

Un projet de recherche

Répondre à cette demande est une tâche très ambitieuse qui a donné, entre autre, naissance à un projet de recherche, le projet « Prospectives et Indicateurs Environnementaux » (PIE) [Pujol P., 2000, Maurin M., 2000 a] mené par le Laboratoire Transports et Environnement de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets-Lte).

Une des préoccupations de ce projet est la conception d'un outil d'évaluation composé d'un système d'indicateurs, pour l'analyse tendancielle de l'impact des transports sur l'environnement. L'outil est destiné à être utilisé par les personnes participant aux processus de décisions dans le domaine des transports, tant au niveau de l'agglomération qu'aux niveaux régional et national. Il doit s'efforcer d'aider les utilisateurs à évaluer et à suivre la situation environnementale d'un ensemble géographique choisi, par rapport à la pression exercée par les transports, et à communiquer à propos de cette situation. Les effets sociaux et économiques des transports ne font pas partie du champ d'application de ce projet. Ceci est a priori critiquable si l'on se positionne dans un contexte de développement durable (analyse conjointe des aspects sociaux, économiques et environnementaux). Cependant, concevoir un tel outil destiné à s'insérer dans un processus de concertation dans lequel sont déjà pris en compte, sous une autre forme, les aspects économiques et sociaux, a un réel intérêt.

Le problème d'instrumentation, même restreint aux préoccupations environnementales (excluant ainsi les aspects économiques et sociaux), reste complexe. En effet, les transports ont des impacts multiples et variés, du fait de la diversité des facettes de l'environnement dont il est question et de leur dimension temporelle et géographique. La nature des données recueillies pour apprécier ces nuisances est très hétérogène (concentration d'un gaz, niveau de bruit, gêne ressentie, nombre de morts...) et il est possible d'utiliser différentes échelles temporelles (heure, jour, année...) et géographiques (ville, région, planète...) pour l'observation d'une situation environnementale. Pour que l'outil puisse s'insérer dans le cadre de la gouvernance où participent des acteurs (politiques, publics ou acteurs économiques) qui ne sont pas forcément des experts du domaine des transports et de l'environnement, il devra proposer une évaluation synthétique, intelligible et pertinente.

Des contraintes

Le projet PIE est ambitieux car il s'oriente vers la prise en compte globale de l'environnement. Pour cette raison, entre autres, les premières étapes de spécification et d'organisation du projet sont assez conséquentes, notamment afin de permettre la synchronisation et la cohérence globales des différentes contributions d'experts provenant de domaines environnementaux culturellement bien cloisonnés.

Notons qu'aucun périmètre géographique d'application n'a pour l'instant été précisément retenu à titre de cas concret pour une première mise en œuvre de l'outil.

D'autre part, les experts nécessaires pour couvrir tous les domaines environnementaux dont il est question dans le projet n'ont été que partiellement identifiés. Certains domaines sont donc momentanément tenus à l'écart du champ du projet, même s'ils doivent faire partie, à terme, des préoccupations environnementales prises en compte dans l'outil.

De plus, l'outil dont il est question dans le projet doit être conçu afin de pouvoir être utilisé par différents profils de personnes. Dans un contexte de démocratie participative, il devra être utilisable par les décideurs publics, mais aussi par les représentants de la société civile et les acteurs économiques. Or, même si les profils des utilisateurs potentiels sont dorés et déjà envisagés, les personnes concernées ne sont pas encore identifiées.

Compte tenu de ces contraintes, notre travail, qui ne peut se permettre d'attendre systématiquement les avancements du projet, se positionne en tâche parallèle. Ceci n'est pas sans conséquence dans l'orientation de notre recherche et nous ferons donc référence à cet aspect par la suite.

Une tâche

Une des raisons à l'origine de la demande d'instrumentalisation dont il est question dans le projet PIE est que, dans le domaine des transports et de l'environnement, les décideurs sont bien souvent confrontés à l'analyse de longs rapports d'experts mélangeant à la fois des informations descriptives, qualitatives et quantitatives. Ils ont alors une grande difficulté, d'une part à considérer chaque aspect dont il est question dans ces rapports, d'autre part à se forger une opinion globale. L'intelligibilité et l'agrégation de l'information sont donc souhaitées.

Notre travail tente de contribuer plus précisément à la réalisation de la tâche « Agrégation des indicateurs d'impact des transports sur l'environnement » du projet PIE.

Agréger revient à synthétiser une certaine quantité d'information afin de réduire le nombre de dimensions d'un problème. Cela est notamment utile lorsqu'on est face à un nombre trop important de dimensions et que l'on souhaite disposer d'une vision globale, simplifiée. Cependant, agréger n'est pas sans conséquences.

Une première conséquence directe est que l'on perd le détail de toutes les informations élémentaires : d'une certaine manière, le résultat agrégé s'en trouve appauvri. De plus, la tâche d'agrégation n'est pas toujours aisée si l'on souhaite la faire rigoureusement, notamment lorsque la nature des informations à agréger est hétérogène. Cela soulève, entre

autre le problème de la signification du résultat : quel peut-être la signification d'un résultat agrégeant des informations dont la nature n'est pas homogène (des concentrations de gaz avec des décibels...) ? On peut aussi vouloir interdire de laisser s'opérer certaines compensations que l'on juge illicites. De plus, les informations à agréger peuvent être, pour certaines d'entre elles, entachées d'incertitudes ou d'imprécisions : on peut vouloir agréger en tenant compte de la connaissance que l'on a du degré d'incertitude ou d'imprécision de chaque information.

Bien sur, ce problème n'est pas nouveau et il existe des méthodes d'agrégation qui ont donné lieu à de nombreuses applications. Ces méthodes sont de plusieurs types. Celles-ci diffèrent tant dans la modélisation qu'elles nécessitent préalablement que dans la manière dont elles s'opèrent et dans la forme et la richesse des résultats qu'elles proposent. Nous souhaitons utiliser autant que possible des concepts existants. Cependant, les principales méthodes d'agrégations ont été développées pour faire de l'« aide multicritère à la décision ». Les préoccupations de ce cadre théorique sont de mettre en avant la ou les meilleures décisions à prendre parmi celles identifiées et cela par rapport aux objectifs et préférences des décideurs. Cela diffère de notre problématique pour laquelle aucune décision n'est a priori identifiée ou identifiable. On souhaite par exemple pouvoir évaluer (de manière agrégée) une situation, ou encore en suivre l'évolution. Or, la manière d'agréger l'information est indéniablement liée au but même de l'agrégation. La transposition des méthodes d'agrégation multicritère issues de l'activité d'aide à la décision à notre contexte d'évaluation demande donc une réflexion spécifique.

Une démarche

Pour tenter de contribuer à l'instrumentalisation de l'évaluation multicritère de l'impact des transports sur l'environnement nous proposons de retenir la démarche suivante.

Dans le chapitre I, après avoir présenté plus précisément le problème de l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement, nous réaliserons une revue de littérature des indicateurs et paniers d'indicateurs existant dans ce domaine en mettant l'accent sur la façon dont on tente parfois d'agréger l'information. Nous tenterons ensuite de préciser notre problématique, qui s'oriente vers une « aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement ».

Cela nous amènera dans le chapitre II à nous interroger plus généralement sur ce qu'est l'évaluation et précisément l'« aide à l'évaluation » et dans quels buts elle peut être envisagée. Nous retiendrons à cet effet une approche basée sur la structuration d'objectifs qui est une façon de modéliser une partie d'un système de valeurs, dans le but de servir de référentiel pour l'évaluation. Nous comparerons cette approche aux méthodes d'« aide à la décision ».

En conséquence de l'approche retenue, une des premières étapes nécessaires à la mise en œuvre d'un outil d'aide à l'évaluation sera de structurer les objectifs. C'est à cet effet que nous développerons le chapitre III en nous inspirant fortement des travaux de [Keeney R.L., 1992]. Nous y proposerons le résultat d'une série d'interviews exploratoires ayant été réalisés auprès de décideurs publics en vue d'illustrer notre approche sur le cas de l'environnement et les transports.

Dans le chapitre IV, nous rappellerons certains concepts d'« aide multicritère à la décision » en insistant plus particulièrement sur les points pertinents pour la suite, c'est-à-dire ceux

pouvant être réutilisés dans l'optique de la mise en œuvre d'une « aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement ».

Une mise en œuvre à but illustratif fera l'objet du chapitre V, dans lequel nous verrons aussi comment nous considérons la complémentarité des processus d'aide à la décision et d'aide à l'évaluation.

Enfin, le chapitre VI tentera de rendre opérationnelle notre mise en œuvre et détaillera à cet effet certains aspects informatiques (spécifications fonctionnelles et prototype) dans l'optique de développements futurs d'un outil plus complet.

Chapitre I : Transports et environnement : un état des lieux

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord insister la diversité des nuisances des transports sur l'environnement qui fait de l'« évaluation de l'impact des transports sur l'environnement » un problème important et complexe.

Nous tenterons ensuite de répondre à la question « En quoi les travaux de recherche existants dans ce domaine répondent et ne répondent pas à la demande d'instrumentalisation exprimée par les acteurs concernés ? » afin de cadrer notre travail.

Dans la littérature du domaine de l'environnement et des transports, le terme « indicateur » est très souvent utilisé même si sa signification est assez mal définie. Nous passerons donc en revue un certain nombre d'indicateurs existants dans certaines des thématiques environnementales sur lesquelles les transports influent (évaluation mono-nuisance).

Ensuite, nous analyserons les « paniers d'indicateurs » existant, c'est-à-dire les regroupements d'indicateurs d'impacts des transports sur l'environnement (évaluation multi-nuisances) en mettant l'accent sur les façons dont certains d'entre eux proposent une agrégation pour synthétiser l'information. Cette analyse se fera au regard de la théorie de l'« aide à la décision » qui possède un cadre formel intéressant pour l'agrégation, même si celui-ci est en léger décalage avec notre contexte d'« aide à l'évaluation », déjà évoqué dans l'introduction générale et qui sera développé dans le chapitre II.

Cela nous permettra finalement de formuler notre problématique de recherche en délimitant un domaine d'application, en identifiant les enjeux théoriques et finalement en listant les aspects informatiques que nous souhaitons aborder dans ce travail.

1. Importance et complexité du problème

Le domaine des transports est une activité humaine en perpétuelle évolution. De tout temps, l'homme a tenté d'améliorer les moyens lui permettant de se déplacer. Or, en utilisant des énergies combustibles, en déployant des infrastructures de transports, en adaptant les villes à la présence de réseaux de transports, cette activité a de nombreuses répercussions sur l'environnement. Il faut cependant reconnaître qu'en contre partie de ces effets négatifs, les transports offrent un ensemble de services à la société humaine, tant d'un point de vue économique que social. L'environnement n'est donc qu'un des trois volets sur lesquels agissent les transports. Contrairement aux aspects économiques et sociaux, les impacts des transports sur l'environnement sont en général négatifs.

Comme nous l'avons vu dans l'introduction générale, notre travail est axé sur l'« évaluation de l'impact des transports sur l'environnement ».

Le but de la première section de ce chapitre est de présenter le domaine des transports afin de montrer son importance (poids économique et social) et relever certaines de ces caractéristiques qui en font une activité complexe (différents modes, cycle de vie). Dans une seconde section, après un bref rappel historique concernant l'apparition des préoccupations environnementales dans notre société, nous examinerons en quoi la diversité des nuisances, celle de leurs échelles temporelles et géographiques d'observation, la persistance et l'irréversibilité de certains effets, font de l'« évaluation de l'impact des transports sur l'environnement » un problème tout aussi complexe.

1.1. Les transports : présentation générale

1.1.1. Rôle, poids économique et social

Comme indiqué en introduction générale, les transports jouent un rôle important dans notre société. En premier lieu, ils permettent à l'homme de se déplacer plus rapidement et plus facilement. En effet, depuis la révolution industrielle et les développements technologiques qui l'ont accompagnée, sont apparus différents modes de transports permettant aux individus de se déplacer. La rapidité et la portée géographique de ces moyens de transports n'ont cessé de croître. D'autre part, ces moyens de transports servent aussi à acheminer toutes sortes de marchandises, ce qui est vital pour le développement du commerce international. Comme nous l'avons vu, la valeur ajoutée de la branche transport (hors agences de voyages) représente de manière quasiment constante entre 3.5% et 3.6% du PIB de la France sur la dernière décennie [Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999].

Les déplacements de personnes génèrent une activité de première importance dans l'économie mondiale. De ce fait, les aspects économiques concernent tout d'abord les consommateurs finaux qui supportent directement une partie du coût de leurs transports personnels. Ainsi, en 1999, la part de la consommation de la fonction transport dans la consommation des ménages français est de 15.3% [Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999]. Une des sources majeures de ces dépenses est l'automobile. Ainsi, le taux d'équipement en automobiles des ménages français en 1999 est d'environ 78% tandis qu'on atteint presque le niveau d'un véhicule particulier pour deux habitants [Ministère de l'Équipement des

Transports et du Logement, 1999]. Au niveau mondial, on attend un triplement du parc automobile entre 1998 et l'année 2020 [Meyronneinc J.P., 1998]. Les industriels en sont conscients. En effet, si on s'intéresse aux montants des dépenses en publicité de différents secteurs économiques en 1998, on s'aperçoit que l'automobile représente à elle seule plus de 63% du marché mondial de la publicité (Cf. tableau 1.1.1.a). Cela illustre bien le poids économique du transport routier dans notre société.

	USA	Monde hors USA
Automobile	14 074	9 904
Commerce de détail	11 572	9 558
Cinéma / Médias	4 122	5 225
Finance	3 850	2 449
Produits pharmaceutiques	3 565	1 573

Dépense en million de dollars

Tableau I.1.1.a : « Montant des dépenses en publicité en 1998 »
[Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999]

D'autre part, les transports ne sont rendus possibles que grâce à la consommation d'énergie. Ainsi l'industrie de l'énergie (principalement pétrolière) est liée en partie aux transports qui sont en pleine croissance. En s'intéressant à la part de la consommation finale en énergie du secteur d'activité des transports en France, on constate qu'elle a augmenté de plus de 35% entre 1980 et 1999 et qu'elle est de ce fait à la seconde place derrière le secteur résidentiel et tertiaire et devant le secteur industriel (cf. tableau I.1.1.b). Ainsi, en 1999, elle représente 25,5% de la consommation française totale en énergie. Au niveau mondial, en 1998, elle représente 30% de la consommation d'énergie répartie à 70% pour les déplacements des personnes et à 30% pour les marchandises [Meyronneinc J.P., 1998].

	1980 <i>Consommation en million de tonnes équivalent pétrole</i>	1999 <i>Consommation en million de tonnes équivalent pétrole</i>	Variation 1980/1999	Part en 1999
Sidérurgie	12,4	7,6	-38,7%	3,6%
Industrie	45,4	50,9	+12,1%	24,0%
Résidentiel / tertiaire	68,5	96,2	+40,4%	45,3%
Agriculture	3,4	3,5	+2,9%	1,6%
Transports	36,9	54,1	+46,6%	25,5%
				100%

Tableau I.1.1.b : « Consommation mondiale énergétique finale par secteurs d'activité »
[Brown L.R., Flavin C., French H., 2001]

Enfin, comme fonction transversale à de nombreux secteurs d'activités, notamment pour l'acheminement des marchandises, les transports et leur industrie représentent un enjeu économique majeur pour les nations.

1.1.2. Modes de transports

Pour se déplacer ou pour transporter des marchandises, l'homme a mis à sa disposition différents types de transports qu'il est commun d'appeler « modes de transports ». On peut citer le transport pédestre, le transport routier (deux roues non motorisé, deux roues motorisé, automobile, poids lourd, bus), le transport ferroviaire (train, métro, tramway), le transport aérien, le transport maritime et le transport fluvial. Notons aussi l'émergence de certains nouveaux modes de transports urbains comme les rollers et les tapis roulants.

Pour le transport de personnes, le mode le plus utilisé est le transport routier, mais le mode qui émerge depuis le milieu des années 90 est le transport aérien. En France, le nombre de voyageurs-kilomètre par avion a plus que doublé entre 1985 et 1999, en passant ainsi à la seconde place derrière le transport routier, et devant le rail [Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999]. Par exemple, l'aéroport de Bourget accueillait 131 000 passagers en 1937 contre 55 millions en 1995 pour les deux aéroports de région parisienne, Orly et Roissy CDG [Meyronneinc J.P., 1998].

Concernant les modes de transport terrestre de marchandises, la route et le rail sont les plus utilisés. Mais les tonnes de marchandises transportées annuellement par la route sur le territoire français, sont plus de 12 fois supérieures à celles transportées par le rail [Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999].

La ville est un milieu très particulier pour ce qui concerne les transports. En effet, les réseaux de transports urbains doivent faire coexister la plupart de ces différents modes sur un même espace géographique. Il ne s'agit pas uniquement de considérer ces modes de façon indépendante mais aussi de permettre les connexions intermodales (possibilités offertes aux utilisateurs de passer d'un mode à l'autre afin de constituer un trajet complet, de leur point de départ jusqu'à leur destination finale). Les villes sont parfois le point de départ ou d'arrivée d'un trajet, mais peuvent aussi être simplement une étape. Les connexions interurbaines sont les parties de réseaux de transports destinés à relier les réseaux de différentes agglomérations.

1.1.3. Cycle de vie

Le cycle de vie d'un mode de transport comprend les différentes étapes nécessaires à son fonctionnement. Ainsi il comprend les phases de construction, mise en place des infrastructures, exploitation, maintenance, recyclage et destruction.

Il est important de ne pas restreindre l'étude d'un réseau de transport à l'étude de l'exploitation de ce réseau, surtout quand on tente de considérer les nuisances de ce réseau sur l'environnement. En effet, les autres phases aussi peuvent avoir des répercussions sur l'environnement. Pour tenir compte pleinement de l'impact des transports sur l'environnement on est alors amené à analyser l'ensemble de ces étapes : il s'agit de l'analyse du cycle de vie (ACV) des transports [Boulmier J.M., Grapin A., Rousseaux P., 2000].

1.2. Les transports et l'environnement

1.2.1. Prise de conscience des préoccupations environnementales

Depuis 1920, le nombre de textes de loi et traités internationaux faisant état de préoccupations environnementales a été multiplié par près de 25 [Meyronneinc J.P., 1998]. Plus des deux tiers de ces textes ont été rédigés après la conférence de Stockholm du 16 juin 1972 (conférence des Nations Unies sur l'environnement humain) et cela dans des domaines très variés (biodiversité, pêche maritime, pollution des océans, etc.). Les premières initiatives de l'Union Européenne dans ce domaine datent aussi du début des années 1970 avec notamment le sommet de Paris de juillet 1972 au cours duquel les différents chefs d'états ont reconnu l'importance de la prise en compte des considérations environnementales dans le cadre de l'expansion économique et de l'amélioration de la qualité de vie.

Remarquons que la période d'apparition de ces préoccupations coïncide avec la période de fort développement des transports et principalement de l'automobile.

« La crise pétrolière ayant perdu de sa vigueur à la fin des années 80, le débat s'est déplacé vers d'autres enjeux. Le transport n'est plus alors une source de gaspillage d'énergie. Il est devenu une atteinte au cadre de vie. »
[Meyronneinc J.P., 1998]

L'exemple du dioxyde de carbone

Pour illustrer cette prise de conscience, nous allons présenter l'exemple du CO₂. L'homme est conscient qu'il émet ce gaz depuis des années, et notamment depuis la révolution industrielle. Cependant, ce gaz n'étant pas directement nocif pour la santé humaine, on ne s'en préoccupait pas vraiment, jusqu'à l'apparition d'un phénomène inquiétant : « l'effet de serre ». Il s'agit d'un phénomène naturel reposant sur le fait que l'atmosphère terrestre se conduit un peu comme la vitre d'une serre : elle laisse pénétrer la chaleur du soleil et l'emprisonne. Or, les scientifiques s'accordent à dire que le CO₂ présent dans l'atmosphère contribue à lui seul pour 50% à l'effet de serre contre 25% pour les CFC et 15% pour le CH₄ [Meyronneinc J.P., 1998]. La communauté scientifique s'est en effet intéressée de plus près à l'évolution de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère, grâce notamment à des relevés atmosphériques mais aussi à l'étude de bulles d'air retenues par les glaciers de l'antarctique, vieilles de 420 000 ans, et à l'analyse de planctons fossilisés datant eux de plus de 20 millions d'années. Or, les relevés en CO₂ montrent que l'on atteint actuellement un niveau record sur les 420 000 dernières années. Il semble que la période de déglaciation qui a duré près de 15 000 ans, a fait passer le taux de CO₂ dans l'atmosphère de 200 ppmv (particules par million de volume) à 280 ppmv. Au début du XIX^{ième} siècle, le taux était encore aux alentours de 280 ppmv, puis de 315 peu avant 1958, pour atteindre finalement le niveau record de 368 ppmv en 2000 [Brown L.R., Flavin C., French H., 2001].

En l'espace de ces 200 dernières années, le taux de CO₂ a plus augmenté que pendant les 15 000 années de l'ère de la déglaciation. Bien sûr, il faut prendre cela

avec précaution car on dispose de bien moins de données concernant le passé lointain que sur les dernières années.

Le taux de CO₂ dans l'atmosphère variait déjà sensiblement bien avant le développement de l'activité humaine. Il est cependant intéressant d'appréhender l'évolution des émissions de CO₂ imputables à l'activité humaine. En 1850, le total des émissions de carbone avoisinait les 100 millions de tonnes pour atteindre un milliard en 1950 et plus de 6 milliards en 2000. Ainsi, depuis 1751, de l'ordre de 271 milliards de tonnes ont été ajoutées à l'atmosphère par suite de l'utilisation de combustibles fossiles à base de carbone (bois, puis charbon, pétrole et gaz naturel).

En étudiant conjointement les émissions humaines et le taux dans l'atmosphère, certaines études prévoient un taux de 400 ppmv pour 2015 et 500 ppmv pour la fin du XXI^{ème} siècle. Or, les études statistiques ont permis de mettre en évidence, sur les 420 000 dernières années, une corrélation entre la concentration de carbone dans l'air et la température atmosphérique [Brown L.R., Flavin C., French H., 2001].

A travers les transports, la responsabilité de l'homme concernant le réchauffement planétaire est engagée.

« Globalement, le secteur des transports est la source qui grossit le plus vite les émissions de carbone nocives pour le climat. »
[Brown L.R., Flavin C., French H., 2001]

De nombreuses préoccupations environnementales émergent ainsi, et l'homme s'aperçoit que le développement de son activité est loin d'être neutre sur l'environnement. Or, le transport est une activité humaine en pleine croissance et aux conséquences environnementales non négligeables.

1.2.2. Diversité des impacts des transports sur l'environnement

On trouve, dans la littérature, de nombreux aspects environnementaux affectés par les transports comme par exemple : la faune, la flore, les espaces, les ressources naturelles en énergies, le climat de la planète, la couche d'ozone de la planète, l'environnement de l'Homme...

Il est par exemple clair que les transports consomment des ressources naturelles. En effet, les réseaux de transports et leur cycle de vie consomment de l'énergie ainsi que de l'espace, notamment pour le déploiement de ses infrastructures. De plus, la consommation d'espaces naturels a des conséquences directes sur la faune et la flore locale.

Les impacts climatiques entrent de plus en plus en compte dans les préoccupations des décideurs publics. On assiste à des phénomènes climatiques pour lesquels il est encore difficile d'apprécier le lien direct de cause à effet avec les transports. En effet, il existe d'autres sources de nuisances (industrielles), d'autres facteurs (phénomènes naturels) qui sont susceptibles d'influer sur le climat. Cependant, la

contribution des transports à ces effets semble une hypothèse tout à fait réaliste (cf. l'exemple du carbone en section I.1.2.1). Il en est de même pour la couche d'ozone de la planète.

Enfin, nous considérons « l'environnement de l'homme » comme une facette de l'environnement en général. Les nuisances des transports sont alors celles perçues ou subies par l'homme. Nous avons vu que le développement des transports influe généralement sur l'environnement et sur les aspects économiques et sociaux. Si nous excluons les aspects économiques et sociaux, l'environnement humain est alors composé de la gêne ressentie par l'homme (par exemple le bruit), de sa santé, de sa perception du paysage, de son patrimoine culturel.

A titre d'exemple, voici quelques nuisances des transports sur l'environnement : nuisances sonores, pollution de l'air, accidents, déchets, pollution des eaux, conséquences sur le paysage, consommation d'énergies, création de coupures (cas d'une autoroute coupant une zone géographique en deux et compliquant la circulation entre deux villages situés de part et d'autre de l'autoroute).

Cette liste n'est pas exhaustive. Elle reprend certaines nuisances communément identifiées dans la littérature. Elle est donc susceptible d'évoluer avec l'amélioration des connaissances des différents domaines d'expertise ou avec l'apparition de nouveaux phénomènes.

Chacune de ces nuisances peut affecter une ou plusieurs facettes environnementales. Par exemple, la pollution de l'air affecte aussi bien la facette « couche d'ozone de la planète » que la facette « santé humaine ». Chaque nuisance a donc un ou plusieurs impacts sur l'environnement.

Ainsi, pour tenter d'évaluer l'impact des transports sur l'environnement on doit considérer un ensemble de phénomènes très divers et hétérogènes qui font appel à des domaines variés de connaissance ou d'expertise.

1.2.3. Facteurs de complication

Echelles géographiques d'observation

Certains impacts sur l'environnement (comme la gêne ressentie par l'homme due au bruit de la circulation) s'observent de façon très locale (à l'échelle du kilomètre) tandis que d'autres s'observent au niveau de la planète (comme la dégradation de la couche d'ozone). La diversité des échelles spatiales complique donc la réalisation de l'évaluation d'une situation environnementale.

L'effet de serre, le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources énergétiques, la gestion des déchets, la disparition d'espèces (faune, flore) sont des impacts globaux. A l'inverse, la mortalité routière, les effets sur la santé (maladies, stress ...), la gêne (dues au bruit, aux odeurs, au paysage...), les effets dus aux coupures et le dérèglement des écosystèmes sont des impacts locaux.

Pour l'observation de ces divers impacts, on peut suggérer un découpage géographique assez naturel, et correspondant à différents niveaux de décisions publiques :

- niveau de l'agglomération,
- niveau régional,
- niveau national,
- niveau planétaire.

Echelles temporelles d'observation

D'autre part, il ne sera pas possible (ou pas pertinent) d'évaluer toutes les facettes de l'environnement sur une même fenêtre temporelle. Par exemple, l'échelle de temps utile pour observer les changements sensibles du climat est de plusieurs années, tandis que la consommation d'espace peut être observée instantanément. On trouve donc une grande variété d'échelles temporelles d'observations en fonction de deux facteurs : la nature du phénomène observé et le degré de connaissance que l'on en a. En pratique, ces échelles s'étendent de la journée (pollution locale) à la décennie (effet de serre).

La diversité des échelles de temps et d'espace permettant d'observer les différentes nuisances complique clairement le problème de l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement

Irréversibilité et persistance des impacts

Les différents impacts environnementaux n'ont pas tous les mêmes propriétés concernant leur durée et leur réversibilité. A titre d'exemple, examinons les impacts suivants :

- disparition d'espèces : irréversible,
- destruction du patrimoine : irréversible,
- déchets : forte persistance,
- pollution locale de l'air : faible persistance,
- bruit : pas de persistance.

L'irréversibilité est liée au fait de ne pas pouvoir résorber un impact. La persistance est liée à la période durant laquelle l'impact est significatif. Ces propriétés confèrent des importances relatives aux différents impacts. Dans une évaluation environnementale, on envisagera différemment les impacts irréversibles ou fortement persistants et les impacts réversibles ou faiblement persistants. Cela tend encore à compliquer le problème de l'évaluation dont il est question dans ce travail.

1.2.4. Les normes

Pour tenter de limiter les impacts des transports sur l'environnement, les différentes instances politiques ont établi des normes, afin de légiférer sur les

nuisances. Il existe donc parfois, selon la nuisance, une réglementation concernant les sources de pollutions. Ces normes sont variables selon les pays. Elles sont souvent le résultat de compromis entre les acteurs défendant :

- la demande sociale,
- les intérêts économiques,
- les connaissances scientifiques.

[Joumard R., 2000]

Elles sont un point de départ et aussi une finalité de la gestion environnementale. Elles en sont un point de départ car elles conduisent à la construction d'indices (ou indicateurs) et à mettre en place des procédures d'alertes. Elles sont aussi autant d'objectifs à atteindre, et sont par exemple, pour la pollution atmosphérique, le principe fondamental de tout édifice de la gestion de la qualité de l'air [Garcia J., Colosio J., Jamet Ph. , 2001].

Ces normes jouent donc parfois un rôle prépondérant dans la construction des outils d'évaluation environnementale et des indicateurs, car elles sont utilisées comme valeurs de référence.

Mais, ces normes ne sont pas systématiquement fixées dans l'unique souci du respect de l'environnement : elles ont souvent un rôle politique plus étendu. Nous reviendrons sur ce point avec l'exemple des normes concernant certains polluants atmosphériques dans la section I.2.4.1.

Comme les normes ne sont pas uniformes d'un pays à l'autre (si tant est qu'elles existent), qu'elles évoluent au cours du temps et qu'elles ne sont pas fixées uniquement dans un but environnemental, il paraît difficile de s'en servir de manière centrale comme référentiel d'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement.

Notons enfin que l'utilisation de normes donne parfois lieu à une agrégation. Ce type d'agrégation sera critiqué en section I.3.2.

2. Evaluation mono-nuisance

Afin d'analyser la littérature concernant les indicateurs de l'impact des transports sur l'environnement, nous allons nous intéresser ici à un découpage analytique. Il est proposé et utilisé par l'AEE (Agence Européenne pour l'Environnement) dans son système TERM (Transport and Environment Reporting Mechanism) dont le but est d'évaluer les systèmes de transports actuels des Etats Membres et l'efficacité de leurs politiques de gestion et de surveillance de l'environnement. Ce découpage, nommé DPSIR (Drive-Pressure-State-Impact-Response) est constitué de cinq étapes qui permettent de décrire le processus des transports dans une perspective assez large, et avec la préoccupation d'identifier les effets des transports sur l'environnement.

2.1. Découpage DPSIR

Une grande partie des activités humaines fait appel aux transports (activité économique, touristique, familiale ...). L'ensemble de ces éléments sont la source des déplacements des hommes ou marchandises et constitue la force motrice (ou « Drive ») des transports. C'est la première étape.

Puis, le domaine des transports, exerce une « pression » ou « Pressure » sur l'environnement. Et ceci tout au long du cycle de vie du mode de transport, c'est à dire tant dans la phase de construction des véhicules et des infrastructures que dans la phase d'exploitation et la phase de destruction ou recyclage. Cette seconde étape représente l'ensemble des conséquences physiques liées à l'activité des transports comme les émissions de gaz, l'augmentation du niveau de bruit, ...

Ces pressions (par exemple les émissions de gaz) transforment l'environnement et le font aboutir à un certain « état » ou « State » (par exemple, une teneur en gaz dans l'atmosphère).

L'état environnemental dépend bien entendu des différentes pressions que les transports lui font subir. Ces pressions entraînent des changements d'états qui ne sont pas sans conséquence. Ces conséquences sont nommées « Impacts » (exemple des effets sur la santé humaine). Il s'agit de l'ensemble de conséquences pouvant être perçues et/ou subies par les usagers des transports, les riverains non usagers, ou par tout autre élément de l'environnement (faune, flore ...).

Enfin, on peut considérer les « réponses » ou « Response » apportées par les différentes instances politiques pour limiter les effets sur l'environnement. Il s'agit de toutes les décisions concernant les transports, les mesures prises, les réglementations. Cette dernière étape du processus influence bien entendu les comportements des utilisateurs des transports tant individuels que de marchandises. Il modifie ainsi les forces motrices des transports (ou « Drive »), c'est-à-dire la première étape du découpage DPSIR. La boucle est ainsi bouclée.

Nous proposons d'illustrer les liens de causalités entre ces cinq volets DPSIR proposés par l'OCDE dans le schéma I.2.1 grâce à l'exemple de l'émission de gaz due à la circulation automobile, ici volontairement simplifié.

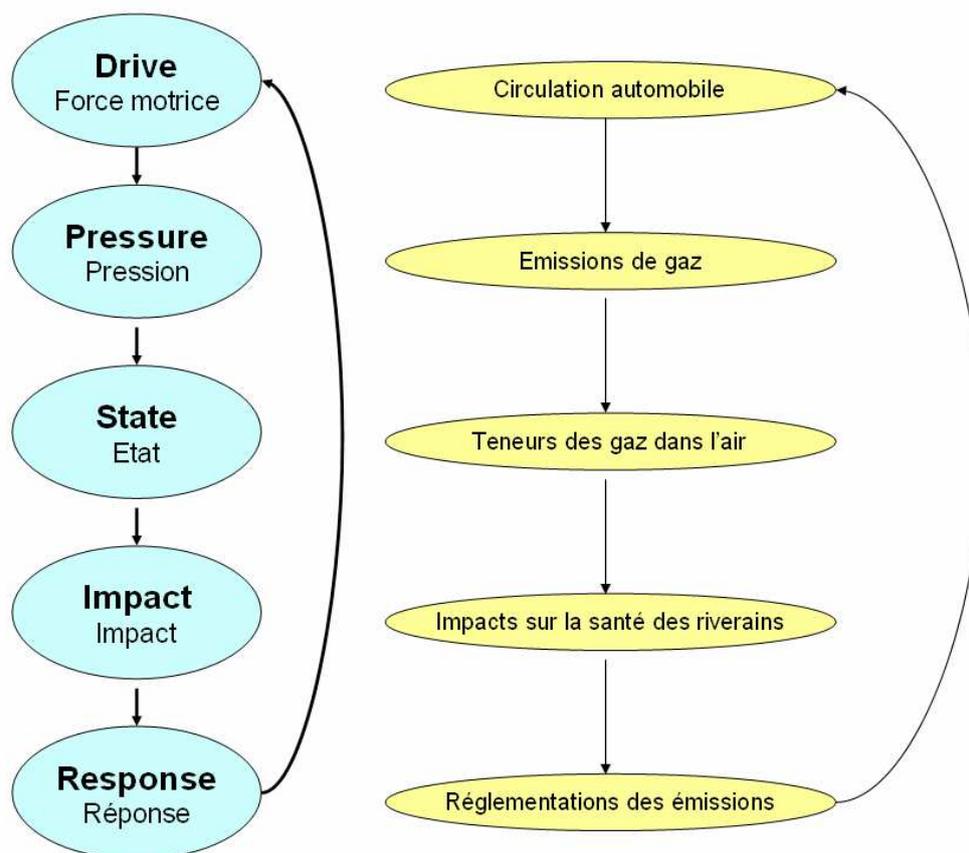


Schéma I.2.1 : « Approche DPSIR, émission de gaz par la circulation automobile »

Notons que ce découpage analytique a été récemment affiné. Sa dernière version identifie une étape supplémentaire qui n'est pas sans intérêt (en découpant le volet Impact en deux : exposition et effet). Pour plus de précisions, nous renvoyons le lecteur vers le site web suivant : [<http://www.euro.who.int/EHindicators>].

Le système TERM qui utilise ce découpage est intéressant. Il est principalement utilisé pour constituer des rapports annuels dans le but d'évaluer les systèmes de transports des pays de l'Union Européenne et l'efficacité de leurs politiques de gestion et de surveillance de l'environnement. Cependant, dans la pratique, les résultats produits par ce système de rapports semblent avoir des limites. Tout d'abord, tous les indicateurs parmi les 40 contenus dans TERM ne sont pas renseignés par tous les pays. De plus, tous les pays ne renseignent pas les mêmes indicateurs. Cela s'explique bien souvent par un manque de données, mais aussi car la liste d'indicateurs est une vision à long terme de la liste idéale. Lorsque les données disponibles étaient insuffisantes pour faire une analyse étendue à l'Union Européenne, des données nationales ou des indicateurs de remplacement sont utilisés [AEE, 2000]. Enfin, la compréhension des informations contenues dans ces rapports semble difficile pour les non-initiés.

2.2. Pression, état, impact

Dans notre contexte, le découpage DPSIR (Drive Pressure State Impact Response) a pour intérêt de mettre en évidence les chaînes de conséquences entre les transports et

l'environnement. En ce sens, il nous semble pertinent d'utiliser cette grille d'analyse pour passer en revue les différents indicateurs servant à appréhender les effets des transports sur l'environnement. En effet, notre étude concerne les impacts des transports sur l'environnement et le découpage analytique proposé ici par l'AEE identifie bien l' « Impact » comme une étape du phénomène transport.

Nous n'allons cependant pas utiliser la première et la dernière étape de l'approche DPSIR car elles sont toutes deux (« Drive » et « Response ») de l'ordre des instances politiques. En effet, selon l'approche DPSIR, le premier volet (Drive) concerne l'ensemble des forces motrices qui jouent un rôle dans l'incitation à l'utilisation de transports par les hommes. Ceci englobe tant les pratiques tarifaires que les réglementations en place, les revenus des habitants, le développement du travail à domicile, le développement récent des autres moyens de communication, la conjoncture économique, les effets médiatiques de certains événements ou les annonces publicitaires... Les réponses apportées peuvent être très diverses : lois, réglementations, impôts, subventions, investissements infrastructures, développement de transports en commun...).

Sans perdre de vue que l'évaluation de l'« Impact » des transports sur l'environnement est notre préoccupation principale, nous allons tout de même décrire des indicateurs de nuisances en distinguant ceux représentant :

- la pression exercée par les transports sur l'environnement (Pressure),
- l'état de l'environnement (State),
- les conséquences de cet état (ou Impact).

En effet, lorsqu'il n'est pas possible de mesurer directement un impact des transports sur l'environnement, il est parfois possible de mesurer la pression ou l'état afin :

- soit d'avoir une idée de l'ampleur du phénomène, de son évolution, même si on ne connaît pas l'impact réel,
- soit d'utiliser la connaissance d'experts pour déduire empiriquement l'impact connaissant la pression ou l'état.

Parmi les cinq étapes du découpage analytique proposé par l'AEE, les trois retenues pour l'analyse d'indicateurs de l'environnement et des transports sont finalement Pression-Etat-Réponse. Nous allons maintenant passer en revue quelques nuisances des transports sur l'environnement parmi celles les plus communément traitées dans la littérature puis décrire un certain nombre d'indicateurs pour voir en quoi ils sont susceptibles de contribuer à l'«évaluation de l'impact des transports sur l'environnement» telle que nous l'entendons dans ce travail (Cf. Introduction générale).

2.3. Nuisances sonores

Le bruit est une nuisance un peu particulière. Tout d'abord, il s'agit d'une pollution locale, car le bruit ne se diffuse que très peu. De plus, il ne laisse aucune trace qui persisterait au cours du temps. Le bruit ne participe pas aux effets globaux : c'est localement que le bruit a des conséquences.

Les bruits sont dus principalement au fonctionnement des véhicules (moteurs, frottements pneu/chaussée, avertisseurs sonores...).

2.3.1. Indicateurs de pression

Les pressions sonores des transports sur l'environnement peuvent être mesurées directement à la source du bruit [Maurin M., 2000 b]. Ainsi, les différents types de véhicules automobiles sont testés en laboratoire afin de mesurer les niveaux de bruits qu'ils émettent. La mesure de ces niveaux se fait en décibel.

Les normes concernant le niveau de bruit sont des tranches ou des seuils exprimés en décibel.

2.3.2. Indicateurs d'état

Il existe deux façons d'évaluer l'état sonore de l'environnement de façon locale :

- certains outils modélisant la propagation du bruit dans un milieu bien défini sont à même de déduire localement, à partir des données d'émissions, une simulation de l'état sonore. Grâce à des outils graphiques (SIG : système d'information géographique) on obtient ainsi des cartes sur lesquelles figurent des courbes de niveau de bruit.
- en réalisant directement des mesures de niveaux de bruit à des endroits précis. Ces mesures sont réalisées ponctuellement durant un laps de temps fixé, car elles sont relativement coûteuses. Les résultats de ces mesures peuvent venir conforter les informations obtenues à partir des données d'émissions et de prévision de trafic. Elles peuvent même servir de données d'entrée pour ces modèles.

Le L_{Aeq} (niveau de bruit équivalent) est le principal indicateur qui est utilisé pour la mesure du bruit, mais le L_{Amax} (niveau de bruit maximum) peut aussi être considéré comme représentatif [Maurin M., 2000 b].

2.3.3. Indicateurs d'impact

Les différents impacts du bruit étudiés dans la littérature sont les suivants :

Effets locaux externes :

- gêne pour les riverains,
- santé des riverains (déficit auditif dû au bruit, perturbation du sommeil),
- impact sur l'activité économique (notamment dépréciation immobilière),
- impact sur les comportements des riverains (effet sociologique).

Effets locaux / usagers :

- gêne pour les usagers.

Les normes ont souvent un rôle important dans la construction de paniers d'indicateurs. Le projet de recherche européen RESPECT (Référentiel

d'Evaluation et de Suivi des Politiques des Collectivités Territoriales) pour la mise en place d'un tableau de bord pour l'environnement par 30 collectivités de l'Union Européenne, ainsi que le PDU (Programme de Déplacement Urbain) du CERTU (Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports et l'Urbanisme) utilisent dans leur modèle, le découpage de niveau de bruit fixé par la législation française tandis que TERM de l'AEE utilise les normes de bruit européennes qui sont plus sévères.

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), qui considère le bruit comme un problème de santé publique, a défini des seuils en distinguant différentes tranches de niveaux de bruit selon le lieu et la période d'exposition [Rodrigues C., 2002].

A partir de ces seuils ou tranches de niveau de bruit, les indicateurs de nuisance sonore sont établis en croisant les données de sources avec les données de cible [Lambert J., Matheron J., 1994] :

- nombre de personnes exposées à une classe de niveau de bruit,
- nombre de personnes multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles le niveau de bruit dépasse un seuil prédéterminé,
- nombre de personnes exposées à un niveau de bruit dépassant la norme pendant un pourcentage de temps prédéterminé,
- niveau d'exposition au bruit dépassé par un pourcentage fixé de la population,
- niveau moyen de l'indice d'exposition individuelle (moyenne énergétique).

Beaucoup d'études, notamment à l'Inrets, ont été réalisées pour appréhender la gêne ressentie par des gens auxquels on fait subir expérimentalement le bruit en leur demandant d'exprimer leur propre gêne sur une échelle qualitative.

Elles visent ensuite à construire des courbes, classiquement nommées « Dose/Réponse », qui permettent d'associer à chaque niveau de bruit, une réponse sur une échelle qualitative représentant le niveau de gêne ressentie. Ces courbes permettant de mettre en correspondance un niveau de bruit d'exposition avec un niveau de gêne ressentie sont construites expérimentalement.

D'autres indicateurs comme les ventes de somnifères, l'absentéisme, le nombre de plaintes dues au bruit ou les modifications des prix de l'immobilier peuvent être considérés comme mesurant les réponses aux nuisances sonores. Mais ces indicateurs sont à prendre avec précaution car ils restent cependant très sensibles à la variation d'autres facteurs socio-économiques.

Certaines approches monétaires retiennent par exemple comme mesure du coût de l'impact du bruit, une dévaluation de 1% de la valeur du bien immobilier par dB(A) d'exposition supplémentaire si le niveau de bruit d'origine est compris entre 55 et 65 dB(A). [Lambert J., Matheron J., 1994]

2.4. Pollution de l'air

Il existe une vaste littérature concernant cette nuisance. En effet, le problème de la pollution de l'air est identifié depuis longtemps déjà. On distingue deux niveaux de pollution de l'air suivant la nature du polluant :

- Niveau global : certains polluants n'ont pas d'impact directs à une échelle locale. Cependant, quand ils sont considérés de façon globale, ils contribuent à un phénomène de pollution. Le principal exemple est le CO₂ qui est incolore, inodore, sans effet direct sur la santé et n'entraîne donc pas de pollution locale, mais qui contribue à l'effet de serre et au réchauffement planétaire.
- Niveau local : il s'agit ici de certains polluants localement gênant ou dangereux comme le CO, qui, à partir d'une certaine concentration peut devenir mortel.

Les émissions de ces polluants sont dues aux conditions de combustion dans les moteurs (hautes températures, combustions incomplètes...), aux additifs à l'essence, aux évaporations de carburants, aux réactions photochimiques...

2.4.1. Indicateurs de pression

Pour évaluer la pollution de l'air, on peut dans un premier temps comptabiliser les émissions de gaz directement à la sortie des sources de pollution.

En étudiant un type de véhicule de transport, il est possible d'avoir une information précise sur ce qu'émet ce type de véhicule dans différentes situations. En extrapolant ensuite sur le parc de véhicules et sur les données de trafics (ou prévisions de trafics), il est alors possible d'avoir une idée relativement précise de l'ensemble des émissions pour différents types de véhicules pollueurs [Joumard R., 1999].

Ces évaluations représentent concrètement la pression qu'exerce un type de transport sur l'environnement, en terme de pollution de l'air. Cependant, si ce genre de méthode aboutit à des résultats intéressants pour l'évaluation de certains impacts globaux, il reste très difficile (contrairement au bruit dont la propagation n'est pas perturbée par les conditions climatiques comme le vent) d'obtenir à partir de ces données, des informations concernant l'état de l'air au niveau local (Cf. indicateurs d'état en section suivante).

Les polluants les plus communément identifiés (faisant notamment partie des polluants dits « primaires » de l'OMS [WHO, 2000]) peuvent être les suivants :

- Oxyde d'azote NO (mono) et NO₂ (dio)
- Gaz carbonique : CO₂
- Les particules
- Les hydrocarbures HC
- Le monoxyde de carbone : CO
- Le dioxyde de soufre : SO₂
- Les métaux lourds dont le plomb : Pb
- L'ozone O₃ et le PAN (péroxyacétyle nitrate) polluants secondaires

Ils sont mesurés en unité de masse de polluant par année, passager, habitant, véhicule, km, tonne transportée, et/ou PIB.

Bien qu'il y ait un consensus sur la dangerosité des polluants atmosphériques, les différentes normes (établies sous forme de seuils à l'émission) qui sont en vigueur varient énormément selon les pays [Joumard R., Lamure C., Lambert J., Tripiana F., 1995].

Le principal inconvénient de l'application de ces normes est la possibilité d'interdire indirectement certaines technologies. Mais aussi de freiner le développement de certaines autres, même si elles polluent bien moins sur l'ensemble des polluants sauf sur un ou deux d'entre eux pour lesquels elles dépassent les normes.

Remarquons qu'en réglementant drastiquement le diesel, les Etats-Unis ont protégé leur marché automobile des concurrents européens. Cela soulève le problème du rôle de la norme. Comme nous l'avons mentionné en section I.1.2.5, les normes ne sont pas systématiquement fixées dans l'unique souci du respect de l'environnement mais ont parfois un rôle politique plus étendu.

Remarquons enfin qu'établir une norme concernant les émissions de gaz à effets globaux n'a de sens que dans une évaluation étendue au cycle de vie du véhicule [Boulmier J.M., Grapin A., Rousseaux P., 2000] et relativement aux autres modes de transports, voire aux autres sources (autres que liées aux transports) d'émission du même polluant.

Pour illustrer cela, on peut se poser les questions suivantes : est-il intéressant de baisser de 50% une norme d'émission des véhicules sur un polluant à effet global si :

- ce qu'émet un véhicule durant toute sa période d'exploitation est négligeable par rapport à ce que émettent ses étapes de construction, entretien, destruction, recyclage ?
- la part d'émission de ce polluant pour les transports ne représente que de 5% des émissions totales nationales ?

2.4.2. Indicateurs d'état

La seconde approche pour évaluer la pollution de l'air consiste à évaluer la teneur de chaque type de polluant dans l'air. Il s'agit donc d'indicateurs d'état. Cela permet d'avoir une information sur la qualité de l'air à un moment donné à un endroit précis. Pour cela, il est possible d'opérer directement des mesures de la qualité de l'air. Ainsi, on obtient une image de l'état de l'air. Notons tout de même que cette information ne précise pas qui est responsable de la pollution atmosphérique. Rien ne permet en effet, de discerner les sources de l'émission, tant elles sont nombreuses.

Les mesures se font en unité de masse de polluant par unité de volume d'air. Un des problèmes rencontrés est le choix de localisation des antennes de relevés atmosphériques.

Pour évaluer la teneur de chaque type de polluant dans l'air, on peut aussi, à partir des données d'émission et en étudiant la propagation, obtenir certaines cartographies qualitatives (coloration sur un SIG représentant l'état de l'air) grâce

à la modélisation des interactions conjointes des variables suivantes [Mavroulidou M., 2002] :

- émissions du trafic urbain,
- vitesse du vent,
- stabilité atmosphérique,
- rugosité des surfaces,
- constructions,
- qualité de l'air.

De la même façon que pour le bruit, ce genre de modèle utilise en entrée, les données de prévision de trafic. Mais la propagation des gaz est un problème plus complexe à modéliser que la propagation du son.

Les principales limites de cette famille de modèles résident en effet dans la difficulté à prévoir et même à mesurer précisément certaines des variables influentes dont la nature est étroitement liée aux conditions climatiques (notamment celles de la stabilité atmosphérique, de la qualité de l'air, ainsi que concernant la vitesse et direction du vent).

2.4.3. Indicateurs d'impacts

Les différents impacts de la pollution de l'air mentionnés dans la littérature sont les suivants :

Effets locaux externes [Nicolas F., 1997] :

- La pollution sensible (odeur, vue) : Proximité (moins de 100km),
 1. odeurs : les moteurs diesel émettent un grand nombre d'hydrocarbure. Or, une très petite teneur suffit à causer une mauvaise odeur ...,
 2. vue : Grosses particules : salissures et fumées,
- La santé de l'homme :
 1. monoxyde de carbone CO : effets hypoxiques,
 2. hydrocarbure HC : cancérogène,
 3. dioxyde d'azote NO₂ : altérations pulmonaires,
 4. fines particules : cancérogène en association avec certaines HC,
 5. métaux lourds comme le plomb,
- Le smog photochimique : il s'agit de polluants secondaires comme l'ozone O₃ et le PAN qui se forment en présence d'une certaine insolation, à proximité des sources de pollution en NO_x, SO₂ et HC lorsque les teneurs sont élevées. Ils se forment au cours de la diffusion et peuvent se retrouver à quelques kilomètres du lieu d'émission. C'est un irritant puissant des voies respiratoires, des yeux et qui entraîne des lésions pulmonaires.

Ces impacts sont déduits des concentrations mesurées grâce à des courbes Dose/Effet représentant l'évolution de l'intensité du phénomène épidémiologique (effet) en fonction de la concentration du polluant dans l'air (dose).

A partir de ces informations concernant les concentrations de polluants, les indicateurs de pollution de l'air sont établis en croisant les données de sources avec les données de cibles :

- Nombre de personnes exposées à une classe de niveau de pollution,
- Nombre de personnes multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles le niveau de pollution dépasse un seuil prédéterminé,
- Nombre de personnes exposées à un niveau de pollution dépassant la norme pendant un pourcentage de temps prédéterminé,
- Niveau de pollution dépassé par un pourcentage fixé de la population,
- Niveau moyen de l'indice d'exposition individuelle (moyenne arithmétique des concentrations en polluants).

[Lambert J., Matheron J., 1994]

Il semble que d'un point de vue épidémiologique, la validité d'un seuil à partir duquel un effet sur la santé se fait ressentir est remise en cause. L'effet semble, pour une large plage de valeurs, plutôt proportionnel à la concentration en polluant dans l'air. Ainsi, le problème des normes (établies à partir de seuils) et de leurs utilisations dans l'évaluation environnementale n'est que renforcé dans le cas de la pollution de l'air et de ses impacts sur la santé.

D'autres indicateurs permettant la mesure des effets locaux. L'OMS propose les suivants :

- Mortalité infantile due à des problèmes respiratoires,
- Mortalité due à des problèmes respiratoires,
- Nombre d'admissions hospitalières pour des maladies respiratoires,
- Nombre d'admissions hospitalières pour asthme,
- Mortalité infantile due à des problèmes du système circulatoire,
- Nombre d'admissions hospitalières pour maladies du système circulatoire.

Effets globaux :

- Les pluies acides : NO_x, HC, SO₂, CO conduisant au dépérissement des forêts et dégradant les écosystèmes à dimension régionale,
- Le trou de la couche d'ozone : CFC – NO_x : réalité en discussion – trous aux pôles,
- L'effet de serre : Le CO₂ est le principal polluant contribuant à l'effet de serre, mais aussi le méthane, le protoxyde d'azote N₂O, CFC, ozone, CO...

Il est difficile d'évaluer précisément l'impact des transports pour ce type d'effets. Ce que l'on évalue est alors la contribution des transports à ces impacts globaux. Ces mesures sont réalisées en unité de masse par année, habitant, véhicule, km et/ou PIB, mais il s'agit ici d'indicateurs de pression.

Notons que pour les polluants contribuant à un même effet global, les spécialistes scientifiques ont fixé des coefficients d'équivalence entre gaz afin d'exprimer toutes les émissions dans une même unité. Par exemple, dans l'indice Rhône Poulenc, les émissions de gaz à effet de serre sont exprimées en potentiel de réchauffement global (GWP), grâce à une pondération (discutable) qui dépend de la contribution relative de chacun des gaz au phénomène physique [Joumard R., 2000].

2.4.4. L'exemple de l'indice Atmo

Pour illustrer ces propos, prenons l'exemple de l'indice Atmo dont une bonne description est faite dans [Garcia J., Colosio J., Jamet P., 2001]. Il s'agit d'un indice calculé obligatoirement chaque jour dans toutes les agglomérations françaises de plus de 100.000 habitants par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Cet indice est donc opérationnel.

Indice Atmo			Particules	SO ₂	NO ₂	O ₃
Indice	Qualificatif	Couleur	Moyenne des moyennes journalières	Moyenne des maxima horaires		
1	Très bon	Vert	0-9	0-39	0-29	0-29
2	Très bon	Vert	10-19	40-79	30-54	30-54
3	Bon	Vert	20-29	80-119	55-84	55-79
4	Bon	Vert	30-39	120-159	85-109	80-104
5	Moyen	Orange	40-49	160-199	110-134	105-129
6	Médiocre	Orange	50-59	200-249	135-164	130-149
7	Médiocre	Orange	60-79	250-299	165-199	150-179
8	Mauvais	Rouge	80-99	300-399	200-274	180-249
9	Mauvais	Rouge	100-124	400-599	275-399	250-359
10	Très mauvais	Rouge	125+	600+	400+	360+
			en µg/m ³			

Les couleurs sont celles représentées au niveau national par l'ADEME

[Garcia J., Colosio J., Jamet Ph., 2001]

Tableau I.2.4.4 : « Construction de l'indice Atmo »

Une station fournit pour un polluant une valeur journalière qui peut être soit la moyenne de toutes les valeurs de la journée (cas des particules) soit la moyenne des maxima horaires (cas du SO₂ du NO₂ et de l'O₃). Sur chaque polluant, l'indice journalier pour la ville est alors calculé à partir des relevés réalisés par au minimum deux capteurs situés en zone urbaine ou périurbaine, et choisis de telle façon que la moyenne des mesures réalisées par ces stations soit représentative des concentrations urbaines.

La valeur de l'indice Atmo est alors le maximum entre les quatre valeurs d'indices prises sur chacun des polluants présentées dans le tableau I.2.4.4.

Pour une diffusion le jour même, les moyennes de toutes les valeurs journalières ne pouvant pas être effectuées, il s'agit alors d'une estimation de l'indice à 16h, estimation pouvant être complétée par une prévision de l'indice pour la journée entière.

Les relevés atmosphériques réalisés pour Atmo sont des valeurs d'état, mais le choix des différentes valeurs limites présentées dans le tableau I.2.4.4 ont permis d'aboutir à un indice sensé refléter l'impact sur la santé de façon homogène sur chaque polluant. L'agrégation avec la règle du maximum peut alors être justifiée.

Les échelles de valeurs retenues pour chacun des quatre polluants entrant dans la construction de l'indice ont été établies selon les normes 2000 fixées par arrêté ministériel [ADEME, 2000]. Il s'agit donc bien de normes. Ces normes permettent notamment la comparaison des différentes villes françaises grâce à un référentiel commun, même si les valeurs de l'indice dépendent aussi du choix de l'emplacement des stations permettant les relevés.

2.5. Accidents

Le découpage « Pression – Etat – Impact » n'est pas pertinent pour les accidents dus aux transports. Seul l'impact est mesuré :

- nombre d'accidents par mode de transport,
- nombre de tués,
- nombre de blessés graves,
- nombre de blessés légers,
- nombre de morts durant une période fixée consécutive à un accident des transports.

Ces valeurs sont rapportées au nombre de passagers au km pour obtenir un ratio permettant la comparaison intermodale. Notons cependant que la façon de comptabiliser ces valeurs peut varier selon les pays mais aussi dans un même pays au cours du temps. Par exemple, pour définir un « tué » on est obligé de définir le temps pendant lequel on va continuer à observer une personne hospitalisée suite à un accident. Si la personne décède après cette durée, elle ne sera pas comptabilisée dans les « tués ».

2.6. Déchets

TERM 2001 propose de comptabiliser le nombre annuel de véhicules en fin de vie ainsi que les tonnes de pneus usés collectés. Pour les autres modes de transports on ne trouve pas d'indicateurs à proprement dit.

2.7. Pollution des eaux

Dans le domaine de la pollution des eaux, on trouve des indicateurs de pression et d'état.

2.7.1. Indicateurs de pression

TERM 2001 propose les indicateurs de pressions suivants :

- Tonnes d'huile déversées en mer annuellement de façon accidentelle ou non,
- Fréquence annuelle d'observation aérienne de souillures d'huiles rapportée au nombre de traversées aériennes.

2.7.2. Indicateurs d'état

L'OMS considère la pollution des eaux comme un problème non directement lié aux transports. Les indicateurs de l'OMS portent sur la qualité des eaux potables et de baignade.

2.8. Conséquences sur le paysage

Concernant les conséquences des transports sur le paysage, on trouve uniquement des indicateurs d'état.

2.8.1. Indicateurs d'état

TERM 2001 propose l'indicateur d'état suivant : consommation d'espace par les infrastructures (en km²).

Notons de plus, une approche intéressante de calcul de l'angle solide d'un ouvrage ou bâtiment permettant d'obtenir une valeur concernant l'intrusion visuelle [Maurin, 1999] qui est une façon d'appréhender l'impact.

2.9. Consommation d'énergies

Concernant la consommation d'énergies, on trouve uniquement des indicateurs de pression.

2.9.1. Indicateurs de pression

TERM 2001 propose les indicateurs de pressions suivants : consommation finale d'énergies par mode de transport, en million de tonnes de pétrole brut équivalent (bilan énergétique des étapes de production, importation/exportation, stocks, consommation...).

2.10. Création de coupures

Les effets dits de coupures sont les suivants [Lamure C.A., 1993] :

- modification des cheminements des hommes et animaux,
- destruction de zones organisées,
- destruction de communautés sociologiques,
- morcellement des entités géographiques [Maurin M., 1979],
- perturbation des écoulements hydrauliques.

Ils peuvent intervenir lorsqu'une infrastructure de transport sépare un espace géographique en deux.

2.10.1. Indicateurs d'état

TERM 2001 propose les indicateurs d'état suivants :

- Surface en km² des zones naturelles non fragmentées par des infrastructures des transports,
- Surface des forêts non fragmentées,
- Proximité des infrastructures de transport et des zones naturelles spécifiques (réserves d'oiseaux et marais) : nombre de zone protégées ayant une infrastructure à moins de 5 km de son centre.

2.11. Synthèse sur la typologie des indicateurs

Après le parcours de différentes nuisances, cette partie présente une synthèse des différents types d'indicateurs (pression, état et impact) de nuisances des transports sur l'environnement, en tentant de mettre en avant les avantages et inconvénients de chacun d'eux.

Notons tout d'abord que les deux nuisances que sont le bruit et la qualité de l'air sont les plus représentés dans la littérature. Il s'agit, en effet, des nuisances dues aux transports les plus fréquemment traitées dans la littérature et celles-ci sont d'ailleurs identifiées depuis longtemps. Toutes deux font parfois l'objet de normes.

2.11.1. Indicateurs de pression

Avantages :

- ces indicateurs sont souvent plus faciles à calculer grâce à la disponibilité des données qui les composent (données à la source),
- en observant de façon locale les phénomènes d'émissions (gaz, bruit, déchets ...), il est relativement aisé d'extrapoler ces informations afin d'obtenir des valeurs concernant l'ensemble du parc,
- ces indicateurs sont très intéressants pour réaliser des comparaisons intermodales, des comparaisons de la contribution des transports à certains phénomènes par rapport à d'autres sources de nuisances (industrie ...) ou des comparaisons entre pays,
- ils sont très intéressants pour évaluer la contribution des transports à des effets globaux.

Inconvénients :

- les extrapolations ont des limites. En effet, extrapoler, c'est aussi introduire des incertitudes (plus ou moins bonne connaissance du parc automobile, des prévisions de trafic, des conditions d'utilisations des véhicules...),
- les phénomènes pouvant perturber les propagations de gaz et de bruits dans l'air (présence d'obstacles, conditions météorologiques) sont mal connus, difficilement modélisables, ou difficilement prévisibles. Cela limite l'utilisation des données d'émission comme données d'entrées à des modèles de prévision ou de simulation d'état local de l'environnement,
- les indicateurs de pression n'informent pas sur l'effet proprement dit. Quand celui-ci est mal connu (mauvaise connaissance du lien entre la

pression et l'effet), c'est la représentativité de l'indicateur qui est remis en cause.

2.11.2. Indicateurs d'état

Avantages :

- ces indicateurs sont fondés sur la mesure de données comme les teneurs ou bien les niveaux de bruit. Ces mesures sont précises car les phénomènes comme les conditions de propagations et la météorologie, n'influencent pas la validité de ces données (on mesure directement le résultat de ces phénomènes),
- ils sont beaucoup plus précis que les indicateurs de pression lorsque l'on désire croiser l'information avec la cible (meilleure connaissance de la cible et de ce qu'elle subit in fine),
- ils sont idéaux pour évaluer des effets locaux, ainsi que pour la mise en place de procédures d'alertes.

Inconvénients :

- ces indicateurs sont fondés sur des mesures locales (teneurs, niveau de bruit...) qui sont donc souvent plus délicates à exploiter car elles nécessitent la mise en place de règles d'agrégations temporelles et géographiques pour synthétiser l'information d'un réseau étendu de mesures,
- ils nécessitent la mise en place de réseaux de mesures relativement étendus géographiquement ; ils sont donc souvent plus coûteux,
- de même que pour les indicateurs de pression, les indicateurs d'état n'informent pas sur l'effet proprement dit ; quand celui-ci est mal connu (mauvaise connaissance du lien entre l'état et l'effet), c'est la représentativité de l'indicateur qui est remise en cause,
- contrairement aux indicateurs de pression, les indicateurs d'état ne rendent pas compte de la nature de l'activité qui est la source de la nuisance (transport, industrie ...); ils sont donc moins intéressants pour réaliser des comparaisons intermodales, les comparaisons de la contribution des transports à certains phénomènes par rapport à d'autres sources de nuisances.

2.11.3. Indicateurs d'impact

Avantages :

- ils concernent réellement les impacts, c'est-à-dire, ce que l'on cherche à appréhender.

Inconvénients :

- ils ne permettent pas nécessairement de pouvoir distinguer la cause réelle de l'impact.
- Ils nécessitent parfois une modélisation qui requiert alors une bonne connaissance (souvent difficile à acquérir) :
 1. du lien pression – impact (principalement pour les effets globaux),

2. du lien état – impact (pour les effets locaux),
3. de l'évaluation de la source (pression ou état, selon le cas),
4. du dimensionnement de la cible.

Par cette revue de littérature, on constate tout d'abord que même si les phénomènes de nuisances des transports sur l'environnement sont relativement bien identifiés par les experts, il n'y a pas toujours d'indicateurs naturels pour essayer de les appréhender plus précisément. Pour remédier à cela, un certain nombre d'indicateurs sont tout de même proposés mais il ne sont pas toujours parfaitement représentatifs de ce que l'on cherche à appréhender, c'est-à-dire l'Impact des transports sur l'environnement.

En définitive, il existe très peu d'indicateurs d'impacts. Ceci peut s'expliquer par la réelle difficulté de construction qu'ils suscitent. Bien souvent alors, les indicateurs utilisés pour tenter d'évaluer les nuisances sont soit des indicateurs de pression, soit des indicateurs d'état. Ceux-ci sont souvent plus faciles à construire et à alimenter en données mais ils ne sont pas pleinement représentatifs de ce que l'on cherche à cerner, à évaluer. Cependant, par leur intermédiaire, il est parfois possible (sous réserve de disposer d'une bonne connaissance du phénomène étudié) de déduire l'impact. Mais, selon le degré de connaissance que l'on a du phénomène, selon le modèle utilisé pour déduire l'impact, le résultat est alors bien souvent entaché d'incertitudes et/ou d'imprécisions.

3. Evaluation multi-nuisances

Dans la pratique, que se soit lors de l'étude de projets ou dans les différents observatoires nationaux ou internationaux, les personnes tentent de retenir un ensemble d'indicateurs.

C'est de ce choix que nous allons discuter dans cette partie ; ce que nous appelons le choix d'un « panier d'indicateurs ». Ce terme évoque le fait que, bien souvent, les ensembles d'indicateurs sont relativement vastes et surtout que la façon d'ajouter ou de sélectionner dans cet ensemble n'est pas toujours claire : à notre sens, on y ajoute et on y pioche parfois comme dans un panier. Ceci peut paraître un peu péjoratif mais nous souhaitons simplement attirer l'attention du lecteur sur deux principales précautions inhérentes à la manipulation d'un ensemble d'indicateurs :

- il faut éviter de retenir un ensemble d'indicateurs servant de référentiel à l'évaluation sans s'interroger précisément sur « pourquoi retenir tel indicateur » et « pourquoi renoncer à tel autre » (et par analogie, on peut se référer à la façon rigoureuse dont [Roy B., Bouyssou D., 1993] construisent une famille de critères en Aide à la Décision),
- lorsqu'il s'agit d'utiliser un ensemble d'indicateurs, il faut éviter qu'une personne souhaitant en faire une interprétation puisse piocher uniquement le ou les indicateurs allant dans son sens (par exemple, pour justifier une décision).

Nous réaliserons ensuite une analyse des méthodes d'agrégation dans le cas où les indicateurs sont regroupés afin d'obtenir une information plus synthétique.

3.1. Choix du panier d'indicateurs

Pour pratiquement chacune des études réalisées dans le domaine de l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement, se pose le problème du choix des indicateurs. Comment les différentes études traitent-elles de la manière de retenir un panier d'indicateurs ?

Notons tout d'abord l'existence de deux grandes familles d'études :

- les études dont l'objectif est la mise en place d'un système d'indicateurs destiné à communiquer sur l'état de l'environnement avec le public et/ou les décideurs et en suivre l'évolution,
- les études d'aide à la décision devant permettre la comparaison des impacts environnementaux de différents projets (concurrents ou non).

Nous distinguerons donc :

- les études d'évaluation environnementale,
- les études d'aide à la décision.

Dans le cas de l'évaluation environnementale, on s'intéresse à la situation environnementale d'un sous-ensemble géographique. Il est alors possible de désirer comparer ce sous-ensemble à un autre (par exemple, la comparaison de deux villes), ou à une situation de référence (par exemple, la comparaison de la situation présente à une situation passée ou à une situation fictive). Dans ce cas, il s'agit d'une évaluation relative. On peut aussi désirer évaluer de manière absolue une situation environnementale (par exemple, évaluer une ville). Dans ce second cas, l'objectif peut être de renseigner sur l'état général de l'environnement (de manière quantitative ou qualitative) du sous-ensemble géographique en question. Ce dernier point n'exclut pas la comparaison a posteriori de plusieurs résultats d'évaluations absolues.

Dans le cas des études d'aide à la décision, le principe est de pouvoir comparer les différents projets et ainsi aider les décideurs à choisir en connaissance de cause. Il s'agit donc d'une évaluation relative dans le sens où les projets (portant sur un même sous-ensemble géographique) sont comparés les uns aux autres en terme d'effets sur l'environnement.

Les études d'évaluation environnementale

Il est évident que le choix du panier d'indicateurs est intrinsèquement lié aux objectifs de l'étude et donc à la nature de celle-ci. Les objectifs peuvent bien sûr concerner tout ou partie des différentes nuisances de l'environnement (exemple : Atmo conçu pour évaluer la qualité de l'air d'une ville en vue d'alerter les populations à risque).

On trouve donc dans la littérature des exemples d'études illustrant ces différents objectifs. Ainsi TERM 2001 (Transport and Environment Reporting Mechanism) a été conçu par l'AEE (Agence Européenne pour l'Environnement) dans le but d'évaluer les systèmes actuels de transport des Etats Membres et l'efficacité de leurs politiques de gestion et de surveillance de l'environnement.

Il s'agit ici d'une évaluation ne visant pas à comparer différentes situations. On peut, grâce au panier des 31 indicateurs retenus, comprendre la façon dont les mesures et outils politiques d'un Etat Membre, agissent sur les interactions des transports et de l'environnement, en vue d'un développement durable. Il est donc question ici, plus d'évaluer les politiques environnementales et leurs effets que l'état de l'environnement. On comprend donc qu'à cet effet, le modèle analytique DPSIR a été retenu, notamment pour ses volets Drive et Reponse qui ont une connotation politique. Bien entendu, ce référentiel rend possible la comparaison des performances de différents Etats Membres sur chacun des indicateurs [TERM, 2001, 2000].

Concernant le lien santé/environnement, l'OMS fournit (par le biais de valeurs dites « valeurs guides ») de l'information sur les liens entre les expositions aux nuisances et les effets sur la santé. Elle développe d'autre part, un ensemble d'indicateurs, non restreints au domaine des transports, dont le but est de faire une évaluation absolue de l'état de l'environnement (en utilisant ses valeurs guides) pour permettre aussi la comparaison des situations de différents pays [WHO, 2000].

Le projet de recherche européen RESPECT (Référentiel d'Evaluation et de Suivi des Politiques des Collectivités Territoriales) a pour objectif de mettre à la disposition des collectivités territoriales, un ensemble d'indicateurs qui servent au suivi de leurs politiques environnementales, afin de mesurer, alerter en cas de dérives, réajuster et communiquer [RESPECT 2000]. Le panier d'indicateurs retenu est relativement vaste (67 indicateurs répartis sur un modèle analytique équivalent à DPSIR). Il constitue un outil opérationnel de gestion des politiques territoriales, adaptable pour chacune des collectivités.

Les PDU (Plan de Déplacement Urbain) sont chacun dotés d'un observatoire proposé par le CERTU (Centre d'Etude sur les Réseaux, le Transport et l'Urbanisme). Cet observatoire est constitué d'un très vaste ensemble d'indicateurs (plus de 250 indicateurs à disposition) permettant aux politiques de suivre l'évolution de la mise en œuvre de leur PDU, par rapport aux objectifs initiaux [CERTU 2001]. Il ne s'agit pas ici d'évaluer une situation environnementale, mais de disposer d'un outil opérationnel afin de prendre en compte tous les facteurs liés au PDU pour améliorer le cadre de vie et la qualité de vie dans les villes. Bien sur, les domaines dont il est question ici, ne sont pas restreints aux transports. [Rodrigues C., 2002]

Ces différentes approches ont comme point commun :

- de réaliser par le biais d'un panier d'indicateurs, une évaluation absolue afin de suivre les effets d'une politique sur un sous-ensemble géographique,
- d'éventuellement permettre a posteriori la comparaison des évaluations de différents sous-ensembles géographiques sur chacun des indicateurs. La comparaison reste à un niveau désagrégé (on compare indicateur par indicateur). Elle n'aboutit donc pas forcément à des conclusions du type : tel sous-ensemble géographique est globalement meilleur que tel autre (ce n'est pas le but initial).

L'indice Atmo présenté en section I.2.4.4 a été conçu pour informer quotidiennement de l'état de la qualité de l'air dans les grandes villes. C'est avant tout un outil de communication envers le public. Il est utilisé pour alerter d'éventuelles dégradations

de la qualité de l'air mais aussi pour déclencher des mesures permettant d'essayer de palier à la pollution. Il ne constitue pas un panier d'indicateurs, cependant il est fondé sur la mesure de plusieurs polluants (plusieurs sous indices). A cet effet, on peut considérer tout de même qu'il est un outil multi-nuisance. Il faut cependant noter que les différents polluants entrant dans la construction de cet indice, ont comme point commun d'être la source d'effets sur la santé. Il s'agit aussi ici d'un outil d'évaluation environnementale. L'indice permet, a posteriori, la comparaison de différents sous-ensembles géographiques (ici, les villes) même si ce n'est pas le but initial. Contrairement aux différents systèmes décrits précédemment, Atmo permet une comparaison globale de la qualité de l'air dans le sens où l'on peut dire aisément « pour la santé, telle ville à une meilleure qualité de l'air que telle autre ». Il suffit pour cela de comparer le résultat des évaluations. Reste le problème de la signification d'une telle affirmation. En effet, deux villes peuvent avoir pour une même valeur de l'indice Atmo, des caractéristiques de pollution très différentes. Ce point sera développé dans la section I.3.2 concernant l'agrégation des indicateurs.

Les études d'aide à la décision

La deuxième grande famille d'études porte sur la comparaison de différents projets de transports dans un but d'aide à la décision. Il existe une vaste littérature sur ce sujet. En effet, chaque problème de décision publique dans le domaine des transports constitue souvent un cas particulier. Pour chacun d'eux, une étude est alors réalisée, afin d'éclairer les politiques sur les avantages et inconvénients des différents projets (concurrents ou non). D'ailleurs, on raisonne souvent dans la pratique, non pas en terme d'impact sur l'environnement, mais en terme d'écart d'impact entre deux projets concurrents. Dans ce cadre, les évaluations environnementales réalisées sont souvent de type relatives. Elles viennent compléter d'autres évaluations de natures différentes (économiques, sociales ...).

On retrouve dans ces différentes études, des indicateurs relativement proches de ceux présents dans les différents systèmes décrits précédemment, avec de plus, des spécificités dues au caractère unique de chaque étude. Ce qui est intéressant dans ce type de problème est la façon dont les différents indicateurs environnementaux viennent contribuer à l'évaluation globale des différents projets de transports. Quand le problème décisionnel est relativement simple du point de vue de l'évaluation de l'impact des projets de transports sur l'environnement (peu d'impact ou bien, tous les projets ont sensiblement le même impact environnemental), la simple mise en avant des valeurs prises par les différents indicateurs suffit à aider les décideurs dans leur choix.

Malheureusement, beaucoup de cas sont plus complexes. Se pose alors le problème de la synthétisation de l'information. Souvent, celle-ci passe par une étape d'agrégation. C'est ce qui est analysé dans la section suivante.

En conclusion, ces deux grandes familles d'études ne répondent que partiellement à nos objectifs d'aide à l'évaluation (Cf. Introduction générale). En effet, les études d'évaluation environnementale ne proposent que très rarement d'outils informatiques, et encore moins d'outils permettant l'agrégation. Elles donnent lieu bien souvent à des

rapports volumineux, au contenu très pointu et souvent inaccessible à des personnes non averties. Quant aux études d'aide à la décision, elles sont intéressantes car certaines proposent l'agrégation de l'information mais sont souvent ancrées dans un contexte décisionnel bien précis et bien identifié, pour un problème bien spécifique. Cela ne cadre finalement pas bien avec notre problématique de conception d'un outil d'aide à l'évaluation, mais nous souhaitons nous en inspirer dans la façon dont elles agrègent l'information (Cf. section suivante).

3.2. Analyse des méthodes d'agrégation des indicateurs

Avant toute chose, revenons sur le cas des normes. Notons qu'appliquer des normes est parfois une façon d'agréger. En effet, on retrouve dans certains cas le problème de l'agrégation de différentes dimensions (par exemple, les valeurs d'émissions d'un type de véhicule pour différents polluants) pour aboutir à une prise de décision (implicitement interdire ou autoriser l'utilisation de ce type de véhicule). Dans cet exemple, les valeurs à agréger sont booléennes : le véhicule respecte Oui ou Non la norme selon tel polluant. L'agrégation est alors conjonctive : il faut que le véhicule respecte la norme pour chacun des polluants. Autrement dit, il suffit d'un unique Non sur un polluant pour interdire un véhicule. Ainsi, les normes autorisent l'utilisation d'un type de véhicule fortement polluant (véhicule dont les émissions seraient inférieurement très proches des normes pour tous les polluants) mais interdisent l'utilisation de véhicule pouvant être plus propre (véhicule n'émettant qu'un seul type de polluant et à peine au dessus de la norme). On voit bien ici les limites de cette façon de trancher et on peut critiquer ce type d'agrégation, somme toute un peu simpliste, qui est pourtant souvent utilisé dans la pratique.

Ce cas écarté, voyons maintenant d'autres pratiques d'agrégation. Une fois un ensemble d'indicateurs retenu, les contraintes dues aux échelles spatiales et temporelles présentées dans la section I.1.2.3, impliquent l'utilisation de méthodes d'agrégation afin de ramener ces différents indicateurs sur des échelles d'espace et de temps communes dans le but d'une évaluation globale. De plus, certaines études choisissent un modèle pour agréger ces indicateurs et aboutir à une information condensée, prenant en compte plusieurs nuisances.

Nous allons voir, maintenant, les méthodes les plus utilisées dans la pratique pour synthétiser l'information contenue dans un « panier d'indicateurs », en distinguant l'agrégation géographique, temporelle et multi-nuisances (avec ou non construction d'un critère unique de synthèse).

3.2.1. Agrégation géographique

Afin d'agréger géographiquement différentes données, les méthodes proposent souvent les opérateurs suivants [Rodrigues C., 2002] :

- somme des valeurs (total des émissions de CO₂),
- moyenne de valeurs (exemple : Atmo qui réalise les moyennes des valeurs obtenues pas les différentes bornes de la ville [Garcia J., Colosio J., Jamet Ph., 2001]).

3.2.2. Agrégation temporelle

Les relevés sont réalisés soit :

- à des intervalles de temps fixés,
- de manière continue.

Dans les deux cas, il est nécessaire de condenser l'information obtenue. Pour cela, les opérateurs souvent utilisés sont [Rodrigues C., 2002] :

- somme des différentes valeurs de la période,
- moyenne des différentes valeurs de la période,
- nombre de pics par période,
- percentile (par exemple, pourcentage de temps où une norme est dépassée).

3.2.3. Agrégation multi-nuisances en critère unique de synthèse

Afin de synthétiser l'information relative à l'évaluation environnementale, il est souvent nécessaire de mettre à la disposition des décideurs un outil agrégé. A cet effet, plusieurs méthodes concurrentes existent. La plupart des études vues précédemment se contente de présenter un panier d'indicateurs sans souci de les agréger (TERM, RESPECT, ...).

Cependant, les études relatives à la comparaison de projets de transports, qui sont, rappelons le, à chaque fois un cas particulier, utilisent souvent l'agrégation d'indicateurs de nature hétérogène, afin de ramener l'évaluation à une dimension unique, ou critère de synthèse. Il s'agit dans la majorité des cas d'une dimension monétaire. Ainsi, les différentes nuisances, sont traduites en terme de coût. Les différents avantages sont traduits en terme de bénéfices. L'évaluation globale consiste donc à faire le bilan monétaire d'un projet en prenant en compte l'ensemble des coûts et bénéfices qu'ils induisent. La comparaison des différents projets est donc réduite à la comparaison des valeurs de leur bilan monétaire.

Afin de traduire des données de nature qualitative, ou quantitative non monétaire, en valeur monétaire, plusieurs approches existent. Il s'agit des méthodes de monétarisations, classique en analyse coût-bénéfice, présentées ici :

- estimation des pertes de ressources : par l'évaluation du coût de protection ou du coût de restitution d'un système endommagé,
- analyse hédoniste : cette approche consiste à évaluer une nuisance sur un marché de substitution (exemple de l'impact des nuisances sonores sur les prix de l'immobilier [Lambert J., Lamure C., 1996],
- évaluation contingente : cette approche choisit, par le biais d'enquêtes auprès du public d'évaluer le « consentement à payer » (la valeur maximale que le sondé est prêt à donner) pour supprimer une nuisance [Boiteux M., 2001]. A l'inverse, il est possible de demander le consentement à recevoir (la valeur minimale que le sondé est prêt à recevoir) pour accepter de subir une nuisance [Cohen de Lara M., Dron D., 1997],
- évaluation de mesures compensatoires : on évalue ici, le coût de la mise en œuvre effective de mesures permettant de supprimer une nuisance, quand cela est possible,

- examen des actions en réparation : présentées devant les tribunaux qui fixent les montants des indemnités de réparation au plaignant,
- l'usage de relations analytiques : quand on désire convertir les effets en unités monétaires (du type perte de ressources, vie et temps, coût social ...) [Boiteux M., 2001],
- la méthode du coût du trajet : en estimant le consentement à payer des individus pour l'aménagement de sites de loisirs, promenades, à partir des dépenses et du temps qu'ils consacrent pour s'y rendre.

Après avoir réalisé l'évaluation monétaire des différentes composantes des projets, on réalise alors l'analyse Coût/Avantage ou Coût/Efficacité pour faire ressortir le ou les projets les plus avantageux [Cohen de Lara M., Dron D., 1997].

Il est vrai que certaines nuisances sont aisément convertibles en termes monétaires, sans que cela induise trop d'arbitraire. Cependant, qu'en est-il pour des nuisances du domaine de la santé par exemple ? « La santé n'a pas de prix, mais elle a un coût. » disait R. Barre. D'un point de vue de l'éthique, est-il concevable de prendre en considération le coût social d'un mort, dans une analyse coût avantage [Boiteux M., 2001] ? Et d'autant plus que celui-ci varie selon les pays [AIPCR, 1999] ? Ces approches ont été souvent critiquées [Angel M., 1998], Cependant, elles restent les plus utilisées dans la pratique.

Les critiques portent principalement sur ce qu'appellent les utilisateurs de telles méthodes les « biais ». Angel résume ces biais en un principal : « le biais de focalisation » des méthodes de types contingentes, liés à l'influence de la formulation du questionnement des sondés, sur le résultat des consentements à payer ou à recevoir. Le problème de l'équité est soulevé. Les consentements à payer ou à recevoir peuvent en effet varier avec les revenus ou la localisation géographique. La question du choix de la valeur d'usage, d'options ou d'existence est aussi soulevée, compte tenu de l'écart qui les caractérise [Lambert J., Lamure C., 1996]. En dehors de l'évaluation même des différentes nuisances en terme monétaire, un autre problème apparaît lors de l'étape de synthèse qui consiste à faire la somme des coûts et des avantages.

En effet, traduire sur une même échelle monétaire des nuisances aussi variées que des morts, de la gêne, des dégradations de la faune et la flore, des impacts sur le paysage pose le problème de la compensation. Est-il acceptable de laisser se compenser des performances dans des domaines aussi variés ?

Enfin, s'il est vrai que ramener un ensemble de nuisances hétérogènes sur une échelle commune présente l'avantage d'un résultat riche, il faut noter cependant qu'il est nécessaire de prendre des précautions pour que l'agrégation soit rigoureuse en réalisant une modélisation suffisamment fine des préférences. Or, cette modélisation n'est malheureusement pas forcément aisée à effectuer et, de ce fait, est dans la pratique bien souvent délaissée ou réalisée partiellement, sans pour autant que l'on remette en cause la signification du résultat.

D'autres méthodes tentent d'agrèger les informations sans pour autant laisser trop d'arbitraire dans la modélisation mais en conséquence proposent un résultat moins

riche et donc moins facile à exploiter. Cette famille de méthode, et notamment les méthodes de type Electre, ne se ramènent pas à un critère unique de synthèse.

3.2.4. Agrégation multi-nuisances sans critère unique de synthèse

Les méthodes de type Electre (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) [Roy B., Bouyssou D., 1993] sont fondées sur des comparaisons par paires. Ainsi, on compare par exemple deux projets routiers de façon globale pour aboutir à une des trois conclusions suivantes :

- l'un est meilleur que l'autre (sans préciser l'écart),
- les deux projets sont incomparables,
- les deux projets sont indifférents.

Fondées sur l'utilisation de formalisme de la théorie des ensembles, les comparaisons sont réalisées sans essayer de ramener les différentes nuisances sur une même échelle de valeur. Le système relationnel de préférence sous-jacent à la construction de critère (détaillé en section V.1.3) permet, notamment grâce à l'introduction des « seuils d'indifférence et de préférence », de traiter de manière simple les données de mauvaise qualité en distinguant dans la modélisation les écarts pertinents et significatifs de ceux qui ne le sont pas. La présence de « seuil de veto » (utilisé dans les méthodes de type Electre, Cf. section V3.1.2) est un moyen supplémentaire de maîtriser le danger de la compensation en sanctionnant des écarts trop importants même s'ils concernent des critères de faible importance. Les résultats obtenus sont alors plus pauvres en terme d'information (problèmes d'interprétation de l'incomparabilité, pas de notion d'écart entre projets) ce qui peut aussi être considéré comme un avantage de ces méthodes.

Des applications de telles méthodes ont été réalisées pour des problèmes environnementaux, mais elles restent assez marginales dans la pratique [Maystre L.Y., Pictet J., Simos J.]. Les méthodes de type Electre sont très intéressantes pour comparer différentes perspectives ou simulations (par exemple, pour comparer plusieurs projets concurrents de programme de déplacement urbain). Cependant, il est souvent nécessaire de reconstruire tout ou partie du modèle à chaque nouvelle problématique décisionnelle si elle se singularise des précédentes par sa nature, par ses objectifs ou par ses acteurs (décideurs, population, etc). Cette propriété fait qu'il semble difficile d'utiliser ces méthodes multicritères pour la conception de notre outil. En effet, on ne souhaite pas concevoir un outil dédié à un seul problème décisionnel, mais un outil permettant l'évaluation, le suivi et l'analyse tendancielle d'une situation environnementale relative à la pression exercée par les transports.

Malgré tout, les concepts sous-jacents à ce type de méthodes (seuils, principe d'agrégation, et autres) semblent très intéressants pour le cas de l'environnement et des transports, domaine où, comme nous l'avons vu en section I.2, les indicateurs d'impacts sont bien souvent entachés d'incertitude et/ou d'imprécision.

4. Problématique retenue

Face à un problème aussi complexe que l'évaluation globale de l'impact des transports sur l'environnement (diversité des nuisances et de leurs échelles d'observation, manque d'indicateurs d'impact, présence d'imprécision et/ou d'incertitudes, problème du choix des indicateurs, nécessité d'agrégation temporelle géographique et multi-nuisances, difficultés d'agrégation), nous allons, dans cette dernière section, présenter la problématique retenue en tenant compte à la fois des caractéristiques du domaine des transports et de l'environnement et du contexte dans lequel se positionne notre travail. Pour cela, nous passerons en revue le champ d'application, le champ théorique et la façon dont nous souhaitons opérationnaliser notre travail.

4.1. Champ d'application : impact des transports sur l'environnement

Le champ d'étude de l'outil dont il est question dans le projet PIE (Cf. Introduction générale) est l'évaluation des impacts des transports, restreint au domaine de l'environnement. Ainsi, les considérations économiques et sociales des transports, qui sont loin d'être négligeables compte tenu de l'enjeu qu'elles représentent dans notre société (section I.1.1.1), sont écartées du champ de l'outil. A première vue, en ce qui concerne les transports, restreindre l'étude des décisions publiques uniquement à leurs aspects environnementaux semble assez peu pertinent. On risque en effet d'aboutir rapidement à une conclusion de type « supprimons tous les moyens de transports et la situation environnementale sera meilleure », ce qui est une mesure très radicale et assez peu réaliste.

Cependant, un tel outil peut prétendre trouver sa place parmi d'autres utilisés par les décideurs publics et concernant notamment les aspects économiques et sociaux d'une situation. Ainsi, même si la forme, les rendus, les modes d'utilisations de tous ces outils ne sont pas les mêmes, leur utilisation conjointe peut aider les personnes en charge de ces questions à appréhender les facettes économiques sociales et environnementales d'un problème, d'une situation donnée, et rester ainsi cohérent avec la volonté de promouvoir un développement durable. Pour ces raisons, le champ d'étude retenu est finalement l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement.

Le domaine ainsi défini ne prétend pas proscrire les tentatives d'application d'une portée plus grande. Il serait bien au contraire intéressant d'aborder le problème des transports dans une perspective plus large, en intégrant notamment les composantes économiques et sociales. On pourrait aussi bien envisager d'étendre l'étude à l'ensemble des activités humaines qui nuisent à l'environnement, sans se restreindre à l'activité de transports. Mais notre travail est avant tout méthodologique et le champ d'application ainsi retenu est assez vaste pour permettre de tester notre approche.

4.2. Enjeu théorique : évaluation et agrégation

Comme nous l'avons vu en section I.1.2.2, les transports influent sur de nombreuses facettes de l'environnement. Or, afin de permettre aux décideurs d'avoir une vision plus synthétique de l'impact des transports sur l'environnement, il est nécessaire de réaliser une évaluation permettant d'agrèger ces informations hétérogènes. Cette tâche soulève certains problèmes théoriques.

Prenons un exemple pour mieux illustrer ces problèmes. Imaginons deux indicateurs à agréger. Le premier est une valeur annuelle concernant le nombre de morts sur le réseau routier d'une région bien identifiée. Le second est la quantité de CO₂ émise pendant l'année par l'ensemble du trafic routier national. Ces deux indicateurs représentent des points de vue très différents. Le premier reflétant la mortalité routière sur un sous-ensemble géographique et le second reflétant notamment la contribution nationale à l'effet de serre. Quelle serait la signification d'une telle agrégation ? D'autre part, nous voyons bien ici que les échelles sont hétérogènes et qu'il semble difficile de ramener ces deux unités (nombre de morts et quantité de CO₂) sur une même dimension sans introduire beaucoup d'arbitraire dans la conversion des valeurs. De plus, ici, la fenêtre géographique d'observation n'est pas la même pour ces deux évaluateurs. Dans quel but et comment doit-on agréger les différents indicateurs environnementaux, sachant qu'ils sont hétérogènes tant dans les points de vue qu'ils représentent que dans leurs dimensions (différentes échelles) ?

Les paniers regroupant des indicateurs servant à appréhender les différents impacts des transports sur l'environnement sont nombreux et variés. Ils sont proposés dans des contextes bien particuliers, tant pour le suivi de politiques environnementales, que pour le suivi de l'évolution de la mise en œuvre de PDU, ou pour évaluer les systèmes actuels de transport, l'efficacité des politiques de gestion et de surveillance de l'environnement ou encore pour les études d'impacts. De plus, ils n'ont pas tous les mêmes échelles d'observations (nation, ville, collectivités territoriales...). Un aspect de notre problématique est de tenter d'agrèger l'information contenue dans un ensemble d'indicateurs afin de présenter un résultat plus synthétique. Pour cela, les méthodes agrégatives de type « critère unique de synthèse » proposent d'utiliser des paramètres de conversion qui introduisent souvent de l'arbitraire et qui autorisent pleinement les compensations. Les autres méthodes multicritères tentant d'agrèger l'information sans se ramener à un critère unique de synthèse semblent très intéressantes, même si elles proposent des résultats un peu plus pauvres. Ces deux types de méthodes agrégatives ont cependant un même cadre théorique : l'aide à la décision. Le contexte de notre travail est différent. En effet, on ne souhaite pas concevoir un outil dédié à un problème décisionnel particulier, mais un outil permettant l'évaluation, le suivi et l'analyse tendancielle d'une situation environnementale relativement à la pression exercée par les transports. Il s'agit d'agrèger plusieurs indicateurs représentant différents aspects pour aider à évaluer et non pour aider à décider.

Un des enjeux théoriques est donc d'utiliser différents concepts fondateurs des méthodes d'aide multicritère à la décision pour tenter de concevoir une « aide multicritère à l'évaluation » qui permette l'agrégation.

Pour cela, nous n'excluons pas, a priori, de combiner différentes approches comme les méthodes agrégatives avec critère unique de synthèse, celles utilisées par l'indice

Atmo ou celles de type Electre, mais aussi d'autres méthodes peu ou pas utilisées dans le domaine de l'environnement (par exemple les systèmes experts).

4.3. Opérationnalisation des résultats : spécification d'un outil

Enfin, nous désirons rendre opérationnels les résultats de nos travaux en réalisant les spécifications fonctionnelles d'un outil informatique. Pour cela, nous retiendrons une démarche d'« aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement » que nous tenterons de mettre en œuvre à titre illustratif.

Un aspect de notre problématique sera ensuite d'imaginer les fonctions de l'outil qui rendront possible l'aide multicritère à l'évaluation pour notre champ d'application.

Les spécifications porteront aussi sur le moteur nécessaire à l'agrégation des « indicateurs » environnementaux.

De plus, il faudra rendre l'outil paramétrable pour qu'il puisse être utilisé par différents profils d'utilisateurs, n'ayant pas les mêmes motivations pour l'évaluation, ni les mêmes sensibilités vis-à-vis des problèmes environnementaux.

Cet outil devra aussi être évolutif pour pouvoir intégrer de nouvelles nuisances des transports sur l'environnement lors de leurs éventuelles apparitions et identifications.

La tâche de spécification de l'outil devra répondre à ces principales attentes :

- les modes d'utilisation,
- les fonctions,
- le moteur d'agrégation.

Conclusion

Le sujet de l'environnement est important et d'actualité. En effet, il est en pleine effervescence et tend à faire partie des principales préoccupations dans la mise en place des politiques de transports aux niveaux urbain, national et international. Il fait l'objet de vives discussions dans l'opinion publique mais aussi souvent de controverses. Il est enfin devenu une préoccupation des différents acteurs économiques tentant ainsi de promouvoir leur image en mettant en avant les efforts qu'ils consentent à fournir pour respecter l'environnement, mais aussi de bénéficier d'aides financières voire d'éviter des sanctions.

« Le transport est le symbole de la liberté individuelle. L'environnement est celui du bien collectif. Dès lors que le transport agit sur l'environnement, le conflit d'intérêts est inévitable. »

[Meyronneinc J.P., 1998]

Le développement des transports auquel on assiste actuellement tend à accroître le degré de liberté individuelle mais par ses répercussions sur l'environnement, à dégrader un bien collectif vital. L'activité des transports a des conséquences économiques et sociales en contre partie desquelles elle dégrade l'environnement.

L'environnement possède de nombreuses facettes et les transports ont des répercussions sur nombre d'entre elles. Or, ces multiples facettes sont hétérogènes, tant dans leur nature physique, leurs échelles temporelles et géographiques d'observation, que dans leur degré de réversibilité et de persistance.

Finalement, le domaine à l'intersection des transports et de l'environnement est très complexe. Pour réglementer et ainsi tenter de maîtriser l'évolution de ces phénomènes, les différentes instances (internationales, européennes, nationales) ont mis en vigueur un vaste panel de normes sans qu'il y ait de véritable consensus. Pour répondre à la demande actuelle concernant un développement durable des transports, il est nécessaire de permettre l'analyse d'une part des aspects sociaux et économiques des transports, et d'autre part des aspects environnementaux. Dans le cadre de la recherche d'une bonne gouvernance avec une volonté de démocratie participative (Introduction générale) des outils ou supports, synthétiques et compréhensibles par tous, sont demandés. La conception d'un outil d'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement semble pouvoir aider à répondre à certaines de ces attentes.

Mais tenter d'appréhender l'ensemble si complexe des impacts des transports sur l'environnement avec un souci de synthétisation de l'information est un objectif ambitieux. Pour essayer de contribuer à cet objectif très général, nous nous attacherons particulièrement à considérer les problèmes que soulève la synthétisation, l'agrégation de l'information.

Nous avons recensé un ensemble d'« indicateurs » du domaine de l'environnement et des transports en suivant la classification « Pression Etat Réponse » de l'AEE. Cela nous a permis de nous rendre compte que ce qui est idéal, ou souhaitable, à appréhender pour répondre à notre problématique est l'Impact des transports sur l'environnement. Or, peu d'indicateurs existent dans cette catégorie. Il est parfois possible, à partir d'indicateurs de Pression ou d'Etat, de déduire un Impact. Cela nécessite cependant, une bonne connaissance des

phénomènes et bien souvent cela fait augmenter le degré d'imprécision ou d'incertitude dans les données finales.

Les paniers d'indicateurs sont nombreux. Ils diffèrent tant dans le nombre d'indicateurs qu'ils retiennent, que dans les buts pour lesquels ils sont construits. Pas ou peu d'applications proposent une agrégation des indicateurs, sauf dans le cas particulier où l'on souhaite synthétiser l'information afin d'aider à décider : elles entrent alors dans le cadre théorique de l'« aide multicritères à la décision ».

Cependant, on ne souhaite pas, ici, concevoir un outil dédié à un seul problème décisionnel, mais un outil permettant d'aider à évaluer une ou des situations. Un enjeu théorique est donc d'utiliser les différents concepts fondateurs des méthodes d'aide multicritère à la décision pour tenter de proposer une aide à l'évaluation qui permette l'agrégation multicritère. C'est ce que nous entendons par « aide multicritère à l'évaluation ».

Avant tout, dans le chapitre suivant, nous allons donc nous interroger sur ce que peut être une « aide à l'évaluation » et en quoi cela diffère de l'« aide à la décision ».

Chapitre II : Aide à l'évaluation

Introduction du chapitre

Dans ce chapitre, nous allons nous interroger sur ce que peut être l'aide à l'évaluation. Pour mieux cerner l'évaluation et tenter de définir ce que nous entendons par « aider à évaluer », nous proposons tout d'abord de tenter de répondre à trois questions :

- section II.1 : qu'est-ce qu'évaluer ?
- section II.2 : pourquoi évaluer ?
- section II.3 : comment évaluer ?

A partir de ces éléments de réflexion, nous proposerons une façon d'envisager l'aide à l'évaluation.

De plus, dans un souci d'agréger l'information nous souhaitons par la suite utiliser certains concepts fondateurs des méthodes de l'aide multicritère à la décision. Nous tenterons donc, dans la section II.4 de comparer l'aide à l'évaluation (telle que nous l'aurons envisagée) avec l'aide à la décision. Nous essaierons de faire ressortir les différences théoriques entre ces deux approches, notamment en ce qui concerne les problématiques auxquelles elles tentent de répondre.

1. Qu'est-ce qu'évaluer ?

1.1. Définition de l'évaluation

L'évaluation est une activité humaine pratiquée dans de nombreux domaines, et même sans forcément en porter le nom. Il est en effet facile de trouver de nombreux exemples où l'homme évalue dans la vie de tous les jours. Prenons l'exemple de l'évaluation d'une distance. Il s'agit dans ce cas de l'exprimer en unité de longueur à l'aide d'un instrument de mesure précis. En revanche, pour évaluer l'ensemble des biens que possède une personne, il s'agit cette fois d'exprimer en unité monétaire l'ensemble des biens et de faire la somme de ces montants. Certains biens peuvent avoir un prix mal connu. La mesure n'a pas forcément la même précision que pour le cas de la longueur. Dans ces deux cas, le résultat de l'évaluation est un nombre.

Un autre exemple qui relève d'un comportement très fréquent est l'évaluation des risques. Cette dernière évaluation se distingue des précédentes car il n'est pas toujours possible (ni nécessaire d'ailleurs) de chiffrer le résultat de l'évaluation : « Je ne ferais pas cela, c'est trop dangereux ». De plus, deux personnes différentes peuvent appréhender le risque concernant une même situation de façon très différente selon leurs propres convictions, leurs propres valeurs et leur goût pour la prise de risque.

1.1.1. Différentes définitions

Devant la diversité des activités d'évaluation, nous proposons de nous référer tout d'abord aux définitions données par différents dictionnaires. Evaluer, c'est :

« Porter un jugement sur la valeur de »

« Calculer, chiffrer, fixer approximativement, estimer, apprécier ... »

« Déterminer une quantité par le calcul, sans recourir à la mesure directe »

On retrouve ici, les multiples facettes de l'activité d'évaluer. A la vue de ces définitions, on s'aperçoit que l'évaluation peut très bien être subjective lorsqu'on porte un jugement sur la valeur d'une chose, lorsqu'on l'apprécie. Mais elle peut tout aussi bien être objective quand il s'agit de mesurer ou de calculer une longueur par exemple. Remarquons que dans ce dernier cas, la mesure, le calcul peut être très précis et univoque ou bien il peut s'agir d'une approximation, d'une estimation. Nous sommes donc face à une activité variée, alliant objectivité ou subjectivité avec précision ou imprécision. On voit donc la difficulté de retenir et définir une méthode unique pour faire de l'évaluation.

Dans la littérature, plusieurs domaines traitent de l'évaluation, que se soit implicitement ou explicitement. Nous souhaitons dans un premier temps nous référer au domaine scolaire qui propose des définitions formelles de l'évaluation. Nous reviendrons plus loin (section III.3) sur d'autres pratiques d'évaluation.

Une des problématiques des systèmes scolaires est l'évaluation des élèves. Cela peut se traduire par l'évaluation d'une production (une copie par exemple) ou d'un ensemble de productions réalisées par un élève. Regardons comment est alors définie l'évaluation :

« Dans son acception la plus large, le terme évaluation désigne l'acte par lequel, à propos d'un événement, d'un individu ou d'un objet, on émet un jugement en se référant à un (ou plusieurs) critère(s), quels que soient par ailleurs ce(s) critère(s) et l'objet du jugement. »

[Noizet G., 1978]

Dans cette définition, Noizet élargit volontairement le cadre de l'évaluation, afin de ne pas le restreindre à l'activité scolaire. On voit apparaître plusieurs notions. La première notion est : sur quoi porte l'évaluation. Autrement dit, ce qui répond à la question « qu'évalue-t-on ? ». Choisissons d'appeler cette première notion l'« évalué » : ce qui est évalué.

Noizet nous propose comme évalué, soit un événement, soit un individu, soit un objet. Ceci n'est pas trop restrictif, car le terme objet a un sens relativement large. D'autre part, choisissons de nommer « évaluant », celui ou ce qui évalue. D'un point de vue sémantique, nous préférons le terme évaluant au terme évaluateur. Si l'on considère l'exemple de l'évaluation scolaire pour illustrer ce choix, l'évaluant des candidats au baccalauréat est l'Education Nationale qui a besoin d'évaluer pour délivrer les diplômes. Bien sur, celle-ci délègue à des représentants le soin d'évaluer en son nom. Ces représentants sont les enseignants chargés de noter ou de juger chacun une partie des aptitudes des élèves. Mais l'évaluant, celui qui définit, qui ordonne l'évaluation, qui est intéressé directement par les résultats est bien ici l'institution. Nous réservons une signification particulière au terme « évaluateur » qui sera, pour des besoins de clarté, introduit plus loin (section II.1.3.6).

Revenons à la définition de Noizet. L'évaluant n'est précisé qu'au travers du « on » (« ... on émet un jugement ... »). L'utilisation de ce pronom impersonnel confère à cette définition un caractère très général. Par ce biais, il ne restreint pas l'auteur de l'activité à une seule personne, et permet d'envisager l'évaluant comme un groupe de personnes, ou toute autre chose (une institution...). L'activité même d'évaluation est définie par Noizet comme le fait d'« émettre un jugement en se référant à un (ou plusieurs) critère(s) ... ». Le fait d'émettre un jugement coïncide bien avec une des définitions du dictionnaire. Selon Noizet, le moyen permettant d'émettre ce jugement, est de se référer à un ou plusieurs critères, c'est-à-dire que le jugement consiste finalement à retenir le ou les critères jugés pertinents par l'évaluant pour réaliser sa propre évaluation. D'ailleurs, il confirme tout de suite la liberté qu'il lui confère concernant les choix des critères en ajoutant « *quels que soient par ailleurs ce(s) critère(s)* ». Les critères retenus n'ont pas forcément besoin d'être justifiés puisqu'il s'agit là du jugement de valeur propre à l'évaluant. Enfin, il laisse aussi libre l'évaluant dans « *l'objet du jugement*. ». Il semble que ce qu'il nomme l'objet du jugement est la raison d'être de l'évaluation. Autrement dit, ce qui répond à la question « pourquoi évaluer ? ».

Intéressons nous maintenant à une seconde définition de l'évaluation qui nous est donnée par [Abernot Y., 1996] :

« L'évaluation consiste en une mesure ou une appréciation, à l'aide de critères, de l'atteinte d'objectifs ou du degré de proximité d'une production par rapport à une norme. »

[Abernot Y, 1996]

Cette définition semble différer de la précédente en plusieurs points. Nous allons tenter de voir en quoi elle rejoint la définition de Noizet, en quoi elle diffère et en quoi elle la complète.

Tout d'abord, Abernot ne fait pas allusion à l'évaluant. Il ne nous informe pas sur « qui » réalise l'évaluation. Notons que l'utilisation du pronom « on » que fait Noizet revient au même que de ne pas citer l'évaluant. Cela laisse toute ouverture sur la nature de l'évaluant. C'est donc ici un point commun.

Comme Noizet, Abernot nous parle de critères. Il semble que tout deux accordent à ce mot le même sens, mais Abernot apporte une précision supplémentaire. En effet, pour lui, les critères permettent d'apprécier l'atteinte d'objectifs. Ce qui sous-entend que les objectifs de l'évaluant doivent être explicités par une étape en amont du processus d'évaluation. Les critères servent ensuite à informer sur l'atteinte de ces objectifs. C'est une différence majeure. En effet, la définition de Noizet laisse l'évaluant choisir ces critères en fonction de son propre système de valeurs sans pour autant avoir besoin d'explicitier les motivations, les objectifs sous-jacents qui sont à l'origine de ces choix. Autrement dit, la définition d'Abernot semble imposer une étape d'explicitation du système de valeurs de l'évaluant par le biais des objectifs. Cela impose une formalisation qui, par nature, ajoute de la transparence quant aux motivations concernant les choix des critères qui serviront à l'évaluation. Cette différence est à notre sens fondamentale. Noizet laisse l'évaluant libre de choisir ses critères sans formaliser les objectifs. Abernot laisse l'évaluant libre de choisir ses objectifs. Il émet son jugement de valeur grâce à des objectifs et non grâce à des critères. Il faut ensuite choisir les critères permettant d'apprécier l'atteinte de ces objectifs. On peut imaginer que ce travail peut relever de la compétence d'un expert, assistant l'évaluant. Ce dernier pourra alors évaluer, même dans un domaine qu'il ne maîtrise pas entièrement. En effet, s'il n'a pas besoin de choisir les critères d'évaluation, mais simplement de décliner ses objectifs, il peut néanmoins conserver toute sa légitimité d'évaluant. Alors que la définition de Noizet implique que l'évaluant sait choisir, sait interpréter les critères retenus. Il sait « se référer à » ces critères pour « émettre son jugement ». L'avantage de l'approche par les objectifs semble donc double : plus de transparence et possibilité pour l'évaluant de ne pas forcément posséder une expertise du domaine concerné.

Notons ensuite que concernant l'évalué, Abernot a choisi le mot « production ». On sent bien que ce mot rappelle le domaine scolaire. Dans notre cas, ce terme semble un peu trop restrictif pour être utilisé dans une définition se voulant plus générale. Notons tout de même qu'évaluer une production n'est pas, (même dans le cas de l'évaluation scolaire), forcément ce que l'on cherche à faire. L'évalué (ce qui est évalué au travers des productions) est bien l'élève, l'individu. Les objectifs que l'évaluant possède dans son système de valeurs, concernent bien entendu l'évalué. Les productions traduisent, reflètent les caractéristiques de l'évalué (car

c'est lui qui les produit). Ce ne sont pourtant pas elles que l'on cherche à juger, mais bien l'élève.

Autre chose très intéressante dans cette seconde définition, c'est le terme « norme ». Il s'agit pour Abernot de mesurer (ou apprécier) « *le degré de proximité d'une production à une norme* ». Y a-t-il une différence fondamentale entre un critère et une norme ? En fait, il semble qu'une norme reflète l'atteinte d'un objectif commun à plusieurs systèmes de valeurs, ou plus précisément aux systèmes de valeurs de plusieurs évaluateurs. A ce titre, elle peut être assimilée à un critère permettant de mesurer ou d'apprécier l'atteinte d'un objectif. Elle est souvent le résultat d'un consensus entre plusieurs évaluateurs concernant l'objectif qu'elle reflète (exemple : une norme européenne devient commune aux différents pays européens). La norme permet, de part sa nature, la comparaison du résultat d'évaluation réalisée par ces différents évaluateurs.

Dans sa définition Abernot distingue mesurer et apprécier. Revenons sur la différence entre ces deux notions. Comme nous l'avons vu précédemment, on peut considérer que la mesure est objective tandis que l'appréciation est un jugement de valeur. L'auteur nous laisse donc la liberté d'appréhender l'atteinte des objectifs de façon objective ou subjective. Par exemple, la correction d'un questionnaire à choix multiple peut aboutir toujours à un même résultat quel que soit le correcteur (si bien sûr le barème est défini de façon précise). Cela relève donc d'une mesure assez objective. Tandis que la correction d'une copie littéraire relève beaucoup plus d'une appréciation, d'un jugement de valeur. On souhaite pourtant qu'une copie littéraire soit appréciée de la même façon par tous les enseignants, que la note de l'élève ne dépende pas de la personne qui la corrige. Mais on sait bien que cela reste très difficile car dépendant de l'appréciation personnelle de l'enseignant. Finalement, dans les deux cas, l'objectivité est souhaitée mais elle est plus aisée dans le cas du questionnaire à choix multiple que dans le cas de la production littéraire. Abernot autorise donc la subjectivité (en ajoutant le terme apprécier dans sa définition) car il est conscient que l'objectivité n'est pas toujours possible. Mais dans l'idéal, la mesure de l'atteinte des objectifs se voudrait objective. Dans l'absolu, ce n'est pas du tout à ce niveau que l'évaluateur doit introduire ses propres valeurs, son propre jugement, mais bien préalablement lors du choix des objectifs à atteindre.

Regardons maintenant comment [De Ketele J.M., 1997] définit le verbe évaluer :

« *Evaluer signifie :*

- *recueillir un ensemble d'informations suffisamment pertinentes, valides et fiables,*
- *et examiner le degré d'adéquation entre cet ensemble d'informations et un ensemble de critères adéquats aux objectifs fixés au départ ou ajustés en cours de route*

en vue de prendre une décision. »

[De Ketele J.M., 1997]

Cette dernière définition est la plus complète des trois. Le volet « recueil d'information » précise que l'activité intègre aussi la partie de recherche d'information servant à la construction des critères représentatifs d'objectifs. De

Ketele ajoute aussi que les objectifs fixés a priori peuvent être ajustés au cours du temps. Cela modifie l'activité d'évaluation et lui confère un caractère itératif. Autrement dit, on n'évalue pas une fois pour toute, mais on ajuste l'évaluation au cours du temps. On peut considérer alors l'évaluation comme un processus alternant des phases de définition d'objectifs et de recueil d'informations.

L'auteur introduit une notion supplémentaire concernant « l'objet de l'évaluation » de Noizet, le « pourquoi évaluer ? ». Noizet laissait une grande liberté sur cet objet (« ...quel que soit l'objet du jugement »). Pour De Ketele il s'agit avant tout de prendre une décision (« en vue de prendre une décision »). Pour l'auteur, identifier la prise de décision est une condition sine qua non qui permet de distinguer l'évaluation de la simple appréciation, de la recherche d'informations.

Remarquons tout d'abord qu'il existe une méthodologie multicritère d'aide à la décision qui base son approche sur l'identification de la prise de décision [Roy B., 85]. En effet, la première étape proposée par Roy s'intitule « objet de la décision et esprit de la prescription ou de la participation ». Certaines bases de cette méthodologie seront présentées plus loin (chapitre IV) afin de la comparer à notre approche.

Dans le sens de la définition d'Abernot, les décisions peuvent être par exemple :

- d'accepter le passage d'un élève à un niveau supérieur,
- de délivrer un diplôme,
- de recueillir les meilleurs éléments d'une promotion (principe du concours),
- d'ajuster le contenu du cours pour les années suivantes ...

Nous pensons qu'il est tout à fait raisonnable d'envisager l'évaluation scolaire comme une activité forcément liée à une prise de décision. Même si l'on ne peut pas trouver d'exemple où un élève serait évalué sans enjeu décisionnel, nous désirons, pour notre part, élargir le champ de l'évaluation. En effet, nous souhaitons pouvoir évaluer un système complexe, simplement pour informer ou communiquer sur l'état de ce système. Dans ce cas, nous faisons effectivement de la recherche d'information, de l'appréciation, mais nous souhaitons aussi émettre un jugement de valeur sur l'état du système. A notre sens, il s'agit donc aussi d'une activité d'évaluation, même si aucune prise de décision n'est a priori identifiée. Nous pensons qu'un tel type d'évaluation (détachée de toute décision) est d'ailleurs susceptible de faire naître de nouveaux enjeux décisionnels, qui n'auraient pas pu être identifiés auparavant.

Nous reviendrons sur les différents buts que nous accordons à l'évaluation dans le paragraphe suivant, mais nous ne souhaitons pas restreindre doré et déjà notre définition de l'évaluation à quelque chose de strictement dépendant d'une prise de décision. En ce sens nous sommes plus proche de la vision des choses de Noizet qui a d'ailleurs choisi de généraliser en s'éloignant du cadre de l'évaluation scolaire.

1.1.2. Notre définition

Tentons, à partir de ces éléments de réflexion, d'asseoir une définition de l'évaluation :

L'évaluation est un processus qui vise à quantifier et/ou qualifier un système grâce à toute information nécessaire à la construction de critères permettant d'appréhender au mieux l'atteinte de l'ensemble des objectifs concernant ce système et jugés pertinents dans le cadre d'une activité plus large mais préalablement identifiée.

Nous allons commenter cette définition en revenant sur chaque notion qu'elle contient.

Viser à qualifier et/ou quantifier un système...

Nous avons choisi d'employer le mot système dans notre définition pour laisser plus de liberté concernant la nature et le type de l'évalué. Nous pensons en effet que l'évaluation peut s'appliquer notamment à des systèmes plus complexes qu'un individu (qui l'est déjà très !), qu'une chose ou qu'un événement. Nous souhaitons, dans ce travail, appliquer l'évaluation au cas de l'environnement. L'évalué pourra alors être une partie de territoire, un ensemble géographique, qui s'apparente bien plus à un système qu'à une chose. D'un point de vue théorique, le mot système est suffisamment large pour cadrer avec les différentes méthodes d'évaluation que nous étudions. Par l'évaluation, nous visons à qualifier et/ou quantifier ce système. En effet, il nous semble que le résultat de cette évaluation peut être une ou plusieurs quantifications, une ou plusieurs qualifications, ou une composition des deux. Nous avons préféré les termes « qualifier » et « quantifier » aux termes « mesurer » et « apprécier ». En effet, une mesure est quelque chose de très précis et rigoureux mais il n'est pas toujours possible de l'obtenir selon la nature de ce qui est quantifié.

Si mesurer, c'est avant tout quantifier, l'inverse n'est pas vrai. Il est possible d'obtenir des valeurs numériques, des quantités, qui n'ont pas toutes les propriétés d'une mesure. C'est le cas par exemple des relevés de température atmosphérique. S'il fait 20°C à Marseille et 10°C à Paris peut-on affirmer qu'il fait deux fois plus chaud à Marseille qu'à Paris ? Cette assertion n'est plus vraie si l'on relève les températures en Fahrenheit. L'appréhension de la température se fait relativement à un référentiel mais le zéro de ce référentiel est conventionnel (température de solidification de l'eau). Zéro euro représente l'absence de monnaie, tandis que 0°C ne représente pas l'absence de température. De ce fait, on peut dire qu'un vêtement à 20 euros est deux fois plus cher qu'un à 10 euros tandis qu'on ne peut pas dire que 20°C est deux fois plus chaud que 10°C. Ainsi, les rapports entre valeurs, ne sont pas toujours très pertinents. Il faut donc faire attention à la nature des données que l'on manipule ainsi que ce que l'on fait de ces données. Il existe en effet, plusieurs manières de quantifier.

Le cas de l'environnement semble propice à la qualification ou la quantification de par le manque de connaissance des phénomènes, le manque de précision des données. Concernant l'évaluation scolaire, il n'est pas évident que toutes les notes soient en réalité des mesures. Si nous quantifions, nous travaillons sur des valeurs numériques dont la nature peut être plus ou moins pauvre d'un point de vue de leur

signifiante. Par exemple, la note 20/20 est-elle deux fois meilleure que la note 10/20 ? Ou encore, la note 1/20 est-elle infiniment meilleure que la note 0/20 ? Ou bien, passer de 9/20 à 11/20 est-il équivalent que de passer de 14/20 à 16/20 ? De plus, les réponses à ces questions seront certainement bien différentes si on parle d'une note résultant d'un questionnaire à choix multiple en mathématique ou d'une production littéraire.

Dans certains cas, on envisage un résultat d'évaluation qui ne soit pas numérique. Il peut en effet s'agir d'une simple qualification. Le terme « apprécier » englobe dans sa signification un certain degré de jugement de valeur. Nous pensons que le jugement de valeur est déjà présent dans notre définition quand on précise les « objectifs jugés pertinents ». Selon nous, l'évaluant choisit les objectifs pertinents selon ses propres valeurs et c'est en cela qu'il « apprécie ». Tandis que le terme « qualification » ne concerne que la forme du résultat de l'évaluation. Ce résultat peut en effet être un qualificatif concernant le système. Nous parlons ici de la nature du résultat de l'évaluation et non de la nature des informations qui ont servi à construire ce résultat. Notons qu'il est tout à fait envisageable de considérer une appréciation comme une information servant à la construction de critère. Dans le cas où l'on a retenu un seul critère servant à mesurer l'atteinte d'un seul objectif et dans le cas où l'information nécessaire pour bâtir le critère est une appréciation, alors le résultat de l'évaluation peut lui-même être cette appréciation ou tout du moins quelque chose qui lui est proche.

...grâce à toute information nécessaire à la construction de critères...

L'évaluation est basée sur le recueil d'un ensemble d'informations. Il est possible qu'une information brute puisse être considérée comme représentative d'un objectif. Souvent, les informations collectées peuvent être entachées d'imprécisions. De plus, ces informations brutes ne sont pas forcément suffisamment représentatives, interprétables pour servir directement à appréhender l'atteinte d'un objectif. Pour ces deux raisons, les informations doivent alors être traitées afin de construire des critères. Il s'agit de transformer, de regrouper, de réaliser des opérations sur ces informations brutes afin d'obtenir un critère le plus représentatif possible du point de vue ou de l'objectif qu'il est censé représenter. La différence entre l'information brute et le critère est donc la représentativité vis-à-vis d'un objectif. Le critère est représentatif alors que l'information brute, non. Le critère est finalement l'échelle retenue pour représenter un objectif, un point de vue. Formellement, nous assimilerons dans une certaine mesure ce concept de critère à celui utilisé en « aide à la décision » et présenté en section IV.1.2.

...permettant d'appréhender au mieux l'atteinte de l'ensemble des objectifs...

La représentativité d'un critère est nécessaire pour permettre d'appréhender au mieux l'atteinte de l'objectif qu'il est censé représenter. Afin d'évaluer de façon globale un système, il faut appréhender l'atteinte de l'ensemble des objectifs retenus par l'évaluant. Pourquoi « au mieux » ? Notons qu'il y a souvent une partie de subjectivité quant au choix du critère qui va représenter l'objectif. D'autre part, le choix du critère et la méthode de construction de celui-ci relèvent souvent de la connaissance d'experts, et celle-ci n'est pas forcément parfaite, elle peut être entachée d'incertitude. Cette définition confère donc au processus d'évaluation un caractère subjectif et introduit aussi la notion d'incertitude. Nous reviendrons sur

ces points dans la partie « propriétés de l'évaluation » pour voir quelles sont les façons « de faire au mieux ».

... concernant le système et jugés pertinents...

Bien sur, les objectifs que l'évaluant se doit de décliner concernent l'évalué, c'est-à-dire un système. L'évaluant est seul juge des objectifs qu'il désire retenir, de ceux qu'il considère pertinents. Il va choisir de retenir ou d'écarter des objectifs selon son propre jugement de valeurs. On voit donc ici une seconde fois apparaître la subjectivité, qui est une conséquence directe de la prise en compte des valeurs d'une personne ou d'un groupe de personne, d'un évaluateur.

...dans le cadre d'une activité plus large mais préalablement identifiée

Tout le processus d'évaluation est réalisé dans un but précis. On n'évalue pas pour rien. Or, si l'on évalue dans un but que l'on a mal identifié dès le début, il y a fort à croire que l'on risque de pratiquer une évaluation en décalage avec nos intentions premières. En conséquence, le processus d'évaluation risque d'être mal cadré, et le résultat de l'évaluation s'en retrouvera biaisé.

Pourquoi voir l'évaluation comme un « processus » ?

Selon notre définition, on voit apparaître un ensemble de tâches qui forme l'ensemble de l'activité de l'évaluation. Définir le but de l'évaluation, définir ce qui est évalué, définir celui qui évalue, définir les objectifs ... De plus, cette activité nécessite l'intervention de différents acteurs : évaluateur, experts, évalué éventuellement, personnes chargées de la récolte de l'information ... Un troisième point tend à nous faire pencher pour le terme processus d'évaluation. Il s'agit du fait que les objectifs de l'évaluateur concernant l'évalué sont susceptibles de changer au cours du temps. Cela implique que certaines tâches devront être réalisées plusieurs fois. Il s'agit d'itérer un ensemble de tâches. Dans la description suivante il sera donc nécessaire de préciser par qui et dans quel ordre ces tâches devront être réalisées.

1.2. Propriétés de l'évaluation

[Vial M., 1999] nous met en garde :

« ... chercher LA définition de l'évaluation est une entreprise vouée à l'échec (et partisane) : tous les modèles d'évaluation en donnent leur version. Il ne reste que la signification étymologique : l'évaluation comme rapport aux valeurs. A partir du moment où l'on essaie de caractériser ce rapport, on entre dans une école de l'évaluation. Ce n'est pas une définition mais le sens zéro, basique, le mot de base d'une famille sémantique que chaque modèle alimente.

Les modèles de pensée nous agissent, ils nous donnent des cadres pour concevoir l'être-au-monde. Ils ne sont pas propre à l'évaluation, mais supervisent tous les domaines des sciences humaines... »

Autrement dit, dans la définition que nous avons donnée, notre modèle d'évaluation est forcément lié à un « modèle de pensée ». Il paraît donc important de développer ce point en section II.1.2.1.

L'activité d'évaluation comporte visiblement un certain degré de subjectivité. En section II.1.2.2, nous passerons en revue certaines sources de subjectivité présentes dans le processus d'évaluation et verrons s'il est souhaitable et possible de les éviter.

Enfin, afin d'apporter un peu de clarté pour la suite, nous distinguerons en section II.1.2.3, ce qui relève des « faits » de ce qui relève des « valeurs ».

1.2.1. Modèle de pensée

D'après [Vial M., 1999], « *Les modèles de pensée nous agissent, ils nous donnent des cadres pour concevoir l'être-au-monde. Ils ne sont pas propre à l'évaluation, mais supervisent tous les domaines des sciences humaines* ». Les modèles de pensée présentés par l'auteur sont les suivants :

- Le déterminisme pose que les éléments des substances, des essences liées par la causalité. Proche du fatum, inspirée par la philosophie fataliste, du destin, elle est d'abord dans la causalité mono-linéaire (modèle de l'explication causale, évaluation des effets), puis dans la causalité pluricausale mais toujours linéaire (dite différentielle).
- le fonctionnalisme se situe dans le schéma moyen-fins. Eminemment représenté par la théorie des objectifs issue de la polémologie, avec ces cibles à détruire au nom de l'efficacité, il se donne aussi à voir dans la prise de décision rationnelle et la résolution de problème. Il s'adresse à un Homme rationnel, pour la rationalisation des pratiques.
- le structuralisme avec sa mise à jour d'invariants, voire d'universaux. Les éléments deviennent des virtualités reliées par des rapports stables dans une structure, elle, virtuelle, résultat d'une lecture analytique ; accomplissant des transformations (nommées 'fonction que la structure remplit') et s'actualisant, par une série de variations de surface, dans les pratiques sociales.
- la systémie, ne s'occupe plus de la nature des éléments mais de leurs interrelations. L'élément est l'ensemble des relations qu'il entretient aux autres éléments auxquels il est connecté. Les différents systèmes se différencient par leur plus ou moins grande ouverture mais sont toujours au service d'une fonction puis de plusieurs fonctions à remplir.
- la complexité, est un modèle fort ancien autrefois réservé aux cercles initiatiques, une gymnastique de l'esprit pour concevoir le sujet-au-monde. En tant que modèle de recherche et d'évaluation, il est en cours d'élaboration.

Face à cela, l'auteur propose ensuite une classification des modèles d'évaluation en trois catégories :

- l'évaluation-mesure (modèles historiques : explication causale, métrie, docimologie), provenant du déterminisme.
- l'évaluation-gestion (modèles contemporains : rationalisation par les objectifs – évaluation comme aide à la prise de décision – cybernétiques – systémie), découlant du fonctionnalisme, du structuralisme et de la systémie,
- l'évaluation-problématisation du sens (modèle en élaboration : systémique – dialectique – herméneutique), issue de la systémie, de la dialectique contemporaine de la psychanalyse et de l'herméneutique.

Le présent travail semble prendre place dans l'évaluation-gestion. La définition de l'évaluation retenue en section III.1.2 est en effet une approche de rationalisation par les objectifs. La distinction fin-moyens semble être une voie intéressante pour structurer les objectifs de l'évaluant et ce point sera développé dans le chapitre III. La définition retenue est donc rattachée au fonctionnalisme. Et comme le précise M. Vial, elle « s'adresse à un Homme rationnel, pour la rationalisation des pratiques ». Cependant, nous souhaitons préciser que cette rationalisation doit être prise dans le contexte d'un homme en action, en débat. En effet, nous avons identifié plusieurs types d'acteurs dont les enjeux, les objectifs peuvent différer, voire diverger. Dans le processus d'évaluation, chacun d'eux sera alors amené à être rationnel non pas uniquement par rapport à ses convictions, mais aussi par rapport à la situation de négociation, de recherche de compromis que le processus engendre.

1.2.2. Subjectivité

Dans la conclusion de son article, [Gérard J.M., 2002] met en garde en parlant de la subjectivité de l'évaluation scolaire.

« La subjectivité est donc inévitable dans tout processus d'évaluation, mais elle est aussi indispensable. Subjectivité, oui ... mais arbitraire, non ! »
[Gérard J.M., 2002]

Nous pensons pour notre part que l'évaluation se décompose en deux volets. Le premier volet concerne l'ensemble des « connaissances partagées ». Ce premier volet n'est pas entamé de subjectivité puisqu'il s'agit de connaissances connues et reconnues. Le second volet est le « jugement » émis concernant le « sens » donné à ces connaissances ainsi que la « valeur » qu'on leur attache, ce qui est purement subjectif.

Nous allons maintenant étudier le point de vue de l'auteur. Il part de la définition de [De Ketele J.M., 1997] qui fait référence dans le domaine et que nous avons citée précédemment. Pour Gérard, cinq sources d' « *inévitabilité et indispensable subjectivité* » sont présentes dans le processus d'évaluation.

Gérard nous dit que la première subjectivité intervient dans « le choix du type de décision et de l'objectif de l'évaluation ». N'oublions pas que pour De Ketele, l'évaluation prépare une prise de décision. L'auteur écrit « *qu'il y a toujours quelque part quelqu'un qui choisit le type d'objectif que doit poursuivre l'évaluation et que ce choix va orienter le processus d'évaluation. Première inévitable et indispensable subjectivité* ». Il paraît tout à fait raisonnable de partager ce point de vue. En effet, s'il n'y a pas de motivation à l'évaluation, l'évaluation n'a pas lieu d'être. Si à l'inverse, l'évaluant veut évaluer pour telle ou telle raison, tel ou tel but, il fait un choix purement subjectif qui conditionne évidemment le processus d'évaluation. Mais l'évaluant est l'acteur directement intéressé par le résultat de l'évaluation et ses motivations sont l'unique raison d'être de l'évaluation. Autrement dit, s'il l'on désire évaluer, c'est que l'on a une bonne raison de le faire. Si l'on n'a pas de bonnes raisons alors il n'y a pas à évaluer. Et cette 'bonne raison' (ce que nous avons appelé précédemment le but de

l'évaluation) est forcément subjective, car elle est personnelle à l'évaluant. Refuser cette première subjectivité c'est finalement refuser toute type d'évaluation.

Pour Gérard, la seconde source de subjectivité est « *le choix des critères* ». L'évaluant choisit lui-même les critères qui vont servir à évaluer. Bien sur, ceci est aussi complètement subjectif. Cela relève directement du système de valeurs de l'évaluant. Dans notre approche, cette subjectivité est celle du choix des objectifs retenus par l'évaluant. L'évaluant, guidé par son système de valeurs, juge en choisissant les objectifs qu'il désire prendre en compte pour évaluer. C'est bien une seconde source de subjectivité inévitable et surtout nécessaire. Car sans objectifs, il n'y a pas de critère d'évaluation et donc il n'est pas possible d'évaluer. A l'inverse, prendre en compte de façon exhaustive tous les objectifs possibles et imaginables paraît difficile. Même dangereux selon Jean Cardinet :

« ... pour y arriver (à l'objectivité de l'évaluation), il faudrait une exhaustivité des objectifs, des critères, des indicateurs, ... Les conséquences sociales seraient dès lors inacceptables, car une telle évaluation déboucherait sur une standardisation extrême. 'Le flou des échelles d'appréciation est le jeu de l'engrenage pour éviter que la machine ne se bloque' (Perrenoud, 1984). »
[Cardinet J., 1992].

Donc le choix des objectifs par l'évaluant est un « jugement de valeur » qui est par définition subjectif. Il est non seulement inévitable, mais surtout indispensable au processus d'évaluation.

La troisième source de subjectivité est selon l'auteur « le choix des indicateurs ». Il entend par indicateurs, « *les faits, que l'on peut constater, et les représentations, c'est-à-dire ce que les personnes pensent, ce qu'elles disent.* ». Effectivement, le choix de la donnée que l'on va observer et retenir pour représenter le critère possède une part de subjectivité, puisqu'il s'agit de juger de la représentativité et donc du sens du critère. Nous pensons cependant que cette subjectivité est de nature différente des précédentes. En effet, si les deux premiers types de subjectivités sont inévitables et même nécessaires, celle-ci est différente. Elle semble être parfois évitable. Dans le cas où le critère est une information appartenant à l'ensemble de la « connaissance partagée », il ne s'agit plus alors de subjectivité. Si ce n'est pas le cas, on peut envisager alors l'information comme provenant d'un avis d'expert jugeant de la pertinence de l'information par rapport au critère. Il s'agit alors de subjectivité mais qui n'est plus du ressort de l'évaluant. Pour nous, ce troisième type de subjectivité est lié à un jugement de valeur mais il est dans certains cas évitable. Si on ne peut l'éviter, ce jugement est alors du ressort d'une personne compétente à l'émettre, du ressort d'un expert, qui n'est pas forcément l'évaluant.

Quatrième subjectivité : « *le choix de la stratégie.* » Gérard entend par stratégie : la méthode retenue pour la recherche de l'information. C'est en effet très caractéristique du domaine scolaire de s'interroger sur la méthode de recueil d'informations tant elles sont nombreuses. Effectivement, il paraît subjectif de choisir telle méthode plutôt que telle autre. Cependant, comme dans le cas précédent, il nous semble abusif de considérer cette subjectivité comme inévitable

et indispensable. Les méthodes de récolte d'informations peuvent faire partie intégrante de l'ensemble des connaissances partagées.

Enfin, l'auteur aborde la subjectivité due à « *l'examen de l'adéquation entre indicateurs et critères, ou la question du sens.* » Effectivement, cette question est cruciale. C'est toute la représentativité de l'information retenue pour la construction d'un critère qui est en jeu ici. Effectivement une grande part de subjectif est alors introduit ici, car il s'agit de juger de la représentativité. Notons que le jugement de la pertinence d'une information par rapport à un critère se fait en même temps que le jugement de la représentativité d'une information, puisqu'il s'agit de retenir les informations (ou indicateurs) à associer au critère. Ce choix doit tenir compte à la fois de la pertinence, de la représentativité et de la disponibilité. Nous sommes en accord avec l'auteur sur la forte présence de subjectivité à ce niveau. Nous n'irons pas jusqu'à dire que cette subjectivité est nécessaire, mais en revanche elle nous semble très difficilement évitable.

Nous ajouterons trois derniers volets concernant le subjectif de l'évaluation. Bien sur, l'information recueillie (ce que l'auteur appelle les indicateurs) doit avoir une signification pour le critère qu'elle représente. Mais le critère en lui-même doit être représentatif de l'objectif. L'examen de l'adéquation entre critère et objectif est à notre sens tout aussi important qu'entre information (indicateur) et critère.

De plus, la nature même de l'information devant représenter les critères peut être le résultat d'une autre évaluation, donc d'un jugement de valeurs. Prenons l'exemple de l'évaluation d'un élève afin de décider de l'attribution éventuelle d'un diplôme. Le jury va utiliser les informations, les indicateurs, que sont les notes obtenues dans les différentes matières. Certaines notes peuvent provenir d'une évaluation subjective, (comme pour les matières littéraires ou artistiques), ayant auparavant été attribuées par un enseignant de la matière (un expert). En ce sens, l'information, la note artistique, utilisée par l'évaluant, jury, est déjà un jugement de valeur. Cette subjectivité est tout à fait acceptable si l'évaluant en est conscient, s'il sait qu'il délègue une partie de son travail de jugement à un expert. Enfin, nous allons aborder l'imprécision de l'information. A notre sens, c'est une source supplémentaire de subjectivité faisant partie de celle que l'on désire éviter. Plus la précision est possible, plus l'évaluation gagne en objectivité. Pour évaluer une longueur, on peut tomber d'accord sur l'étalon servant à la mesure de cette longueur et trouver un résultat invariant au cours du temps, invariant selon la personne réalisant la mesure. Plus l'imprécision est forte plus il est nécessaire d'avoir recours à la subjectivité : si l'on manque de moyens pour mesurer et que l'on est obligé d'avoir recours à une appréciation (évaluation d'une distance à vue d'œil) alors l'imprécision est plus forte et une grande part de subjectivité risque d'être introduite dans l'évaluation. Cette subjectivité est due notamment à la personne réalisant l'évaluation et à son aptitude à appréhender les distances, aux conditions dans laquelle l'évaluation a lieu (luminosité, ...).

Finalement, la subjectivité est fortement présente dans l'évaluation. Elle est même nécessaire à l'évaluation. Cependant, il semble possible et important de la limiter tant que faire ce peut. Bien sûr, l'évaluant doit émettre un jugement de valeur afin de définir son évaluation, notamment dans le choix du but de l'évaluation, et dans

le choix des objectifs concernant l'évalué. De plus, certaines informations sont subjectives par nature. Dans ces cas, la subjectivité est indispensable. En revanche, elle doit si possible être évitée concernant la représentativité des critères, le choix de l'information à récolter, la méthode de récolte d'information, la précision de l'information. Pour cela, il faut faire appel dès que nécessaire à l'expertise de personnes compétentes dans le domaine en question, sauf dans le cas où l'évaluant a toutes compétences. On voit bien que la subjectivité dépend donc du degré de la « connaissance partagée ». Tout ce qui ne fait pas partie de la connaissance partagée fait nécessairement appel à une part de subjectivité liée aux différents choix que l'on fait.

En conclusion, la subjectivité est toujours présente dans l'évaluation. Elle est nécessaire pour certaines étapes. Sans avoir besoin de se justifier, l'évaluant doit tout de même s'attacher à mettre en avant, à définir précisément, ses choix subjectifs, ses prises de positions, ses jugements de valeurs, qui sont à l'origine du sens même de l'évaluation. C'est la transparence de l'évaluation qui en dépend. En revanche la subjectivité est à éviter dans d'autres étapes du processus. Mais comme elle est parfois inéluctable par manque de connaissance, il faut alors prendre beaucoup de précautions, expliquer et justifier au mieux les choix que l'on réalise. C'est cette fois la qualité de l'évaluation qui en dépend.

1.2.3. Faits et Valeurs

Nous souhaitons faire la distinction dans ce paragraphe entre ce qui relève des faits et ce qui relève des valeurs.

Nous entendons pas « fait », l'ensemble des observations, des données, des informations, des connaissances de phénomènes, des productions, qui vont servir à l'évaluation d'un système.

Il semble y avoir deux types de faits :

- les faits partagés,
- les faits potentiellement partagés.

Les « faits partagés » sont les faits pour lesquels il existe un réel consensus concernant leur fiabilité, leur crédibilité, leur précision. Par exemple, un relevé de température atmosphérique réalisé selon un protocole connu (sous abri, à une heure bien précise) est une donnée pour laquelle il existe un certain consensus concernant sa fiabilité, sa précision et sa signification. On peut difficilement remettre en cause une telle information. Il s'agit d'un fait partagé.

Un « fait potentiellement partagé » est au contraire un fait qui ne fait pas l'unanimité. On peut par exemple considérer une note attribuée à une production littéraire par un correcteur. Pour de nombreuses raisons, il est possible que la note obtenue par l'élève avec ce correcteur ayant ses propres sensibilités, appartenant à tel groupe de copie, placé à tel position dans la pile, dans le contexte bien précis de l'interrogation, ait été différente dans d'autres conditions. Or ces conditions ne sont pas forcément explicitées, ni prises en compte lors de l'appréciation du résultat de l'élève. Ce fait est donc de nature différente de celle du relevé de

température. Sa fiabilité et son degré de précision sont tout à fait discutables. En ce sens, ce fait est potentiellement partagé.

Par nature, les « valeurs » font appel au système de valeurs de la personne qui évalue. Il s'agit pour nous d'un jugement concernant un fait qui peut dépendre de trois choses :

- la crédibilité du fait,
- la pertinence ou représentativité du fait,
- l'importance que l'on confère à ce qu'il représente.

Il semble assez raisonnable de considérer les « faits partagés » comme crédibles. Cependant, un fait est rarement complètement irréfutable. La personne qui évalue est donc à même de juger un fait peu crédible même s'il va ainsi à l'encontre d'une certaine unanimité. Ceci est encore plus vrai quand il s'agit de faits potentiellement partagés, pour lesquels les arguments de réfutation sont plus aisés à avancer. On peut par exemple, notamment pour les raisons évoquées précédemment, remettre en cause la crédibilité de la note d'une production littéraire.

D'autre part, on peut aussi remettre en cause la représentativité d'un fait. Autrement dit, on peut croire qu'une note de philosophie, aussi crédible qu'elle soit, n'est pas forcément représentative des aptitudes d'un élève dans ce domaine. En effet, on peut juger peu crédible d'appréhender le niveau de philosophie d'un élève sur une simple note. C'est le choix du fait en tant que représentant de la valeur qui est ici remis en question.

L'autre point permettant d'attribuer une valeur à un fait est l'importance qu'on lui confère, et cela sans considération de la crédibilité qu'on lui accorde. Une personne peut en effet juger important le fait d'avoir des bonnes notes en philosophie, tandis qu'une autre peu important, et cela dans l'absolu. Ces considérations n'ont rien à voir avec la crédibilité que l'on accorde à la notation d'une production, mais bien à la valeur, l'importance que l'on accorde à ce que représente la philosophie en elle-même.

Voici un exemple illustrant cela. Une personne souhaite évaluer le climat d'une ville qu'elle voudrait visiter. Elle dispose pour cela, d'un relevé de température effectué quelques jours auparavant à midi heure locale. Elle peut considérer ce relevé, ce fait, comme peu fiable car elle ne connaît pas toutes les conditions dans lesquelles il a été réalisé (sous abri ou non). Il s'agit donc d'un fait potentiellement partagé. Cependant, elle le juge crédible, car elle pense qu'il y a peu d'écart entre les relevés sous abri et les autres. En revanche, elle trouve qu'un seul relevé n'est peut-être pas très représentatif du climat de la ville (taux d'humidité...). Cela ne l'empêche pas d'apporter une très grande importance au climat des villes qu'elle visite.

Cette personne va donc se constituer sa propre valeur concernant les relevés de températures dont elle dispose en tenant compte de :

- la crédibilité : ici assez forte,
- la représentativité : ici assez faible,
- l'importance : ici très forte.

Un des intérêts de concevoir l'évaluation comme un processus (section III.1.1.2) est de permettre l'itération entre des étapes de définitions et déclinaisons de valeurs et des étapes de sélections et récoltes de faits. En effet, la distinction entre faits et valeurs semble apporter de la transparence à l'évaluation. Cela permet notamment d'identifier les différents rôles des acteurs du processus.

1.3. Concepts

Nous avons tenté de définir l'évaluation. Afin de poursuivre notre travail visant à élaborer une méthode d'évaluation, nous souhaitons préciser certaines notions, qui seront à la base de notre approche.

1.3.1. Contexte

Nous appellerons contexte, l'activité plus large dans laquelle s'insère le processus d'évaluation.

1.3.2. Évaluant

Rappelons notre définition de l'évaluant : c'est celui ou ce qui évalue. L'évaluant est celui qui est directement intéressé par le résultat de l'évaluation, celui pour qui l'évaluation est nécessaire. Il participe à l'activité d'évaluation. Il s'agit donc d'un acteur du processus d'évaluation. Il est parfois possible d'envisager l'évaluant comme un groupe d'acteurs. Cela correspond notamment au cas où le résultat de l'évaluation intéresse plusieurs personnes. Celles-ci font alors partie intégrante du processus d'évaluation.

1.3.3. Évalué

L'évalué est ce qui est évalué, ce sur quoi porte l'évaluation. Nous avons employé le mot système dans notre définition pour laisser plus de liberté concernant la nature, le type de l'évalué. Notons que l'évalué peut très bien être un acteur du processus d'évaluation, dans le sens où il participe pleinement à l'activité d'évaluation. Si l'on prend l'exemple de l'évaluation scolaire, l'évalué est l'élève. Il participe, par les réponses qu'il donne, par les productions qu'il fournit au processus d'évaluation. Prenons maintenant l'exemple de l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement. Bien sur, on ne peut pas dire que l'environnement est un acteur du processus d'évaluation, car il ne participe pas à l'activité. En revanche, si l'on considère l'environnement au sens large, en incluant l'homme dans le système évalué, alors l'ensemble des personnes affectées par les différents impacts des transports sont des acteurs potentiels du processus d'évaluation. Il sera en effet possible, voire nécessaire de prendre en compte leurs impressions (exemple : beauté du paysage), leurs ressentis (exemple : gêne, stress) afin de réaliser l'évaluation des différents impacts des transports sur la situation environnementale. En ce sens, selon sa nature, le système évalué nécessite d'étendre l'ensemble des acteurs du processus d'évaluation.

1.3.4. But

Nous nommerons but de l'évaluation, les motivations de l'évaluation, ce qui répond à « pourquoi évaluer ? ». Cela correspond à l'« objet » de [Noizet G., 1978]. Nous préférons but à objet. En effet, nous pensons que ce dernier mot risque d'être confondu avec l'évalué, s'il est pris dans le sens « l'objet de l'évaluation, l'objet qui est évalué ».

1.3.5. Etat du système

L'état du système est l'ensemble des « faits » (section II.1.2.3), des caractéristiques que possède le système au moment où on l'observe, où on l'évalue. Notons que ces caractéristiques ne sont pas toujours observables. Elles peuvent alors être le résultat de prévisions. De plus, toutes ces caractéristiques ne sont pas forcément connues, ni même identifiées par l'évaluant, selon la complexité du système et le niveau de connaissance que l'on en a.

1.3.6. Evalueur

Nous proposons ensuite de définir l'évaluateur comme ce qui rend compte de l'état du système, ce qui renseigne sur un ou plusieurs « faits », une ou plusieurs caractéristiques du système.

Dans le langage courant, l'évaluateur représente souvent une personne physique. Par exemple, il est parfois nécessaire de faire appel à une autre personne, un expert, un enseignant, pour émettre un avis, un jugement de valeur, et ainsi contribuer à l'évaluation de l'élève par l'Education Nationale. Ces experts sont à part entière des acteurs du processus d'évaluation, en tant qu'évaluateurs.

Dans notre contexte, nous souhaitons élargir le sens du mot évaluateur. L'évaluateur est pour nous, ce qui produit la note, la prévision ou le résultat de l'expertise, le jugement de valeur. L'évaluateur est la source de l'information à proprement dit. Cette information peut provenir du jugement d'un acteur. Dans d'autres cas, une caractéristique peut être appréhendée de façon objective et univoque par quiconque. C'est l'exemple de la mesure d'une longueur. L'appareil de mesure est alors l'évaluateur, le résultat de la mesure (la longueur en question) est la caractéristique.

1.3.7. Objectif

Un objectif est ici défini comme un aspect de l'état du système jugé important par l'évaluant. On peut facilement concevoir que l'évaluant possède sa propre idée, plus ou moins précise de ce qu'est un bon système. A défaut, il possède au moins un ensemble d'objectifs concernant l'état de ce système. C'est ce à quoi nous nous intéressons.

1.3.8. Critère et performance

Un critère est une fonction visant à transformer et/ou résumer sur une échelle, l'information contenue dans une ou plusieurs caractéristiques du système afin d'appréhender au mieux l'atteinte d'un objectif.

La performance du système sur un critère est alors la valeur prise par le système sur l'échelle du critère en question.

Un critère doit être suffisamment pertinent pour permettre de contribuer à l'évaluation de l'évalué par l'évaluant. La différence entre critère et caractéristique réside dans la représentativité. La caractéristique n'est pas forcément représentative tandis que le critère doit permettre d'appréhender l'atteinte de l'objectif auquel il est associé.

Selon ces différents concepts, le processus d'évaluation est alors l'activité qui, dans un certain contexte, et pour un but préalablement identifié, réside en la mesure de la performance de l'évalué sur les critères représentatifs des objectifs que possède l'évaluant concernant l'état du système.

2. Pourquoi évaluer ?

Dans cette section, nous allons présenter certaines activités qui, de façon plus ou moins explicite, pratiquent l'évaluation. A cette occasion nous tenterons, sur des exemples simples, d'illustrer les différents concepts présentés précédemment. Finalement, nous retiendrons un ensemble de motivations pouvant justifier la mise en place d'un processus d'évaluation.

2.1. Evaluation scolaire

Depuis bien des années, l'homme est confronté au problème de l'évaluation scolaire. Qu'il s'agisse d'attribuer des notes, de donner des appréciations, ou encore d'évaluer implicitement des élèves de façon plus générale. Pour ce faire, les méthodes utilisées sont diverses. On a vu que l'évaluation scolaire est souvent envisagée comme la mesure de l'atteinte d'un ensemble d'objectifs. Par ces définitions, une étape préalable à la mesure de l'atteinte des objectifs est nécessaire : celle de la définition des objectifs qui conduit naturellement à l'élaboration d'un programme scolaire. Part sa nature, l'évaluation scolaire ne peut pas se baser sur l'observation ou la mesure physique de phénomènes. Nous allons voir les pratiques permettant d'évaluer scolairement (donc de mesurer l'atteinte des objectifs d'un programme).

Définir les objectifs pour élaborer un programme

L'évaluation scolaire est intrinsèquement liée aux objectifs qui ont été préalablement fixés par l'équipe chargée de l'évaluation. Une typologie des objectifs en trois catégories est généralement proposée [Abernot Y., 1996].

Les objectifs de fins représentent les grandes orientations du programme scolaire, tant sociales que philosophiques et finalement politiques. Prenons pour exemple, le cas de l'objectif de fin « savoir compter »

Viennent ensuite *les objectifs généraux* qui sont de portée plus restreinte que les précédents. Ils concernent les capacités, les aptitudes ou opérations mentales des élèves. On distingue dans cette catégorie, trois sous-ensembles. Les objectifs cognitifs (savoir, savoir-faire ...), socio-affectifs (goût d'apprendre, sociabilité ...) et psychomoteurs (réflexes, aptitudes perceptives, habilité, créativité ...). Les objectifs de ces trois catégories ne peuvent cependant pas être développés indépendamment les uns des autres. Pour notre objectif de fin « savoir compter », un objectif général (ici cognitif) pourra être « savoir additionner ».

Enfin, *les objectifs opérationnels* constituent précisément ce sur quoi porte l'enseignement. Dans notre exemple « savoir compter », un objectif opérationnel peut être « savoir faire la somme de deux entiers naturels, par écrit, seul, et de manière à obtenir huit fois sur dix un résultat correct ».

La formulation d'un objectif opérationnel passe par la précision de cinq points [De Landsheere, 1979] :

- Qui produira le comportement souhaité ?
- Quel comportement observable démontrera que l'objectif est atteint ?
- Quel sera le produit de ce comportement (performance) ?
- Dans quelles conditions ce comportement aura-t-il lieu ?
- Quel critère servira à déterminer si le produit est satisfaisant ?

Remarquons que les trois types d'objectifs (de fins, généraux, opérationnels) forment un continuum [Abernot Y.,1996] en cela que les moins universels parmi les objectifs de fin sont très proches des objectifs généraux les plus élevés. Et de même, les plus élémentaires parmi les objectifs généraux peuvent être mis directement sous forme opérationnelle. En décrivant tour à tour l'ensemble de ces d'objectifs, il est alors possible de définir un programme scolaire. La mesure de l'atteinte des objectifs d'un programme est possible grâce au suivi des objectifs opérationnels, comme étant ceux de plus bas niveau.

Les méthodes permettant de mesurer l'atteinte des objectifs d'un programme scolaire sont très spécifiques au monde de l'enseignement, et en ce sens, ne sont pas applicables dans bien des domaines, comme celui de l'environnement par exemple. En effet, dans l'évaluation scolaire, l'évalué est bien souvent l'élève. Elève que l'on peut interroger, questionner, soumettre à des épreuves orales ou écrites... Les résultats ainsi observés sont donc conditionnés. En répondant, l'élève nous donne une image de son état, de son niveau de connaissance ou de compréhension. Mais c'est pourtant le seul moyen de tenter d'appréhender le niveau d'atteinte des objectifs le concernant. Tentons maintenant, sur l'exemple du baccalauréat, d'illustrer les concepts introduits précédemment.

Contexte : politique de l'éducation nationale

Évaluant : éducation nationale

Évalué : élève

But : attribuer ou non le baccalauréat

Objectifs : vérifier l'acquis général de l'élève dans les différentes matières

Caractéristiques : ensemble des notes obtenues, rattrapages éventuels

Critère : moyenne des notes obtenues

Contexte : épreuve du baccalauréat
Évaluant : enseignant en mathématiques
Évalué : copie de mathématique anonyme
But : attribuer une note tout en respectant barème et consignes nationales
Objectifs : exactitude des réponses, compréhension, esprit d'analyse...
Caractéristiques : résultats, lisibilité, raisonnements, aberrations...
Critère : somme des points obtenus à chaque question.

Contexte : épreuve du baccalauréat
Évaluant : enseignant en philosophie
Évalué : copie de philosophie anonyme
But : attribuer une note tout en respectant barème et consignes nationales
Objectifs : compréhension du sujet, maîtrise d'un acquis, originalité
Caractéristiques : présence de plan, d'arguments, de citations, ...
Critère : note à l'appréciation générale.

Nous voyons sur cet exemple que l'évaluation d'une copie par un enseignant est une activité qui peut varier selon la matière en question. En effet, suivre un barème en mathématique n'est pas du même ordre qu'apprécier une copie de philosophie. La seconde remarque concerne l'attribution ou non du baccalauréat. Cette évaluation utilise le résultat d'autres évaluations que sont les différentes notes obtenues par le candidat. Ici, l'évaluant délègue à différentes personnes une partie de son travail. On notera que le processus d'évaluation peut donc être composé lui-même de plusieurs sous processus d'évaluation.

2.2. Contrôle de gestion

Toujours dans l'optique de recenser différents avantages à l'évaluation, nous allons étudier brièvement l'activité de contrôle de gestion qui englobe plusieurs disciplines. Nous allons regarder particulièrement les aspects de pilotage et de contrôle d'un secteur d'activité d'une entreprise. Nous nous intéresserons aussi à l'outil permettant de mener à bien ces deux activités : le tableau de bord. Pour [Leroy M., 1998], le pilotage consiste à :

- *Etablir un système d'objectifs cohérents et convergents*
- *Suivre la réalisation de ces objectifs*
- *Analyser les écarts observés.*

Pour [Echard S., 1992], le contrôle est :

- *La mesure ou l'observation d'un critère,*
- *La comparaison de ce résultat à une référence.*

Le contrôleur de gestion est amené à utiliser différents tableaux de bords dans son activité. Pour Echard, il existe deux types de tableaux de bord :

- *Tableau de bord de fonctionnement,*
- *Tableau de bord de résultat.*

Les tableaux de bords de fonctionnement n'informent pas sur la qualité de la conduite, la qualité de la politique d'entreprise, mais sert principalement à vérifier certains points jugés cruciaux. A ce titre, les tableaux de bord de fonctionnement exercent un rôle de contrôle ou d'alerte. Le second type de tableaux de bord permet de comparer

les résultats aux objectifs initialement prévus. En ce sens, les tableaux de bord de résultats servent au pilotage tel que l'a défini Leroy.

[Leroy M., 1998] décrit les tableaux de bord de l'entreprise comme suit :

- *Outils de mesure des performances par rapports à des objectifs,*
- *Outils de diagnostic, révélateur de points faibles,*
- *Outils de dialogue et de réactivité entre les différents niveaux hiérarchiques, permettant de réviser les objectifs,*
- *Outils permettant d'informer sur les performances obtenues, de motiver les responsables,*
- *Outils de perfectionnement des cadres.*

Pour lui, un bon tableau de bord doit répondre aux exigences suivantes :

- *Simple (au plus 15 indicateurs),*
- *Pertinent,*
- *Synoptique (vue d'ensemble des éléments importants),*
- *Pédagogique,*
- *Personnalisé,*
- *Proactif (aidant à anticiper les événements),*
- *Rapide (court délai d'édition).*

2.3. Diagnostic

Le mot diagnostic évoque assez intuitivement la médecine. Le domaine médical tente en effet, par le biais de ses praticiens, d'établir des diagnostics concernant l'état de santé de patients. Mais les diagnostics sont présents dans bien d'autres activités humaines. Le mot diagnostic provient du grec « *diagnôsticos* », qui signifie apte à discerner. Si l'on se réfère à la définition du Dictionnaire Encyclopédique Hachette de 1980, ce mot signifie :

« Évaluation d'une situation donnée, jugement porté sur telle conjoncture ou tel ensemble de circonstances. »

Etablir un diagnostic est donc une activité qui relève de l'évaluation. On voit dans cette définition que la notion d'évaluation est une fois de plus assimilée à la notion de jugement de valeur. Ici, la définition précise l'objet de l'évaluation : une situation donnée, une conjoncture ou un ensemble de circonstances. Le diagnostic est donc une forme d'évaluation qui est tout à fait compatible avec la définition que nous en avons donnée. Tentons donc de décliner l'exemple du diagnostic médical selon les concepts introduits précédents.

Contexte : consultation médicale.

Évaluateur : médecin.

Évalué : patient.

But : prescrire un traitement le plus adapté possible à la pathologie du patient ou bien préconiser des examens plus approfondis.

Objectifs : les diverses facettes de la santé du patient.

Caractéristiques : ensemble des caractéristiques directement observables par le praticien et ensemble des déclarations du patient concernant son propre état.

Critère : concordance ou non de l'ensemble de ces caractéristiques avec les symptômes de pathologies connues par le praticien.

Il semble pertinent de s'intéresser à ce qui a incité le patient à consulter un médecin. En effet, on peut considérer que toute personne vivant dans une société qui met en permanence à sa disposition un système médical est alors en perpétuelle évaluation. Si cette personne est autonome, elle va alors à chaque instant évaluer son propre état de santé, avec les moyens dont elle dispose, et le cas échéant, choisir d'aller consulter un médecin.

Contexte : vie courante.

Évaluant : individu.

Évalué : lui même.

But : conserver un bon état de santé.

Objectifs : anticiper l'apparition de pathologie et le besoin ou non de traitement.

Caractéristiques : impressions, douleurs, observations du corps, température...

Critère : appréciation générale de l'état de santé.

Ce dernier exemple ne relève pas d'un diagnostic à proprement dit, mais plutôt d'une sorte d'autoévaluation permanente. En effet, la personne reste sans cesse à l'écoute d'indications provenant du fonctionnement de son corps. Cela ressemble au suivi d'un tableau de bord permettant de donner l'alerte en cas de dysfonctionnement ou d'apparition de symptômes jugés anormaux. S'ouvre alors à lui un nouvel enjeu décisionnel : l'individu choisit ou non de faire appel à un diagnostic médical.

2.4. Évaluation environnementale

Les différentes pratiques de l'évaluation ne sont jamais réalisées sans intention particulière, sans but précis. Le but de l'évaluation (qui répond au « pourquoi évalue-t-on ? », l'« objet du jugement » de Noizet) n'est pas toujours explicité. Cependant, il semble que l'on n'évalue pas sans raison. Les buts sont ceux de l'évaluant, celui qui est directement intéressé par l'évaluation. Intéressons nous maintenant, à ce que nous dit Dominique Voynet, ancien Ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement :

« L'évaluation n'est pas l'annexe d'une politique, elle en fait intégralement partie : elle suppose de définir explicitement, dès le début : des objectifs, des paramètres de suivi, des échéances de contrôle voire de correction, et pour ce faire, d'ouvrir la concertation à tous les partenaires concernés. »

[Voynet D., 1999]

Un premier but pour l'évaluation semble donc de réaliser un suivi ou un contrôle. Voynet nous conseille d'ouvrir la concertation à tous les partenaires concernés par l'évaluation. Regardons ensuite ce que propose l'Agenda 21 concernant l'évaluation appliquée au développement durable :

« Élaborer des indicateurs du développement durable afin qu'ils constituent une base utile pour la prise de décisions à tous les niveaux et contribuent à la durabilité autorégulatrice des systèmes intégrés de l'environnement et du développement »

[ONU, 1992]

Nous voyons ici que l'Agenda 21 conçoit l'évaluation (de l'environnement et du développement) comme une activité suffisamment générale pour permettre de contribuer aux prises de décisions, et cela à plusieurs niveaux. Il est sous-entendu que les décisions peuvent être de nature différentes, et non identifiées a priori. De plus, nous pouvons considérer que « la durabilité autorégulatrice des systèmes intégrés » fait référence à un processus d'évaluation qui, par ses itérations, permettrait d'appréhender, de contrôler, et finalement de maîtriser l'évolution du système. L'agenda 21 ajoute :

« Il faudrait que toutes les collectivités locales instaurent le dialogue avec les habitants, les organisations locales et les entreprises privées afin d'adopter un programme Action 21 à l'échelon de la collectivité. La concertation et la recherche d'un consensus permettraient aux collectivités locales de s'instruire au contact des habitants et des associations locales, civiques, communautaires, commerciales et industrielles et d'obtenir les informations nécessaires à l'élaboration des stratégies les plus appropriées. Grâce au processus de concertation, les ménages prendraient davantage conscience des questions liées au développement durable. Les programmes, les orientations et les dispositions législatives et réglementaires appliquées par les collectivités locales pour réaliser les objectifs d'Action 21 seraient évalués et modifiés en fonction des programmes d'action 21 adoptés à l'échelon local. Les stratégies pourraient également servir à appuyer des projets de financement local, national, régional et international. »

[ONU, 1992]

Il s'agit ici d'instaurer le dialogue, d'aider à la concertation, de rechercher un consensus, d'instruire, d'informer, de faire prendre conscience. L'ONU précise que ces enjeux se situent dans les activités d'information, d'évaluation et d'apprentissage collectif. La notion d'aide à la concertation est ici vue comme un but de l'évaluation, contrairement à l'approche de Voynet, qui considère la concertation comme un moyen nécessaire à une bonne évaluation.

Brodhag conclut un article en faisant le constat suivant (toujours concernant le développement durable) :

« Des outils d'évaluation sur des critères objectifs en matière économique, environnemental et social, et la définition de référentiels permettant des comparaisons sont nécessaires. Mais au cœur de la décision dans le jeu complexe des acteurs locaux, des outils facilitant la négociation, la révélation des préférences, l'appropriation des enjeux par l'ensemble des participants, l'identification des faiblesses et des lacunes doivent être mis au cœur du processus de décision. Dans le cadre d'un processus d'amélioration continue et de la dimension cognitive du jeu multiacteurs qui doit faire émerger une stratégie partagée, ces outils doivent être pédagogiques et permettre l'enrichissement des projets de façon à mettre en œuvre des stratégies multiplément gagnantes. »

[Brodhag C., Davoine P., 2000]

Remarquons tout d'abord que les trois domaines concernés par l'évaluation sont ici les domaines économique, social, et environnemental. Ils correspondent naturellement

aux trois préoccupations du développement durable. Ce qui est intéressant, c'est que [Brodhag C., Davoine P., 2000] expriment un besoin en terme d'outil d'évaluation. Ils exigent d'ailleurs une objectivité concernant les critères permettant d'évaluer. Les auteurs parlent ensuite de définir des référentiels permettant des comparaisons. Puis ils nous avertissent de la complexité du problème compte tenu de la diversité des acteurs impliqués dans le processus. Ici aussi, l'évaluation semble motivée par la décision. Cependant, ils insistent sur la nécessité de rendre l'outil pédagogique (appropriation des enjeux) et sur le fait que l'outil doit faciliter la négociation, la révélation des préférences, l'identification des faiblesses et des lacunes. Nous pensons pour notre part qu'il est envisageable de viser ces buts même en dehors d'un contexte décisionnel.

2.5. Bilan des fonctions de l'aide à l'évaluation

Face à tout cela, quelles sont les motivations à la mise en place d'un processus d'évaluation que nous pouvons retenir ? A partir d'un ensemble d'objectifs prédéfinis, d'un référentiel, les buts de l'évaluation d'un système peuvent être finalement de :

- faire le constat, le diagnostic de l'état d'un système,
- communiquer avec transparence sur l'état d'un système,
- instaurer le dialogue et aider à la concertation,
- faciliter la négociation concernant les objectifs à retenir,
- sur une base commune d'objectifs, comparer un système avec un autre,
- réaliser le suivi de l'évolution d'un système au cours du temps,
- contrôler les dérives par rapport aux objectifs,
- identifier les faiblesses d'un système,
- alerter,
- révéler certains problèmes,
- faire apparaître de nouveaux enjeux décisionnels,
- prévoir l'évolution de l'état du système,
- anticiper les conséquences de certaines prises de décisions,
- comparer plusieurs scénarii.

Un vaste ensemble d'objectifs ressortent de l'évaluation d'un système. C'est donc tout ou partie de ces objectifs auxquels peut contribuer un processus d'évaluation.

3. Comment évaluer ?

Après avoir défini l'évaluation et recensé les différentes facettes pouvant motiver cette activité nous allons, dans cette section, tenter de décrire le processus d'évaluation. Nous pensons tout d'abord, qu'il est important d'identifier les différents acteurs intervenant dans ce processus. Puis nous décrirons le processus en lui-même et le rôle de chacun des acteurs dans les différentes étapes de ce processus. Nous proposerons ensuite un schéma pour le représenter.

3.1. Acteurs

Dans cette section, nous allons présenter les différents acteurs qui interviennent dans un processus d'évaluation. D'après [Roy B., Bouyssou D., 1993] un acteur du processus de décision peut être défini comme « *un individu ou un groupe d'individus qui, par son système de valeur, influence directement la décision, que ce soit au premier degré du fait de ses interventions ou au second degré par la manière dont il fait intervenir ceux d'autres individus* ».

Par analogie, intéressons nous aux individus ou groupes d'individus influençant directement l'évaluation.

3.1.1. L'évaluant

Comme nous l'avons défini, l'évaluant est celui ou ce qui évalue. L'évaluant est celui ou ceux qui sont donc directement intéressés par le résultat de l'évaluation, ceux pour qui l'évaluation est nécessaire. Ils participent activement au processus d'évaluation (déclinaison de valeurs, consultation de résultats...) et sont donc des acteurs.

3.1.2. L'évalué

L'évalué est défini comme un système. Il fait l'objet de l'évaluation, ce sur quoi l'évaluation porte. Cependant, il n'est pas rare que l'on cherche à évaluer les caractéristiques (aptitudes, connaissances...), d'une personne, d'un groupe de personnes (salariés d'une société ...), ou plus généralement, d'un système dont les caractéristiques dépendent (ne serait-ce qu'en partie) d'individus. Dans ces cas, ces personnes sont acteurs à part entière du processus d'évaluation. En effet, leurs comportements, leurs passés, leurs productions, leurs dires, influencent l'état du système évalué. Il semble doré et déjà important de bien définir les frontières de ce système.

3.1.3. Les experts

A plusieurs reprises, nous avons parlé de l'intervention d'experts. Ces personnes peuvent souvent être amenées à participer au processus d'évaluation, notamment dans le cas où l'évaluant ne dispose pas de toutes les connaissances ou de toutes les compétences pour réaliser entièrement l'évaluation. Ces experts sont alors acteurs du processus d'évaluation.

3.1.4. Les hommes d'étude

Les hommes d'études sont des personnes qui vont tenter d'organiser le processus d'aide à l'évaluation. Ils vont être les interlocuteurs des différents acteurs entrant dans le processus. Ce sont eux par exemple qui vont tenter de présenter la méthodologie d'aide à l'évaluation et ses différentes étapes, de recueillir les valeurs des évaluants, d'instaurer un langage commun de communication entre les évaluants et les experts... Nous pensons qu'au titre de ces participations, ils ne sont pas neutres et qu'ils doivent donc être considérés comme des acteurs à proprement dit du processus.

3.1.5. Les personnes extérieures

Certains résultats d'évaluations peuvent être diffusés a posteriori à des personnes complètement en dehors du processus d'évaluation. Par exemple, lorsque l'on rend publics les résultats du baccalauréat, quiconque peut consulter ces résultats. Cet exemple reste volontairement simpliste, mais dans des cas plus ambigus, ces personnes peuvent être directement intéressées par le résultat de l'évaluation même si elles se retrouvent en quelque sorte sur le fait accompli. On peut penser alors que ces personnes n'interviennent pas dans le processus d'évaluation puisque celui-ci est révolu. Nous croyons cependant qu'elles peuvent influencer indirectement le processus d'évaluation si des acteurs (évaluant, évalué, experts) savent dès le début que les résultats seront diffusés. A ce titre, nous ne considérons pas ces personnes comme des acteurs à proprement dit, mais comme des acteurs indirects.

3.2. Processus d'aide à l'évaluation

Compte tenu de la façon dont nous avons défini l'évaluation, nous allons tenter de décrire le processus d'aide à l'évaluation (schéma 3.3) grâce à plusieurs étapes que nous allons passer en revue dans cette section. Nous précisons les acteurs sollicités pour chacune d'elles. On peut d'ores et déjà remarquer que les hommes d'étude seront amenés à suivre chacune de ces étapes et sont donc à ce titre des acteurs tout au long du processus d'aide à l'évaluation.

3.2.1. Définir le système évalué

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe III.3.1.2, il semble important de définir les frontières du système évalué. C'est donc assez naturellement que cette étape apparaît comme la première : avant toute chose, il est important d'identifier et de définir précisément ce que l'on cherche à évaluer. Cette étape sollicite l'évaluant. Il s'agit de discerner ce qui fait partie intégrante de ce que l'on cherche à évaluer, de ce qui ne le fait pas.

3.2.2. Décliner un système de valeurs à travers des objectifs

La seconde étape nécessaire à l'aide à l'évaluation consiste à décliner un système de valeurs à travers un ensemble d'objectifs. Cette étape est cruciale car c'est elle

qui va permettre de construire le référentiel qui va servir à l'évaluation. Elle fait bien entendu appel à l'évaluant. C'est en effet le système de valeurs de l'évaluant qui doit être décliné pour servir de référentiel. Les objectifs représentent les préoccupations de l'évaluant concernant l'état du système évalué. Notons que cette étape peut très bien être réalisée plusieurs fois au cours du processus. En effet, le système de valeurs de l'évaluant peut être amené à évoluer au cours du temps. Si des modifications sont apportées à l'ensemble des objectifs a posteriori, cela peut avoir des conséquences sur la suite du processus : il est donc parfois nécessaire de réitérer les étapes suivantes.

3.2.3. Sélectionner les critères mesurant l'atteinte des objectifs

Une fois les objectifs établis, il s'agit de sélectionner les critères permettant d'apprécier leur atteinte. Pour cela, l'évaluant peut choisir d'utiliser un ensemble d'informations faisant partie des « faits » comme introduit dans la section II.1.2.3. Cependant, dans certains cas, l'évaluant doit faire appel à des experts qui sont plus à même de choisir les données à utiliser, les critères à retenir pour représenter les objectifs ou « valeurs ». Bien entendu, les experts ne doivent pas remettre en cause le bien fondé de l'objectif à représenter. S'il est difficile de trouver un critère parfaitement représentatif de l'objectif, l'expert peut proposer un ou plusieurs critères dont la signification se rapproche du mieux possible de celle de l'objectif. Dans ce cas, une légère concession sur le choix de la valeur à prendre en compte peut être envisagée de la part de l'évaluant. L'évaluant revient alors dans sa phase de déclinaison du système de valeurs à travers des objectifs. Finalement, les deux acteurs de cette seconde phase sont l'évaluant et les experts, qui doivent travailler en interaction car l'évaluant doit faire un effort sémantique concernant la définition des objectifs retenus et l'expert doit lui tenter de s'approcher au plus de ces définitions grâce aux critères.

3.2.4. Evaluer les performances sur les critères

Il s'agit ensuite d'appréhender la performance de l'évalué sur les différents critères. Cela peut se faire, par le biais de récolte d'information, grâce à des observations, des résultats de mesures physiques ou autre. Notons que c'est parfois l'évalué lui même qui produit le résultat servant à appréhender l'atteinte de l'objectif. Il est alors acteur dans cette étape. Mais dans la majorité des cas, c'est l'évaluant ou l'expert (selon le degré de connaissance de l'évaluant) qui tente de mesurer la performance de l'évalué sur un critère.

3.2.5. Consulter les résultats de l'évaluation

Enfin, la consultation des résultats est faite par l'évaluant ou a posteriori par des personnes extérieures au processus d'évaluation. Bien sur, certaines évaluations ne nécessitent pas d'agrèger les données quand il n'y en a pas trop, ou quand il n'y pas trop d'objectifs. Cependant, il est souvent nécessaire de synthétiser l'information pour permettre une meilleure lecture des résultats. Plusieurs façons d'agrèger les données seront présentées plus loin et nous en retiendrons particulièrement une dans le chapitre V.

3.3. Schéma

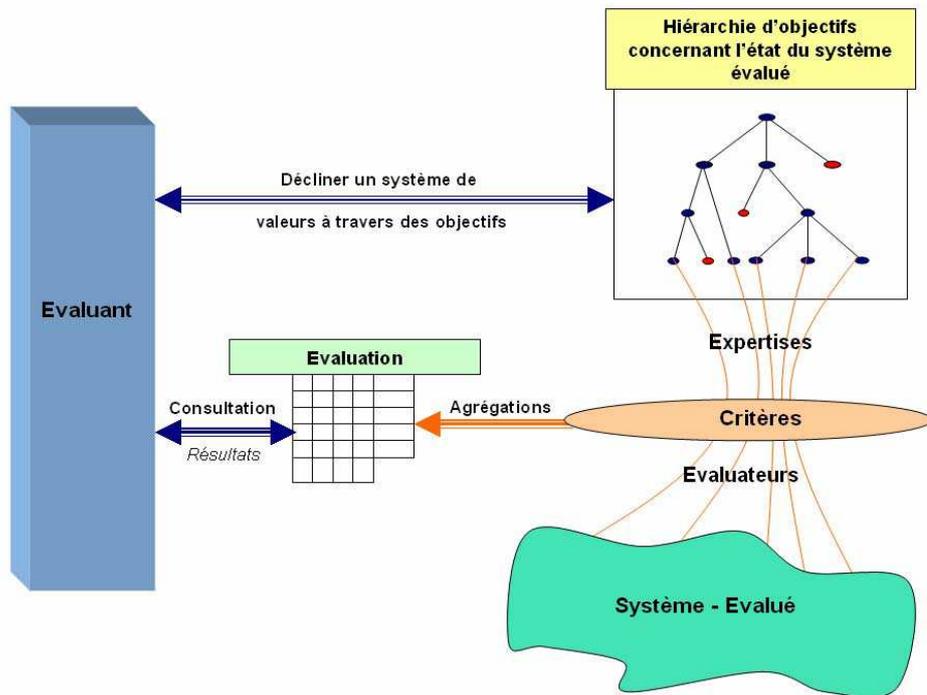


Schéma II.3.3 : Le processus d'aide à l'évaluation

Le schéma II.3.3 représente le processus d'aide à l'évaluation. L'évaluant décline son système de valeurs à travers une hiérarchie d'objectifs. Les experts tentent de mettre en relation chacun des objectifs retenus avec un critère qui est construit à partir d'informations issues d'observations ou de mesures des caractéristiques du système évalué. L'information contenue dans les critères est ensuite agrégée et produit ainsi un résultat consultable par l'évaluant.

4. Différences entre l'aide à la décision et l'aide à l'évaluation

Les principales méthodes d'agrégation multicritère ont été développées pour faire de l'aide à la décision. Les préoccupations de ce cadre théorique sont de mettre en avant la ou les meilleures décisions à prendre parmi celles identifiées et cela par rapport aux préférences des décideurs. Mais notre problématique est différente. On ne se préoccupe pas des décisions possibles. Il s'agit d'évaluer une ou des situations environnementales relativement à un ensemble d'objectifs concernant l'état environnemental. Cela soulève certaines questions.

En premier lieu, nous présenterons l'aide à la décision de façon générale, en introduisant certains concepts de cette théorie. Nous verrons comment on peut aider un décideur à appréhender un problème décisionnel, autrement dit, comment l'aide à la décision peut contribuer à éclairer un décideur. Pour cela, nous passerons en revue les différentes problématiques auxquelles les décideurs peuvent être confrontés.

Pour répondre à ces différentes problématiques, une étape nécessaire est d'évaluer les décisions envisagées. Dans la seconde section de cette partie, nous verrons en quoi consiste l'évaluation d'une décision en aide à la décision.

Enfin, nous verrons dans quelle mesure les problématiques de l'aide à la décision se rapprochent de la nôtre, visant à aider à évaluer.

4.1. Les problématiques de l'aide multicritère à la décision

Le but de ce paragraphe est de rappeler ce que signifie aider un acteur à prendre une décision. Pour cela, nous avons besoin d'introduire certains concepts de la théorie d'aide à la décision [Roy B., Bouyssou D., 1993]. Nous ne reprendrons pas ici toutes les facettes de l'aide à la décision. Il existe en effet, beaucoup de littérature concernant ce sujet et nous approfondirons les concepts dont nous avons besoin pour nos travaux tout au long du chapitre IV.

Le premier concept introduit ici est celui de l'« action » ou de l'« alternative ». Face à une situation donnée, un état du système, un décideur dispose de plusieurs options possibles, plusieurs décisions envisageables, qui auront chacune un impact sur l'état du système et modifieront l'ensemble de ses caractéristiques. Chacune de ces options possibles constitue une action ou une alternative. Ces actions peuvent être une à une exclusives, ou au contraire, compatibles.

Face à cela, l'aide à la décision peut être envisagée de plusieurs façons. La nature du problème, la « problématique », peut en effet varier légèrement. Si l'on est face au cas où le décideur doit choisir une action parmi toutes celles possibles (exemple : choix d'un tracé autoroutier), le problème n'est pas le même que si l'on peut choisir plusieurs actions (exemple : définir un programme de recherche à partir d'un ensemble de projets possibles). Le décideur peut en effet s'intéresser uniquement à la ou les meilleures actions (problématique de la sélection) ou bien au contraire vouloir établir un ordre de toutes les actions pour identifier autant les meilleurs que les moyennes, que les moins bonnes (problématique du rangement). Une troisième façon d'envisager d'aider un décideur est la classification. Cela consiste à classer les actions en les affectant chacune à une catégorie, une classe. Chaque classe a une signification par rapport au problème de décision (exemple : pour un problème de choix de candidats : catégorie des candidats irrecevables, catégorie des candidats admissibles, candidats admis ...). C'est la problématique de « tri », que l'on appelle « classement » quand il n'existe pas de relation d'ordre entre les catégories. Enfin, le décideur peut choisir de se contenter d'une simple description de l'ensemble des actions, notamment quand le nombre des actions n'est pas trop élevé. C'est la quatrième problématique, celle de la description.

On distingue donc les quatre problématiques suivantes :

- de la sélection : mettre en avant la ou les meilleures actions pour aider à choisir l'action la plus intéressante aux yeux du décideur,
- de rangement : ranger toutes les actions de l'ensemble A selon un ordre de préférence (ou préordre),
- de tri : affecter chacune des actions à une des catégories prédéfinies,

- de la description : lister les performances des différentes actions selon chaque point de vue jugé pertinent.

Pour essayer répondre à ces quatre problématiques, il est nécessaire d'évaluer les différentes décisions possibles. Nous allons voir en quoi consiste ce type d'évaluation.

4.2. Evaluer une décision

Ici, évaluer une des décisions possibles revient à évaluer une action. Quelle que soit la problématique retenue, il s'agit d'essayer d'appréhender, pour chacune des actions les effets qu'elle va avoir sur l'état du système. En d'autres termes, c'est essayer de caractériser le changement d'état que va provoquer l'action. C'est-à-dire, la différence qu'il y aura entre l'état initial du système (ou état de référence) avec l'état final du système (après exécution de l'action). Bien sûr, on va restreindre l'étude de ces changements d'états à l'ensemble des points de vue qui importent aux yeux du décideur. On laissera de côté les conséquences qui ne l'intéressent pas. En ce sens, évaluer une action, c'est évaluer les changements d'états que provoque l'action et faisant partie des préoccupations du décideur. Remarquons que dans la plupart des cas, ces variations sont en fait estimées car les conséquences des actions ne sont pas forcément connues préalablement. Il s'agit souvent de prévisions.

Introduisons maintenant le concept de « critère » pris dans le sens des auteurs [Roy B., Bouyssou D., 1993]. Un critère est une échelle servant à représenter un point de vue qui importe aux yeux du décideur. Il permet la comparaison de deux actions selon le point de vue qu'il représente. Bien des précautions sont prises pour s'assurer de la cohérence entre le choix des différents points de vue à prendre en compte pour l'évaluation et le système de valeurs du décideur. Tout point de vue permettant de discerner deux actions au sens de la préférence du décideur, doit être représenté par un critère (exhaustivité). L'ensemble des critères retenus doit tant que possible vérifier d'autres bonnes propriétés (cohésion, non redondance, certaines formes d'indépendances).

En aide multicritère à la décision, le système de valeurs du décideur est révélé par le biais de son appréciation des conséquences des actions sur l'état du système. Le décideur possède dans son système de valeurs, des objectifs qui lui sont propres. Il n'est pas nécessaire de les lui faire révéler pour mener à bien une étude d'aide à la décision, car beaucoup de précautions sont prises pour vérifier la conformité des choix de la modélisation (quel critère retenir ou écarter, quel sens de variation des préférences sur ce critère, d'éventuels seuils d'indifférence, de préférence...). Il s'agit, pour les hommes chargés de l'étude de prendre en compte dans la modélisation tout ce qui permet la distinction de deux actions aux yeux du décideur. C'est le décideur qui se charge intuitivement, par les réponses qu'il fournit aux hommes d'études, de rester cohérent avec ses propres objectifs, son propre système de valeurs.

4.3. Différences avec l'aide à l'évaluation

Notons avant tout, les travaux de [Keeney R.L., 1992] qui abordent les problèmes d'aide à la décision en s'intéressant en premier lieu aux objectifs. Nous trouvons cette

approche très pertinente pour des raisons que nous exposerons plus tard (section III.1.3) et à ce titre nous lui consacrerons le chapitre III.

Dans le reste de la littérature, l'aide à la décision ne commence qu'assez rarement une étude en s'intéressant directement aux objectifs. En effet, elle s'intéresse tout d'abord aux actions [Roy B., 1985]. Bien sur, les critères sont ensuite choisis afin de refléter au mieux les préférences du décideur (restreintes au domaine d'étude) concernant l'évolution d'un état du système. Ils ne sont pas directement censés refléter les préférences concernant l'état du système à proprement dit, mais concernant un changement d'état.

Le schéma II.4.3 tente de représenter le processus d'aide à la décision pour le comparer avec le processus d'aide à l'évaluation (schéma II.3.3) : en aide à la décision, on n'explique pas directement la hiérarchie d'objectifs. D'autre part, ce qui est appréhendé pour construire les critères sont les performances des actions et non les caractéristiques du système. Notons aussi que la phase de « consultation / résultats » peut, selon la méthode d'agrégation utilisée et la forme du résultat auquel elle conduit, s'avérer assez complexe. On parle de formulation de recommandations. Il peut s'agir, en effet, d'exploiter une information assez difficile à interpréter directement.

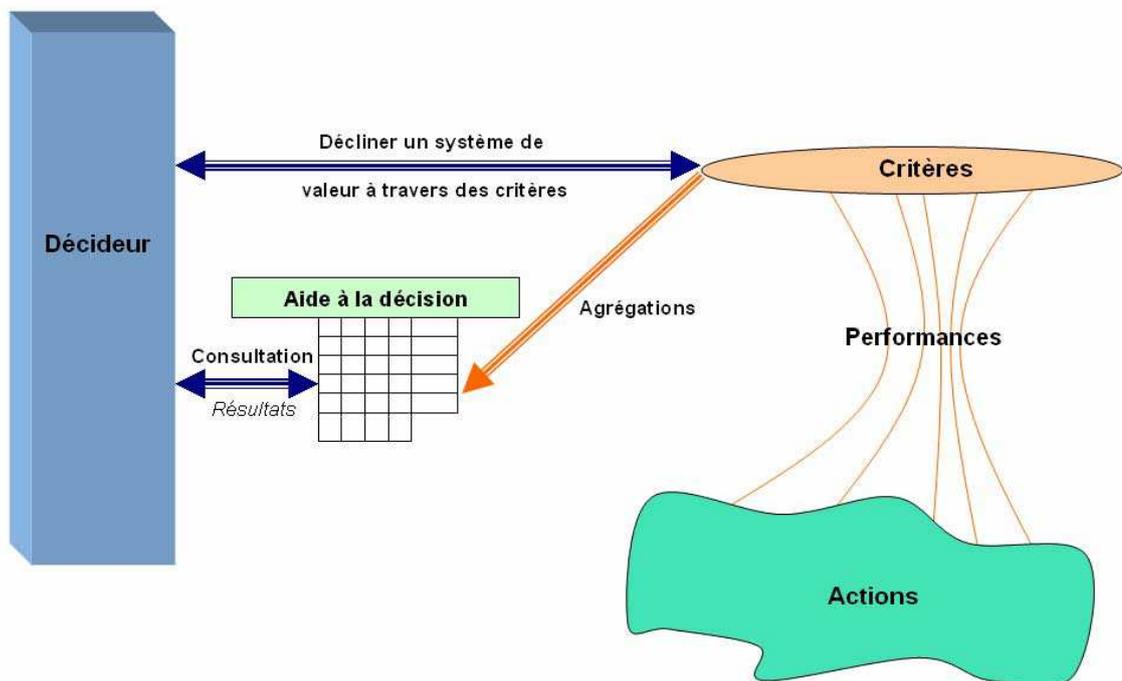


Schéma II.4.3 : Processus d'aide à la décision

Remarquons que l'existence des critères dépend forcément des objectifs d'état du décideur, même si ceux-ci ne sont pas explicités dans une étude d'aide à la décision.

Dans un contexte décisionnel préalablement identifié, il existe peut-être une bijection entre la famille de critères au sens de l'aide à la décision et les objectifs concernant l'état du système au sens de l'aide à l'évaluation. Si l'on est capable de prévoir les conséquences des actions sur un état initial du système, on est aussi capable de prévoir un état final pour chacune des actions. Si l'on est capable de comparer entre eux chacun de ces états finaux par rapport aux objectifs du décideur, on est finalement capable de comparer indirectement entre elles toutes les actions. Fixons un état initial pour le système. Définissons un ensemble d'actions dont les conséquences sont connues (ou prévues). Associons à chaque action, un état final qui est le résultat de l'application de l'action sur l'état initial. Si la modélisation des critères et celle des objectifs sont parfaitement fidèles au système de valeurs du décideur (hypothèse forte), le résultat de la comparaison des états finaux par rapport aux objectifs doit être le même que celui de la comparaison des actions par rapport aux critères. Connaissant les objectifs d'un décideur, ne peut-on pas déduire une famille de critères reflétant les préférences de ce décideur et permettant la comparaison des actions entre elles ?

Sans aller jusque là, on peut envisager de transposer les problématiques d'aide multicritère à la décision en remplaçant simplement le mot « action » par « système » et le mot « critère » par « objectif ». Voyons alors à quoi correspondent les quatre problématiques présentées précédemment.

Pour la problématique de sélection il s'agira de faire ressortir la ou les meilleures situations relativement aux objectifs du décideur concernant l'état du système. Ceci ne correspond pas parfaitement à ce que nous désirons mettre en œuvre ici. En effet, l'intérêt de cette problématique est de permettre d'y voir plus clair quand on a un grand nombre de situations, or nous nous intéressons aussi au cas où on a peu de situations, voire une seule. D'autre part, si une situation ne figure pas parmi les meilleures de l'ensemble étudié, nous désirons tout de même savoir comment elle se situe par rapport aux autres. Ce dernier point est une des caractéristiques des méthodes répondant à la problématique de rangement. Cette seconde problématique se rapproche de nos préoccupations mais reste intéressante surtout dans le cas où l'on a un grand nombre de situations à comparer. Un autre inconvénient pour ces deux problématiques est que l'évaluation des situations se réalise relativement aux autres situations. Il s'agit d'évaluations relatives. En conséquence, une situation peut très bien être la meilleure d'un ensemble de situations, tout en étant mauvaise dans l'absolu.

Les deux dernières problématiques semblent plus pertinentes pour répondre à nos ambitions. En effet, la problématique de tri convient très bien à l'étude d'une seule situation, mais aussi à l'étude d'un nombre plus grand de situations. Cependant, le choix du nombre de classes est doré et déjà identifié comme crucial. Si le nombre de classes est trop faible, il sera alors difficile d'évaluer avec précision la ou les situations. Si à l'inverse, le nombre de classes est trop important, alors la signification de chacune d'elle sera à remettre en question. Malgré ces risques, un atout majeur de la problématique de tri est que l'on n'évalue pas les situations par rapport à d'autres situations, mais par rapport à des classes, qui peuvent refléter les attentes du décideur concernant ses propres objectifs. Enfin, la problématique de la description permettrait de répondre à nos préoccupations en cela qu'elle informe sur l'état de la situation. En revanche, cette problématique ne synthétise pas suffisamment l'information lorsqu'on est face à un ensemble d'objectifs trop important et trop hétérogène.

En définitive, la problématique de tri et la problématique de la description sont celles qui se rapprochent le plus de ce que nous désirons réaliser en aide à l'évaluation, appliquée dans notre cas à l'impact des transports sur l'environnement. Ces deux problématiques nous aideront d'ailleurs à définir celle que nous retiendrons finalement pour notre application en section V.1.2.

Conclusion du chapitre

Nous avons tenté de définir l'aide à l'évaluation comme un processus dont les étapes, qui font intervenir différents acteurs, sont les suivantes :

- définir le système à évaluer,
- décliner un système de valeurs à travers des objectifs,
- sélectionner les critères mesurant l'atteinte des objectifs,
- évaluer les performances sur les critères,
- consulter les résultats de l'évaluation.

Après avoir défini le système faisant l'objet de l'évaluation, il s'agit de décliner le système de valeurs de la personne réalisant l'évaluation à travers des objectifs (seconde étape). Comment faire pour révéler puis structurer ces objectifs ? Nous allons consacrer le chapitre III pour essayer de répondre à cette question en faisant principalement référence aux travaux de [Keeney R.L., 1992].

Ne perdons pas de vue que notre travail concerne la conception d'un outil permettant d'appréhender l'impact des transports sur l'environnement. La diversité des nuisances, l'hétérogénéité de la nature des données qui représentent ces nuisances, la diversité des échelles d'observation (spatiales et temporelles), le besoin d'une information synthétique, font que l'outil ne pourra pas se passer d'utiliser une méthode d'agrégation multicritère. Nous avons vu que deux problématiques de l'aide à la décision sont assez proches de la nôtre : la problématique du tri et celle de la description.

Cependant, dans quelle mesure peut-on utiliser certains concepts des méthodes multicritères d'aide à la décision pour évaluer une situation de façon synthétique ou agrégée ?

Pour essayer de répondre à cette question, nous allons rappeler (chapitre IV) certains concepts d'aide à la décision en insistant sur la problématique du tri, qui, contrairement à la problématique de la description, dispose de procédures d'agrégation multicritère.

Le chapitre V tentera ensuite de proposer, par des choix méthodologiques, une façon d'envisager l'aide multicritère à l'évaluation dans le domaine de l'environnement et les transports en vue d'une application concrète.

Chapitre III : Structuration des objectifs

Introduction du chapitre

Dans ce chapitre, nous souhaitons contribuer à la seconde étape identifiée dans notre processus d'évaluation : la déclinaison d'un système de valeurs grâce à des objectifs.

Cette idée n'est pas nouvelle : elle avait été proposée pour la rationalisation des choix budgétaires par [Gastaut G., Maugard A., Agard J. & al, 1970].

[Keeney R.L., 1992] propose une manière d'aborder un problème décisionnel en réfléchissant tout d'abord sur les valeurs du décideur.

Dans la section III.1, seront présentés certains concepts introduits par Keeney, puis les particularités de cette approche en aide à la décision, en aide à l'évaluation (définie dans le chapitre II) et enfin, pour notre contexte applicatif.

Ensuite, une application de la structuration des objectifs concernant l'environnement et les transports sera réalisée grâce à une série d'entretiens exploratoires. L'objectif de cette application est double :

- pratiquer la méthode de structure des objectifs pour vérifier sa faisabilité,
- utiliser les résultats de ces interviews à titre d'exemple dans notre application.

Ces interviews seront présentées dans la section III.2.

La troisième et dernière section de ce chapitre (III.3) tentera de montrer comment on peut exploiter dans ce travail les résultats de ces entretiens.

1. Approche par les valeurs

Dans la littérature sur les méthodes d'aide à la décision, nous allons nous intéresser particulièrement aux travaux de [Keeney R.L., 1992]. Dans son « Value-focused thinking » l'auteur propose une approche des problèmes d'aide à la décision en se focalisant sur les valeurs du (ou des) décideur(s). Cette approche s'appuie sur la déclinaison des objectifs reflétant le système de valeurs du décideur. Or, dans la section II.3.2 « Processus d'aide à l'évaluation », nous avons décrit une étape qui consiste à décliner un système de valeurs à travers des objectifs. C'est en cela que la démarche de l'auteur nous intéresse. Dans cette partie, nous nous attacherons donc tout d'abord à présenter le principe sous-jacent à l'approche de Keeney. Nous verrons ensuite les différents types d'objectifs que Keeney distingue et les relations qui existent entre eux. Nous présenterons ainsi la méthode de structuration des objectifs proposée pour appréhender le système de valeurs du décideur. Enfin, nous verrons les propriétés de cette approche lorsqu'elle est utilisée en aide à la décision, dans le cadre de l'aide à l'évaluation que nous proposons, ou pour le projet PIE (Cf. Introduction générale).

1.1. Principe

Si l'on traduit « value-focused thinking » de manière littérale, cela donne « la pensée focalisée sur les valeurs ». Dans son ouvrage, Keeney oppose cela à une façon de penser bien plus classique en aide à la décision, qu'il appelle « alternative-focused thinking », autrement dit « la pensée focalisée sur les alternatives ». Il faut entendre ici, le mot « alternative », comme une action, décision possible. Avant que le décideur ne commence à s'intéresser aux diverses alternatives qui s'offrent à lui, Keeney lui propose de faire tout d'abord le bilan de ses propres valeurs concernant le contexte décisionnel devant lequel il se trouve, en faisant abstraction des décisions possibles. Ce n'est que dans une étape ultérieure que les alternatives seront analysées.

Il semble donc y avoir deux tendances extrêmes pour approcher un problème de décision : la première consistant à aborder le problème par les valeurs, l'autre par les alternatives. Keeney fait une première différence entre ces deux approches :

« Value-focused thinking essentially consists of two activities: first deciding what you want and then figuring out how to get it. In the more usual approach, which I refer to as alternative-focused thinking, you first figure out what alternatives are available and then choose the best of the lot. »
[Keeney R.L., 1992]

Dans la pratique, il s'agit souvent d'une utilisation conjointe de ces deux approches, à des degrés variables. Il est vrai que le plus souvent, en aide à la décision, le travail s'oriente dès le début vers l'analyse des alternatives. Même si celles-ci ne sont pas tout de suite évaluées, elles sont très vite recensées ou, à défaut, le type de décision (ou alternative) est lui très vite identifié. C'est généralement après ce travail que l'on s'intéresse aux valeurs du décideur. Il va, par exemple, être amené à décliner un ensemble de critères (financier, sociologique, géographique) permettant de comparer les différents projets routiers. Bien entendu, le choix de ces critères peut très bien refléter avec finesse le système de valeurs du décideur. Mais si on ne s'intéresse pas aux valeurs du décideur en amont de l'analyse des alternatives, jamais dans l'étude le système de valeurs du décideur ne sera explicité. Il sera bien sûr pris en compte tout au

long du processus d'aide à la décision, notamment dans les choix de modélisation, mais ne sera pas nettement identifié. Il faudrait, pour cerner ce système de valeurs, savoir interpréter les différents choix de modélisation (comme le choix des critères et autres paramètres) ce qui n'est pas sans risque d'erreur.

Voyons maintenant comment l'auteur propose d'approcher les valeurs d'un décideur en tentant de structurer ses objectifs.

1.2. Les objectifs

Cette section fera principalement référence à [Keeney R.L., 1992] pour présenter différentes notions concernant les objectifs. A cette occasion les concepts de l'auteur (dont les travaux s'inscrivent en aide à la décision) et ceux définis en aide à l'évaluation seront comparés afin de cerner le degré de compatibilité de ces deux approches.

Keeney définit un objectif comme suit :

« An objective is the statement of something that one desires to achieve. It is characterized by two features: a decision context, an object and a direction of preferences. »

[Keeney R.L., 1992]

Selon lui, un objectif est donc quelque chose d'essentiel que l'on désire atteindre et qui se caractérise par :

- un contexte décisionnel,
- un objet,
- une direction de préférence.

Pour illustrer cela, prenons l'exemple du contexte décisionnel suivant : « la gestion du trafic routier ». Un objet peut alors être « les encombrements du trafic » pour lequel on peut avoir la direction de préférence : « limiter ». Dans le contexte de gestion du trafic routier, un objectif est alors de limiter les encombrements du trafic.

Pour Keeney, un objectif concerne les décisions possibles. Pour une décision envisagée, l'objectif est qu'elle « limite » les encombrements du trafic routier. On s'intéresse ici aux décisions et à leurs conséquences sur le trafic routier. On peut alors considérer le trafic routier comme un système. Ce système possède un ensemble de caractéristiques qui peuvent éventuellement être en partie modifiées par des décisions. En aide à la décision, ce sont ces modifications, ces conséquences que l'on souhaite évaluer.

Le « contexte décisionnel » reste suffisamment large pour ne pas ni identifier a priori toutes les décisions possibles ni écarter d'emblée un ensemble de décisions, mais il précise cependant le champ d'action du décideur. En ce sens, on peut tout à fait rapprocher cette notion de « contexte décisionnel » avec notre notion de « contexte » en évaluation qui signifie, l'activité plus large dans laquelle s'insère le processus d'évaluation.

L'« objet » de Keeney est une des préoccupations du décideur concernant le contexte décisionnel. L'« objet », les encombrements dans notre exemple, désigne donc un des aspects du trafic routier, un sous-ensemble des caractéristiques du « système » trafic routier qui importe aux yeux du décideur. En ce sens, la définition de Keeney est compatible avec notre définition d'un objectif (section II.1.3.7).

Le verbe « limiter » qui indique ici la direction de préférence connote l'action, la décision. Ainsi, on préférera une action, une décision qui limite les encombrements plus qu'une autre. Indirectement, ce que l'on préfère ici c'est l'état du « système » trafic routier en terme d'encombrement après exécution d'une action plutôt que de l'autre.

On voit bien que s'il existe une direction de préférence pour la comparaison des conséquences de décisions agissant sur l'« objet » encombrement dans le « contexte » de régulation du trafic routier, il existe alors une « direction de préférence » concernant l'état du « système » évalué pour l'« objet » encombrement. L'objectif concernant l'état du système ne serait plus alors de limiter les encombrements du trafic routier mais bien d'avoir le plus bas niveau d'encombrement possible sur le trafic routier.

Autrement dit, s'il existe une direction de préférence pour la comparaison d'action concernant un objet, il existe une direction de préférence concernant le système évalué pour l'objet en question. La définition d'un objectif selon Keeney vient donc compléter la notre en précisant la nécessité d'une direction de préférence.

Keeney ajoute que pour rechercher les objectifs, il n'est pas utile ni d'identifier la mesure permettant de représenter l'objectif, ni de préciser les différents niveaux ou paliers qui serviront de références sur cette mesure pour indiquer l'atteinte de l'objectif. Ce point est important car il facilite l'étape de définition des objectifs : on ne se préoccupe encore ni de la façon dont on va construire les échelles ni de la valeur des différents échelons permettant d'appréhender le niveau d'atteinte de ces objectifs.

Voyons maintenant la façon dont Keeney aborde le problème de structuration des objectifs. Il commence par distinguer deux types d'objectifs. Les objectifs de fin (traduction de « fundamentals objectives », que l'on pourrait aussi traduire par objectif de but) et les objectifs de moyens (« means objectives »). La section III.1.2.1 explicitera ce dont il s'agit ainsi que le lien qu'il existe entre ces deux ensembles d'objectifs. La section III.1.2.2 sera consacrée à la notion d'objectif stratégique. Puis, la section III.1.2.3 montera comment l'auteur propose de révéler les objectifs d'un décideur. Enfin (section III.1.2.4), nous verrons comment il propose de construire la structure des objectifs.

1.2.1. Objectif de fin et de moyen

« The fundamental objective characterizes an essential reason for interest in the decision situation. »
[Keeney R.L., 1992]

Pour Keeney, quand l'objet représente une raison essentielle qui fait que le décideur s'intéresse à la situation décisionnelle, il s'agit alors d'un objectif de fin.

Un objectif de fin est décomposable. En effet, « limiter l'encombrement du trafic routier » peut se décomposer par exemple en deux sous-objectifs : « limiter l'encombrement du trafic routier dans les villes » et « limiter l'encombrement du trafic routier en dehors des villes ». Ces deux objectifs sont deux facettes de l'objectif plus général « limiter l'encombrement du trafic routier ». Ils sont aussi objectifs de fin mais d'un niveau plus bas. Ces nouveaux objectifs de fin de plus bas niveau peuvent à leur tour être décomposés en objectifs de fin de plus bas niveau, jusqu'au moment où ils ne seront plus décomposables. À l'inverse, plusieurs objectifs de fin peuvent être regroupés au sein d'un même objectif s'ils sont diverses facettes d'un même objet plus général.

Nous avons choisi le mot « fin » pour traduire « fundamental » car ces objectifs représentent une fin en soi pour le décideur. En opposition à ce concept, Keeney introduit l'objectif de moyen, traduction de « means objective », qui ne représente pas une fin en soi pour le décideur, mais un moyen d'atteindre un objectif de fin :

« A means objective is of interest in the decision context because of its implications for the degree to which another (more fundamental) objective can be achieved. Simply stated, the means objectives are important because they are means to the achievement of the fundamental objectives. »
[Keeney R.L., 1992]

Dans un certain contexte, l'objectif visant à limiter les encombrements du trafic routier est une fin en soi et donc un objectif de fin. Imaginons maintenant l'objectif consistant à améliorer la synchronisation des feux dans la ville. Cet objectif contribue à limiter les encombrements du trafic routier. Il ne s'agit pas d'une fin en soi. C'est un objectif de moyen.

Il existe bien un lien de cause à effet entre la synchronisation des feux (l'objet de l'objectif de moyen) et l'encombrement du trafic routier (l'objet de l'objectif de fin).

L'auteur précise aussi qu'un objectif de moyen peut être lié à un objectif de fin ou plus. Il se peut parfois qu'un moyen mis en œuvre pour l'atteinte d'un objectif de fin ait en effet des conséquences concernant un autre aspect que l'objectif de fin en question. Il peut donc influencer à ce titre sur différents objectifs de fin, positivement (dans la direction de préférence) comme négativement (dans la direction inverse de la préférence). Améliorer la synchronisation des feux sur un réseau routier influence positivement l'objectif « limiter l'encombrement du trafic routier ». Imaginons maintenant que le décideur intéressé par le contexte décisionnel du trafic routier a un objectif visant à limiter les dépenses. Cet objectif peut être un objectif de fin. Or améliorer la synchronisation des feux sur un réseau routier augmente les dépenses, ne serait-ce que ponctuellement (étude, matériel...). Cet objectif de moyen influence donc (et cette fois négativement) l'objectif « limiter les dépenses ». Autrement dit, un objectif de moyen peut avoir des répercussions sur le niveau d'atteinte de plusieurs objectifs de fin. Si l'on tente de représenter ces diverses relations on obtient le schéma III.1.2.1.a. Le schéma III.1.2.1.b est une représentation plus générale.

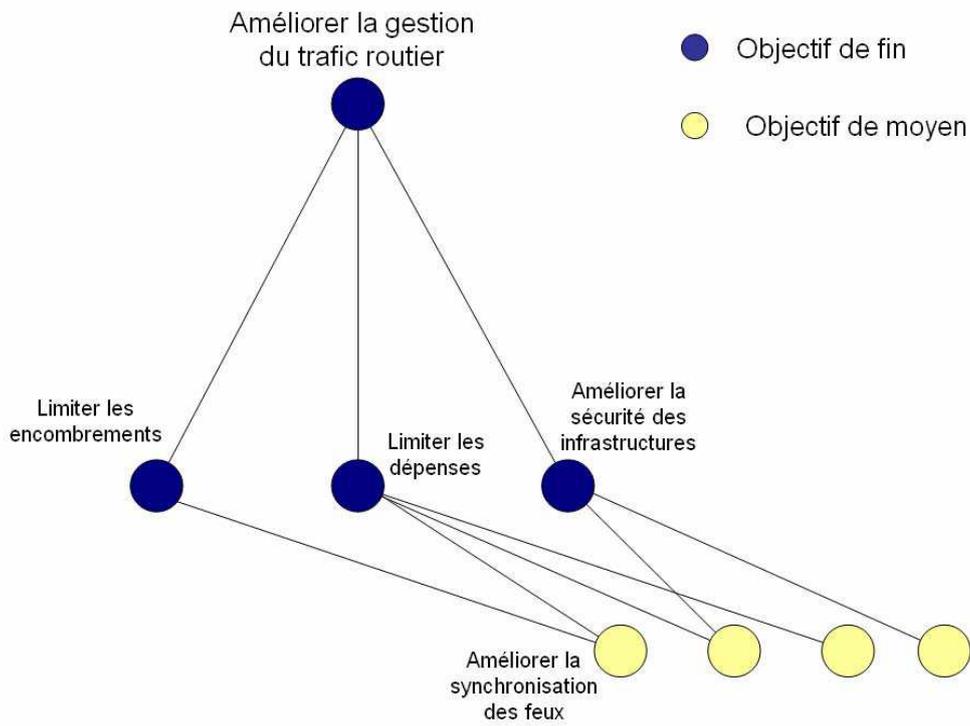


Schéma III.1.2.1.b : « Relations entre objectifs de fins et de moyens : gestion du trafic routier »

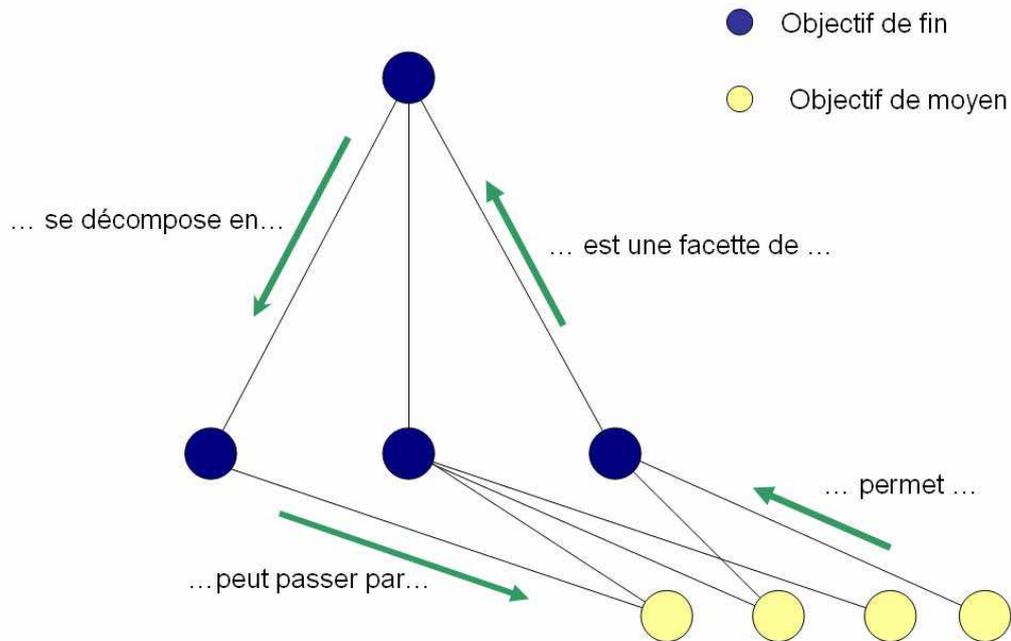


Schéma III.1.2.1.b : « Relations entre objectifs de fins et de moyens : schéma général »

1.2.2. Objectif stratégique

Keeney introduit l'objectif stratégique comme un objectif de fin qui a la particularité d'être invariant au cours du temps. Ils sont souvent des objectifs de fins de plus haut niveau. Pour une entreprise, il s'agit par exemple, d'être rentable et d'être pérenne. Pour une personne, cela peut être de vivre longtemps, dans de bonnes conditions et en bonne santé. Concernant un décideur, ce type d'objectifs semble donc un peu trop personnel et de ce fait certainement trop difficile à révéler pour faire l'objet de ce travail (même si cela peut s'avérer très intéressant).

Nous ne préconisons donc pas l'exploration d'objectifs stratégiques dans notre cas. Le plus haut niveau d'objectif de fin à explorer se doit de concerner la gestion de l'environnement et des transports, qui est notre thème d'application.

1.2.3. Révéler les objectifs

Plusieurs démarches sont proposées par [Keeney R.L., 1992] pour faire apparaître les objectifs d'un décideur. Ces méthodes sont là pour alimenter la réflexion puis le discours du décideur. En parallèle à ce travail, la personne chargée de mener à bien l'étude se doit de noter tous les objectifs qu'elle identifie, en distinguant les objectifs de fin de ceux de moyen. Cette étape est nécessaire pour débiter la suivante qui consiste à structurer et à explorer l'ensemble de la hiérarchie des objectifs du décideur.

Un premier moyen d'identifier des objectifs est d'entamer une discussion à propos de la situation décisionnelle. Cela permet souvent de faire apparaître le contexte décisionnel dans lequel on se place ainsi que certains objectifs. On peut ensuite simplement demander au décideur les objectifs qu'il souhaite atteindre dans ce contexte. Une autre voie consiste à lui demander d'établir une liste d'objectifs qui soit avant tout qualitative et non ordonnée. On ne lui demande pas de déclarer ses préférences concernant les objectifs. On peut aussi lui faire considérer un ensemble d'alternatives tant fictives que réelles. On peut alors lui demander : « quels peuvent être les objectifs de telle alternative ? » ou « qu'est-ce qui permet de distinguer telle alternative de telle autre ? » ou encore « qu'est-ce pour vous une alternative parfaite, la pire alternative ? ».

Remarquons que l'approche par les valeurs que propose Keeney n'hésite pas à s'appuyer sur une approche par les alternatives pour révéler les objectifs. En cela, ces deux approches extrêmes ne sont pas incompatibles.

Pour révéler les objectifs, l'auteur propose d'explorer les problèmes auxquels est confronté le décideur. Une autre façon peut être d'observer les conséquences des alternatives, c'est-à-dire leurs différents impacts. Il faut alors demander au décideur si ces conséquences importent ou non à ses yeux. On peut aussi explorer les buts ou contraintes. Selon Keeney, les buts diffèrent des objectifs dans le sens où les buts sont des objectifs avec un niveau souhaité d'atteinte. Les contraintes sont aussi des objectifs mais avec un niveau d'atteinte requis. En décelant les buts

ou les contraintes on identifie donc des objectifs. On peut aussi demander au décideur de s'exprimer en se mettant à la place d'une autre personne concernée par la décision, afin de changer de perspectives, de vision des choses. De plus, dans l'étape de construction de la hiérarchie (étape décrite dans la section suivante) il est fréquent qu'apparaissent de nouveaux objectifs jusque là non identifiés. Enfin, dans l'étape qui consiste à sélectionner les critères mesurant l'atteinte d'un objectif (étape décrite dans la section II.3.2.3), il est fréquent pour un même objectif de disposer de différentes échelles ne mesurant pas tout à fait la même chose. Quand c'est le cas, c'est qu'il existe en fait plusieurs objectifs souvent très proches l'un de l'autre. Ils sont ainsi révélés et il faut alors les spécifier.

1.2.4. Construire la structure d'objectifs

On peut rattacher chacun des objectifs de moyen cités à au moins un objectif de fin en posant la question « Pourquoi cet objectif (est-il important) ? ». De même, à partir d'un objectif de fin, on peut construire sa hiérarchie supérieure (Bottom-Up) en demandant « Pourquoi cet objectif ? ». Pour explorer en profondeur l'arbre des objectifs de fin (Top-Down), on demandera « En quoi cet objectif est-il important ? », où bien « Quelles facettes de cet objectif sont importantes ? ». Enfin, pour faire apparaître des objectifs de moyens supplémentaires, on demandera, à partir d'un objectif de fin « Comment atteindre un tel objectif ? ». Ces questions sont représentées dans le schéma III.1.2.4.

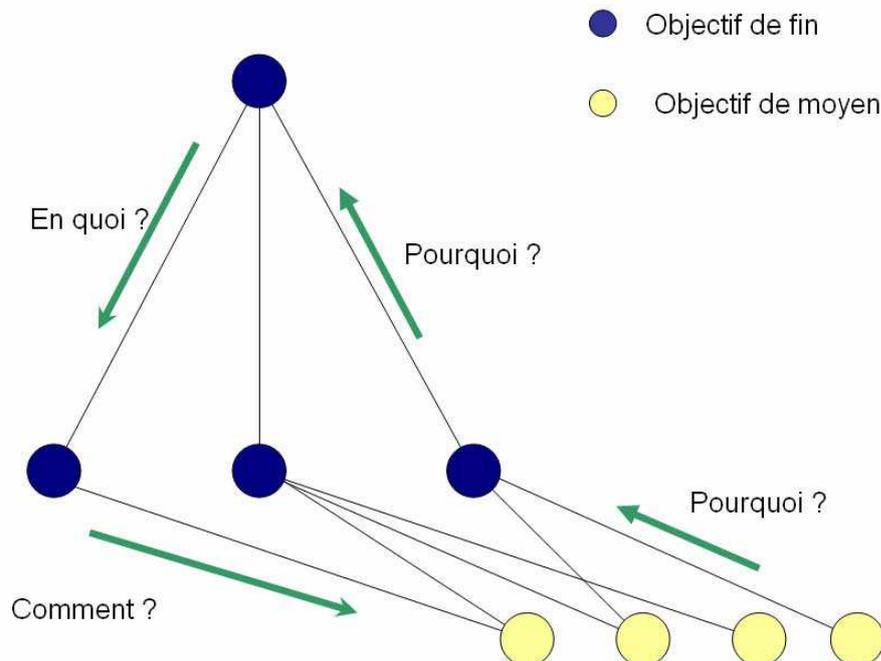


Schéma III.1.2.4 : « Questions permettant de parcourir une structure d'objectifs »

1.2.5. Résultats : l'arbre des objectifs de fin

Tels que les liens entre les objectifs de fin ont été décrits, il en résulte que l'ensemble des objectifs de fin constitue une hiérarchie, un arbre au sens de la théorie des graphes.

Rappels concernant la théorie des graphes : arborescence

Les différents concepts présentés ici proviennent de la théorie des graphes [Berge C., 1970].

Un graphe permet de décrire un ensemble d'objets et leurs relations, c'est à dire les liens entre les objets. Un graphe G est un couple (V,E) où :

- V est un ensemble (fini) d'objets. Les éléments de V sont appelés les sommets du graphe.
- E est sous-ensemble du produit cartésien $V \times V$. Les éléments de E sont appelés les arêtes du graphe.

Un « chemin » est une suite de sommets reliés par des arêtes. Un graphe est dit « connexe » dès lors qu'il existe au moins un chemin permettant de relier tout couple de sommets. Le graphe du schéma III.1.2.5.a n'est pas connexe tandis que ceux des schémas III.1.2.5.b et III.1.2.5.c le sont. Un chemin p est simple si chaque arc du chemin est emprunté une seule fois, comme le chemin représenté en gris sur le schéma III.1.2.5.b. Un cycle est un chemin simple finissant à son point de départ. Le schéma III.1.2.5.c fait apparaître un cycle en gris clair.

Un arc est une arête dotée d'un sens de parcours. Un graphe constitué de sommets et d'arcs est dit « orienté ».

Un arc $e \in E$ du graphe G est une paire $e = (u,v)$ de sommets. Les sommets u et v sont les extrémités de l'arc dont l'orientation est alors de u vers v . On dit que u et v sont des sommets voisins. Le schéma III.1.2.5.a est un graphe orienté pour lequel chaque arc est représenté par une flèche décrivant le sens de parcours, l'orientation.

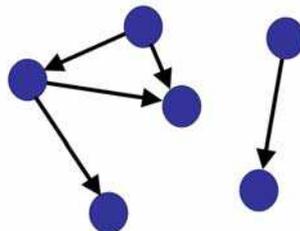


Schéma III.1.2.5.a : « Graphe orienté, non connexe »

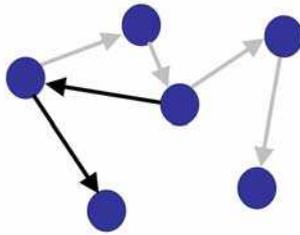


Schéma III.1.2.5.b : « Chemin simple dans un graphe orienté connexe »

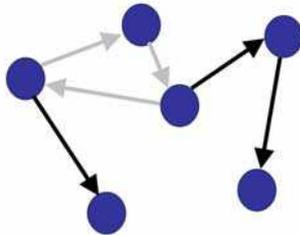


Schéma III.1.2.5.c : « Circuit dans un graphe orienté connexe »

Le degré entrant d'un sommet v est le nombre d'arcs dont l'extrémité finale est v .

Une arborescence est un graphe orienté connexe sans circuit où chaque sommet est de degré entrant au plus 1 (schéma III.1.2.5.d). Sous ces conditions, un seul sommet est de degré entrant 0 : c'est la racine, notée r , sommet sans prédécesseur.

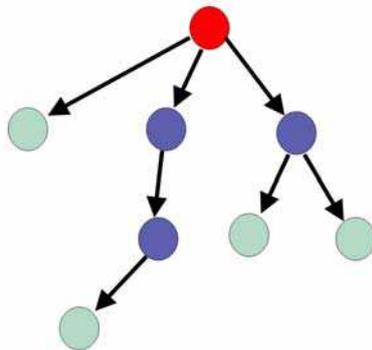


Schéma III.1.2.5.d : « Arborescence »

Pour une arborescence T de racine r :

- le père d'un sommet e est l'unique voisin de x sur le chemin de la racine à e . La racine r est le seul sommet sans père,

- les fils d'un sommet e sont les voisins de e autres que son père,
- une feuille est un sommet sans fils.

Résultats

Selon les quelques définitions venant d'être rappelées, le résultat de la structuration des objectifs de fin est une arborescence dont chaque sommet représente un objectif de fin. Chaque arc représente le lien de décomposition allant de l'objectif décomposé vers celui qui le décompose. Chaque feuille est un objectif de fin non décomposable.

On parlera par la suite, dans une arborescence d'objectifs :

- O' descendant de l'objectif O : tel qu'il existe un chemin allant de O vers O' ,
- O objectif décomposable : O n'est pas une feuille (O a au moins un fils).

Bien entendu, l'ensemble des objectifs de moyens et leurs liens (entre eux ou avec les objectifs de fin) ne composent pas une arborescence, notamment car les cycles sont permis.

1.3. Particularités de l'approche par les valeurs

Voyons maintenant quelles peuvent être les particularités de l'approche par les valeurs en aide à la décision, mais aussi pour une méthode d'aide à l'évaluation et enfin, dans le cadre plus précis de notre problématique liée au projet Pie (Cf. Introduction générale).

1.3.1. En aide à la décision

Pour [Keeney R.L., 1992], les principales motivations à l'approche par les valeurs sont les suivantes :

Faire apparaître des objectifs cachés

Par la recherche des objectifs, il est possible de faire apparaître un certain nombre d'objectifs sciemment identifiés par le décideur. Mais il est aussi possible de faire surgir des objectifs moins explicitement identifiés par le décideur lui-même, objectifs inconscients, mais tout aussi importants à prendre en compte dans le processus.

Guider la collecte d'informations

Comme guide dans la collecte d'informations, l'approche par les valeurs aide à juger de la pertinence d'une information. Si l'information est importante, elle doit contribuer au jugement, à l'évaluation d'une décision par rapport aux valeurs du décideur. Elle doit donc être en rapport avec au moins une valeur du décideur.

Améliorer la communication

Le langage utilisé pour décrire les valeurs d'un décideur appartient au langage commun. Il est donc compréhensible par les non-experts. Cela favorise de fait la communication dans le processus d'aide à la décision.

Faciliter la concertation pour les décisions de groupe

Dans un groupe de décideurs, chaque acteur tend à défendre ses propres intérêts. Les intérêts sont peut-être plus ou moins avouables. Une certaine transparence est donc nécessaire. Quand la justification des choix passe par la déclinaison des valeurs sous-jacentes à ces choix, la concertation est plus aisée, et un dialogue constructif peut s'amorcer. Il sera plus simple alors de retenir finalement les valeurs jugées raisonnables, et d'écarter celles qui ne le sont pas. Cela facilite donc l'obtention d'un consensus.

Interaction entre décisions

Plusieurs décisions apparemment disjointes peuvent influencer sur un même aspect. Il ne faut pas dans ce cas qu'une décision aille à contre courant d'une autre. Toutes les décisions ne sont pas prises pour un unique objectif, mais pour un même ensemble d'objectifs plus stratégiques. Comprendre ces objectifs, c'est mieux anticiper les interactions entre décisions.

Evaluation des alternatives ou actions

Lors de l'évaluation des alternatives ou actions, si l'étape préalable de recherche des valeurs a bien été faite, tous les objectifs sont identifiés et le risque d'oublier certains aspects à évaluer est moindre.

Créer des alternatives ou actions

La vision globale sur un problème que peut apporter le fait d'explicitier l'ensemble des valeurs d'un décideur concernant un contexte décisionnel, peut permettre de faire apparaître des alternatives, des nouvelles actions potentielles, qui n'auraient pas pu être envisagées sinon.

Identifier des enjeux décisionnels

Dans le même sens que pour le précédent avantage, la vision globale d'un tel ensemble de valeurs peut aider le décideur à repositionner complètement l'enjeu même de la décision, ce sur quoi la décision porte.

Avoir une vision stratégique

Enfin, l'approche par les valeurs d'un décideur peut permettre aussi d'apporter une vision concernant la propre stratégie du décideur. Cette vision est construite grâce à l'explicitation d'objectifs d'ordre stratégiques qui sont très peu variables au cours du temps. Cette vision peut être un atout pour le décideur lui-même.

L'ensemble de ces avantages semble assez raisonnable. Notons que certains sont communs avec ceux que nous avons proposés dans la section II.2. Notamment :

- communiquer avec transparence sur l'état d'un système,
- instaurer le dialogue et aider à la concertation,
- faire apparaître de nouveaux enjeux décisionnels.

Il faut cependant nuancer un peu la pertinence de cette approche par les valeurs. D'une part, bien souvent, l'auteur fait référence au décideur. Or dans la réalité, il existe bien des cas où le décideur n'est pas une seule personne, mais un groupe de personnes. Il devient alors beaucoup plus difficile de questionner le décideur pour essayer de décliner ses valeurs. D'autre part, la structuration des objectifs de fins telle qu'elle est proposée, est fondée sur un modèle finalement assez rigide : les objectifs de fins sont supposés être structurables en arborescence. Il s'agit d'une hypothèse somme toute contraignante et un peu limitative car la réalité peut être plus complexe que cela.

Notons aussi que le fait d'étaler les objectifs peut sembler offrir l'avantage de la transparence, cela peut aussi, dans certains contextes, nuire au processus. En effet, toutes les intentions ne sont peut-être pas bonnes à avouer. Cela peut de plus nuire à la recherche d'un consensus.

D'un point de vue pratique, en aide à la décision, l'approche par les valeurs semble un peu plus difficile à entamer que l'approche par les alternatives. En effet, il paraît plus facile de démarrer une discussion avec le décideur en parlant de choses concrètes comme les décisions qui s'offrent à lui, les alternatives dont il dispose, les actions potentielles. Par opposition, le faire réfléchir directement sur ses propres valeurs semble exiger de lui un niveau d'abstraction plus élevé concernant sa vision du problème. Cependant, nous avons vu dans la section III.1.2.3 que lors des phases servant à appréhender les objectifs (qui reflètent les valeurs) du décideur, il est parfois intéressant de s'appuyer sur l'étude d'alternatives. En cela, on peut rendre le travail plus concret et donc pallier ce défaut.

Rappelons que ces deux façons extrêmes d'aborder l'aide à la décision, soit par les valeurs, soit par les alternatives, sont souvent utilisées conjointement. L'approche par les valeurs proposée par [Keeney R.L., 1992] est très cohérente. En effet, elle est fondée sur l'explicitation de l'ensemble des objectifs de fin d'une part, de l'ensemble des objectifs de moyen d'autre part, puis des liens qui existent entre ces deux ensembles d'objectifs. La recherche de l'ensemble des objectifs de fin stimule la recherche de critères permettant de distinguer différentes alternatives. La recherche de l'ensemble des objectifs de moyen quant à elle stimule la recherche de moyens d'agir. Enfin, identifier les rouages entre les objectifs de fin et de moyen permet d'appréhender l'ensemble des conséquences des alternatives avec une vision plus large, permet de mieux appréhender la portée d'une action. Rappelons aussi, que dans un contexte où on est face à plusieurs décideurs, la « co-construction » de critères est une troisième approche particulièrement intéressante pour appréhender les différents points de vue et faire accepter à chacun des décideurs les points de vue des autres [Damart S., David A., Roy B., 2001].

1.3.2. En aide à l'évaluation

Bien sûr, la plupart des avantages que Keeney met en avant nous intéressent aussi dans le cadre de l'aide à l'évaluation. Cependant, l'aide à l'évaluation a cela de spécifique que nous tentons d'évaluer un système et non de comparer des

décisions possibles. De cette différence naît certains autres avantages pour une approche par les valeurs.

Construire un système de valeurs comme référentiel pour l'évaluation

Remarquons assez trivialement que même si nous souhaitions utiliser l'approche qui consiste à aborder le problème par les alternatives, nous ne pourrions pas car nous ne disposons pas d'alternative. Selon Keeney, il faut travailler sur le système de valeurs du décideur, or, nous ne disposons pas de décideur en évaluation. A la place, on propose d'explicitier le système de valeurs de l'évaluant. Ces valeurs seront alors déclinées, non pas pour appréhender des prises de décisions, mais pour servir de référentiel à l'évaluation d'un système. Cette nuance ne semble pas avoir de conséquence d'un point de vue méthodologique concernant la façon de structurer les valeurs. Le système de valeurs du décideur auquel on s'intéresse est réduit au contexte de la décision. Or, l'évaluation dispose aussi d'un contexte (« activité plus large dans laquelle s'insère le processus d'évaluation »). C'est le système de valeurs de l'évaluant réduit au contexte de l'évaluation que l'on tentera alors d'explorer. A défaut d'alternatives, nous disposons, grâce à cette approche, d'un système de valeurs de référence permettant d'aborder notre problème d'évaluation.

Connaître le référentiel pour comprendre le résultat de l'évaluation

Notons ensuite qu'en aide à la décision, un décideur a intérêt à ce que la modélisation de son propre système de valeurs soit la plus fidèle possible. En effet, le résultat de l'aide à la décision, qui peut prendre la forme de recommandations, en dépend. Cette aide intéresse directement le décideur, car c'est lui qui assumera le poids de la prise de décision. Dans le cas de l'évaluation, la problématique de l'évaluant est différente de celle du décideur. L'évaluant décline des valeurs qui vont influencer directement le résultat de l'évaluation. Donc pour comprendre le résultat d'une évaluation il faut connaître les valeurs. L'avantage souligné par Keeney concernant l'amélioration de la communication est ici renforcé. En effet, disposer à la fois du résultat d'une évaluation mais aussi du système de valeurs de référence écrit en langage commun est un avantage considérable. Car bien souvent le résultat d'une évaluation est communiqué a posteriori à des personnes étrangères au processus d'évaluation. Connaître le système de valeurs ayant servi de référentiel au processus d'évaluation, c'est mieux comprendre le résultat de l'évaluation. Omettre cette étape, c'est fermer les yeux sur la signification même de l'évaluation.

Explicitier le système de valeurs pour justifier le résultat de l'évaluation

En explicitant son propre système de valeurs, l'évaluant peut en partie justifier le résultat de l'évaluation. Prenons pour exemple, l'évaluation par un enseignant d'une copie de mathématique au baccalauréat. Si le barème est fixé à l'avance, l'enseignant pourra facilement justifier la note qu'il donnera à cette copie. En ce sens, expliciter le référentiel ayant servi à l'évaluation c'est une façon de justifier le résultat de l'évaluation. Bien sur, on peut essayer de comprendre pourquoi ce barème a été défini ainsi. Cela fait forcément intervenir les valeurs de ceux qui l'ont conçu. En explicitant ces valeurs, on justifiera le choix du barème, et ainsi la note obtenue par la production de l'élève.

Communiquer sur le système de valeurs pour susciter un consensus

Plus généralement, en déclinant ses propres valeurs l'évaluant est très influent sur le résultat de l'évaluation, car ses valeurs servent de référentiel à l'évaluation. L'évaluant engage ses valeurs et il est à ce titre en partie responsable du résultat. Si on se place du côté du l'évaluant, il pourrait dire à sa décharge : « Voilà les valeurs que j'ai et qui n'engagent que moi. Maintenant, si vous adhérez à ces valeurs, alors voilà le résultat de l'évaluation. ». L'évaluant a intérêt à présenter ses valeurs de façon claire et transparente pour susciter un consensus concernant la signification et le bien fondé de son évaluation. On comprend alors l'intérêt pour lui d'utiliser une méthode qui structure ses valeurs.

Favoriser le débat autour du résultat d'une évaluation

On peut ne pas être d'accord avec les valeurs retenues dans un processus d'évaluation. Cela ne remet pour autant pas en cause le résultat de l'évaluation. Ce qui compte alors, c'est d'identifier les valeurs à l'origine du désaccord. Débattre sur le résultat d'une évaluation revient alors à débattre sur les valeurs retenues pour réaliser cette évaluation. Et débattre sur les valeurs est bien plus accessible par tous. De plus, comme introduit en section II.1.2.3, en distinguant les « faits » principalement représentés par les évaluateurs, des « valeurs » représentées par les objectifs, il est alors plus facile d'identifier la nature d'un éventuel désaccord. Par exemple, on sait rapidement si une raison d'un désaccord est d'un fondement scientifique (fait) ou s'il provient d'une différence d'appréciation (valeurs).

Suivre l'évolution du référentiel pour comprendre l'évolution de l'évaluation

Dans le cadre d'une évaluation concernant le suivi et l'analyse tendancielle d'un système, le système évalué évolue au cours du temps. Les évaluations successives sont là pour rendre compte de cette évolution. Mais le référentiel de l'évaluation ne se modifie-t-il pas lui non plus au cours du temps ? Cela est tout à fait possible, surtout quand on envisage l'évaluation comme un processus. D'ailleurs, pour Keeney, seuls les objectifs stratégiques sont véritablement invariants. Il est alors intéressant de comprendre comment va évoluer ce référentiel composés d'objectifs de fin. Si des changements interviennent dans ce référentiel, il faut pouvoir les discerner pour comprendre l'influence que cela a sur le résultat de l'évaluation. L'approche par les valeurs semble très pertinente pour appréhender l'évolution de ce référentiel par l'explicitation des valeurs de l'évaluant.

Alertes et opportunités

Rappelons que l'une des fonctions de l'évaluation peut être l'alerte (section II.2.5). Réfléchir sur les valeurs permet d'identifier les points cruciaux pour lesquels on souhaite mettre en place un observatoire muni d'une procédure d'alerte. De plus, considérer les valeurs peut souvent faire naître de nouvelles opportunités décisionnelles. Et c'est aussi un enjeu d'un système d'évaluation que d'être proactif. Dans ces cas, la structuration des objectifs, même si elle n'est pas utilisée dans un contexte d'aide à la décision est utile à l'évaluation.

1.3.3. Pour notre problématique

Intéressons nous maintenant au cas de la problématique retenue en section I.4. Nous visons à spécifier un outil permettant l'évaluation de l'impact des transports

sur l'environnement. Tous les avantages cités précédemment sont donc valables pour le projet PIE qui désire aider à l'évaluation. Voyons maintenant ce qui est spécifique à cet outil.

Les demandeurs de ce type d'outils sont principalement des responsables politiques du domaine de l'environnement et/ou des transports, mais ils ne sont pas les seuls utilisateurs potentiels. En effet, ils souhaitent disposer d'un outil permettant la concertation avec les représentants du public et des acteurs économiques. L'engouement autour du projet PIE montre la volonté de s'intégrer dans une démarche de « démocratie participative » (Cf. Introduction générale). Concernant ces démarches de concertation, la demande politique tout comme la demande sociale (qui la précède peut-être) est forte.

Cependant, les représentants du public sont souvent amenés à critiquer les moyens effectivement mis en œuvre par les décideurs pour les faire participer. Cela peut provenir en partie de l'image qu'a le public de la démocratie participative (Cf. Introduction générale). Il semble assez naturel de penser pouvoir influencer la décision finale en participant, mais imaginer observer systématiquement les conséquences de cette participation sur la décision finale, c'est oublier sans doute qu'en démocratie participative le responsable politique reste souverain. Car c'est lui qui intègre un ensemble d'avis parfois divergents pour se former son propre avis sur l'état de la situation (ou sur la décision à prendre).

En voyant les valeurs retenues de celles qui ne l'ont pas été, les concertés seront peut être plus à même de comprendre le système de valeurs du décideur, et finalement de comprendre une évaluation.

Mais parfois, certains participants peuvent voir une décision prise aller complètement à l'encontre de l'avis qu'ils ont pu exprimer. Et cela peut leur donner l'impression de ne pas avoir été écoutés, même si toutes les bonnes volontés du monde ont été engagées dans le processus de concertation. Nous ne pensons pas que l'approche par les valeurs puisse entièrement remédier à ce problème. Cependant, elle peut contribuer à instaurer un dialogue, concernant les valeurs, c'est-à-dire, le fond du problème, la source des accords et désaccords, en un langage commun et grâce à un support formalisé incluant un référentiel d'expertises. Les résultats des différentes évaluations réalisées dans un même référentiel seraient alors des éléments moteurs dans le processus de concertation.

On peut aussi imaginer les représentants du public ou des acteurs économiques utiliser l'outil pour décliner à leur tour leurs valeurs par le biais de la sélection (et éventuellement, la pondération) d'objectifs mis à leur disposition. Cela peut présenter certains avantages. En premier lieu, ces représentants auront le résultat de l'évaluation environnementale d'une situation relativement aux transports par rapport à leurs propres valeurs, ce qui représente une information intéressante ne serait-ce qu'en comparaison avec le résultat de l'évaluation du décideur. D'autre part, l'outil peut permettre au décideur de conserver les jeux de valeurs de différents représentants, pour tenter de les regarder de plus près, a posteriori. Enfin, on peut imaginer la disponibilité de procédures permettant de synthétiser, de faire l'union, de vérifier la compatibilité de plusieurs jeux de valeurs. Cela pourrait ainsi aider le décideur à intégrer d'autres valeurs à son propre système.

2. Interviews : application à l'environnement et les transports

Cette section concerne une application de la méthode de structuration des objectifs proposée par Keeney dans le domaine de l' « environnement et les transports ». Cette application est un peu particulière. En effet, les personnes futures utilisatrices de l'outil d'aide à l'évaluation n'ont pas encore été identifiées (Cf. Introduction générale). Cependant, elles devront pouvoir décliner leurs propres valeurs concernant l'environnement et les transports par le biais d'objectifs. Finalement, c'est la réalisation d'une série d'interviews qui a été retenue et qui va être décrite dans cette section.

Dans une première section, nous allons voir qui pourront être les futurs utilisateurs, les futurs évaluateurs, afin de sélectionner les interviewés. Puis nous établirons la consigne de départ pour les interviews afin de cadrer le discours des personnes interrogées. Nous expliciterons ensuite le protocole d'interview. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus, qui seront exploités dans la section III.3, pour tenter de construire une structure d'objectifs de synthèse qui se devra « générique ».

Le but de ce travail exploratoire est de valider le mode de construction de la structure paramétrable d'objectifs et de vérifier l'applicabilité au domaine de l'environnement et des transports. Nous ne prétendons donc pas être exhaustif quant aux objectifs environnementaux à retenir pour le suivi d'une politique de transport.

2.1. Interviewés

Le projet PIE vise à construire un outil permettant l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement. Les demandeurs de ce type d'outils sont principalement des responsables politiques du domaine de l'environnement et/ou des transports, mais comme nous l'avons vu, ils ne sont pas les seuls utilisateurs potentiels. Les représentants des acteurs économiques et sociaux sont eux aussi susceptibles d'utiliser l'outil. Quel que soit l'utilisateur de l'outil, celui-ci sera amené dans une première étape à décliner ses valeurs à travers un ensemble d'objectifs mis à sa disposition. Il faut donc que cet ensemble d'objectifs soit le plus vaste possible pour pouvoir être adaptable au plus grand nombre de systèmes de valeurs d'utilisateurs.

Pour construire un tel ensemble d'objectifs qui soit le plus exhaustif possible, il faut donc interviewer des échantillons d'individus représentatifs de chacune des populations (responsables politiques, acteurs économiques, acteurs sociaux).

Notre travail ne prétend pas avoir réalisé cela. Nous avons choisi d'orienter notre recherche vers la validation méthodologique de notre processus d'évaluation. Ainsi, nous ne recherchons pas à cette étape l'exhaustivité des valeurs issues des interviews, mais simplement, des discours les plus vastes et différents possibles. Nous avons pour cela choisi d'interviewer des responsables ou élus. Le critère de sélection est qu'ils aient, de près ou de loin, des préoccupations et responsabilités dans le domaine des transports et/ou de l'environnement. Nous avons parfois rencontré leurs conseillers techniques qui sont souvent plus disponibles pour ce genre d'entrevues. Ils se sont dans ce cas exprimés au nom du décideur pour qui ils travaillent.

Les personnes rencontrées étaient chargées d'affaires dans des villes de tailles différentes (arrondissement parisien, ville de Lyon, ville de région parisienne, ville moyenne de province, petite commune de province). Les tendances politiques ne sont pas toutes représentées ; nous n'avons pas choisi les interviewés en fonction de ce critère, mais selon leur disponibilité et leur fonction dans la ville.

Bien sûr, nous n'avons pas non plus été exhaustifs concernant le type de responsable. A savoir, nous n'avons par exemple pas rencontré de personnes en charge d'une région et encore moins de parlementaires. Nous nous sommes contentés de responsables au niveau de la ville pour réaliser cette validation méthodologique.

2.2. Consigne de départ

Nous rappelons que le but des interviews que nous avons menés était d'appréhender le système de valeurs de l'interviewé.

Selon la problématique retenue en section I.4, les valeurs que nous cherchons à cerner sont restreintes à celles concernant l'impact des transports sur l'environnement. Il est vrai que d'un point de vue pratique, et compte tenu de la disponibilité des personnes rencontrées, il n'aurait pas été concevable de leur demander de nous consacrer le temps nécessaire pour parcourir l'ensemble du champ « transport » qui intègre tant les aspects environnementaux que les aspects sociaux et économiques. Mais laisser ces deux derniers aspects de côté n'est pas sans conséquence. En effet, on peut facilement concevoir que sans considération économique ni sociale, une solution aux problèmes environnementaux liés aux transports pourrait être de supprimer ou interdire tous les moyens de transports. Ceci n'est évidemment pas envisageable. Considérer les valeurs environnementales sans contreponds socio-économique semble à première vue dénué de sens. Nous vous renvoyons à la description de notre problématique en section I.4, notamment concernant le fait que l'outil doit s'insérer dans un processus décisionnel intégrant déjà les aspects socio-économiques et qu'il doit donc s'attacher pour sa part, uniquement aux aspects environnementaux. Il aurait cependant été possible d'inclure tous ces aspects dans un même outil d'évaluation. Mais il ne s'agirait plus alors de « l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement » mais par exemple de « l'évaluation environnementale et socio-économique d'une politique de transport », qui est plus générale. Dans ce cas, la consigne de départ aurait été différente.

Nous avons donc finalement retenu la consigne suivante :

« Quels sont, pour vous, les objectifs environnementaux à prendre en compte dans le suivi d'une politique de transport ? »

Nous explorons ainsi des objectifs concernant l'environnement et non les objectifs concernant les transports. Mais de cette façon, nous restreignons notre exploration aux aspects de l'environnement sur lesquels les transports ont un impact. A notre sens, cet ensemble d'objectifs convient bien au domaine de notre étude car il représente un référentiel permettant d'évaluer l'impact des transports sur l'environnement.

2.3. Protocole

Avant de rencontrer les personnes que nous souhaitons interviewer, nous avons réalisé une série de trois interviews test, dans le but de s'entraîner, d'anticiper d'éventuelles difficultés, de fixer le temps nécessaire au bon déroulement du travail de structure des objectifs. Les gens rencontrés dans ce cadre n'avaient pas de responsabilités publiques. Ils étaient cependant bien informés des préoccupations environnementales liées aux transports. Cela nous a permis de bien cadrer le protocole d'entretien exploratoire.

Ainsi, le protocole de l'interview consiste en deux choses : dans un premier temps la préparation de l'interview puis l'interview en lui-même.

2.3.1. Préparation des interviews

Nous avons contacté les personnes rencontrées une première fois par email en leur joignant une note explicative concernant l'entretien en présentant :

Les objectifs

« Dans le cadre du projet de recherche PIE (Prospectives et Indicateurs des impacts des transports sur l'Environnement), je réalise une thèse à l'Inrets concernant la conception d'un outil informatique. Celui-ci est destiné à être utilisé par des décideurs (élus) et servira au suivi d'une politique de transports grâce à l'évaluation de situations environnementales par rapport à des objectifs. Afin de préparer au mieux les fonctionnalités de l'outil, nous souhaitons explorer les différents objectifs qu'il serait possible d'avoir pour un tel suivi. Pour cela, nous avons choisi de rencontrer directement les personnes en charge de prendre des décisions dans ce domaine. Nous n'attendons aucunement un discours axé sur les connaissances des phénomènes environnementaux et des transports que pourrait avoir un technicien, mais voulons tenter d'appréhender les jugements de valeurs (différents objectifs ou priorités ...) d'élus. Ainsi, la consigne de départ est : quels sont pour vous les objectifs environnementaux à prendre en compte dans le suivi d'une politique des transports ? »

La confidentialité

« Il s'agit bien entendu d'un travail de recherche exploratoire. A ce titre, l'utilisation des résultats de ces interviews se fera de façon anonyme et l'identité des interviewés restera confidentielle. »

L'organisation

« La rencontre n'excèdera pas une heure. A l'issue de la rencontre, une version de la « structure des objectifs » sera établie. Celle-ci sera transmise a posteriori à l'interviewé. Selon son désir des modifications pourront être apportées, où, le cas échéant, une nouvelle rencontre pourra être organisée. »

Le résultat

« Le résultat final de la recherche sera une synthèse générale de toutes les interviews. Nous tenterons de construire une hiérarchie générique des objectifs, qui, mise au sein de l'outil, devrait permettre à l'utilisateur final de décliner ses propres objectifs environnementaux. »

2.3.2. Technique d'interviews

L'entretien en lui-même se découpe en deux phases.

La première phase sert à faire apparaître un premier ensemble d'objectifs. Elle consiste à laisser parler l'interviewé en faisant des relances non directives. Une prise de notes permet alors de faire un premier recensement des objectifs qui apparaissent dans le discours de l'interviewé. Pour cela, la consigne est tout d'abord donnée à l'interviewé : « Quels sont pour vous les objectifs environnementaux à prendre en compte dans le suivi d'une politique des transports ? ». On distinguera doré et déjà, parmi les réponses, les objectifs de fins et de moyens. Dans cette phase, les interventions de l'intervieweur ne seront là que pour demander l'explication sémantique des termes employés afin d'assurer une bonne compréhension. En cas d'arrêt ou de blocage, l'intervieweur pourra utiliser des relances de type : « N'y a-t-il pas d'autres aspects environnementaux qui dépendent des transports ? Si oui, sont-ils pour vous des objectifs à prendre en compte ? ». Cette phase a duré entre 15 minutes et 35 minutes selon les personnes rencontrées.

La seconde phase de l'entretien consiste à explorer la structure d'objectifs de l'interviewé à partir des éléments cités dans la première phase. Ainsi, on peut rattacher un objectif de moyen cité à un objectif de fin en posant la question « Pourquoi cet objectif ? ». De même, à partir d'un objectif de fin, on peut construire sa hiérarchie supérieure (Bottom-Up) en demandant « Pourquoi cet objectif ? ». Pour explorer en profondeur l'arbre des objectifs de fin (Top-Down), on demandera « En quoi cet objectif est-il important ? », ou bien « Quelles facettes de cet objectif sont importantes ? ». Ceci est représenté dans le schéma III.2.3.2.

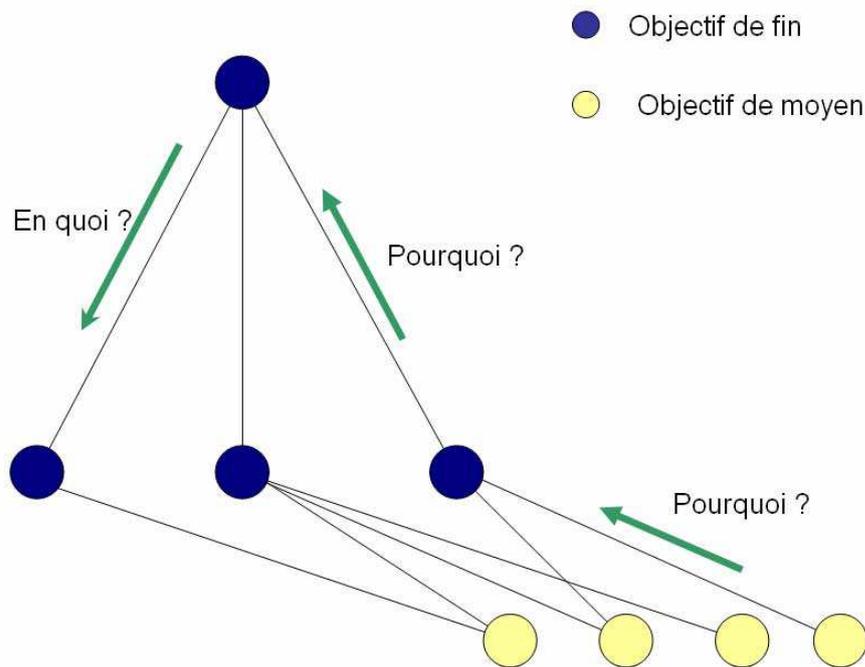


Schéma III.2.3.2 : « Nos questions utilisées pour explorer la structure d'objectifs »

Comme on le constate dans le schéma III.2.3.2 (et c'est ce qui le distingue du schéma d'origine III.1.4.2), nous avons choisi de ne pas creuser en profondeur les objectifs de moyens. En effet, on ne demandera pas, à partir d'un objectif de fin « Comment atteindre un tel objectif ? ».

Une première raison à ce choix est que les personnes interviewées ne sont pas censées être des experts des transports et de l'environnement, mais des personnes devant exprimer leur jugement de valeur. Or, nous avons vu dans la section III.1.3.1 qu'il existe un lien causal entre un objectif de moyen et l'objectif de fin auquel il se rattache.

La relation « cause à effet » est parfois un phénomène connu par les experts, faisant donc partie des « faits partagés ». Pour cela, il s'agit tout autant de réaliser une recherche bibliographique de rapports d'expertises concernant l'efficacité de moyens connus, des mesures qui ont déjà été prises, qui sont à l'étude, qui ont été proposées, que d'interviewer des décideurs.

A l'inverse, certains moyens sont des « faits potentiellement partagés », notamment quand la communauté des experts n'est pas assez univoque quant à leur efficacité. Quand bien même, est-il du ressort de l'expert ou de celle du décideur d'arbitrer sur l'existence d'un tel lien causal ?

Un seconde raison est que le temps de l'interview étant fixé à une heure, il était difficile d'envisager de tout faire bien. Nous avons donc travaillé en priorité les objectifs de fins.

Enfin, les objectifs de fins de Keeney correspondent pleinement aux objectifs qui doivent servir de référentiel dans notre démarche d'évaluation. Ce qui n'est pas directement le cas des objectifs de moyen. En effet, nous souhaitons dans notre démarche, évaluer un système par rapport à un ensemble d'objectifs concernant l'état de ce système. Un système peut être d'un très bon niveau concernant un objectif de fin, sans pour autant qu'il y ait de moyen mis en œuvre. A l'inverse, une situation peut être catastrophique concernant un objectif de fin même si beaucoup de moyens ont été mis en œuvre pour l'atteindre. On peut donc imaginer l'évaluation tout d'abord comme l'appréhension de l'atteinte d'objectif de fin.

Nous n'excluons pas, dans une seconde étape, d'offrir alors la possibilité d'évaluer le système par rapport aux objectifs de moyens. Cela semble particulièrement intéressant notamment lorsque certains objectifs de fin ne sont pas atteints de manière suffisamment satisfaisante. Il semble alors pertinent d'évaluer les moyens mis en œuvre pour améliorer cet objectif de fin.

Pour toutes ces raisons, nous avons donc choisi de bien sûr relever les objectifs de moyens cités naturellement par les interviewés, mais de ne pas pour autant explorer en profondeur cette partie de leur structure d'objectifs. Autrement dit, nous explorons avant tout les « valeurs » des interviewés et non les « faits » comme définis dans la section II.1.2.3.

2.4. Résultats

Voici les fonctions des sept personnes interviewées :

Interview 1 : Maire d'une petite ville de province

Interview 2 : Adjoint au maire dans une petite ville

Interview 4 : Maire d'une ville en région parisienne

Interview 4 : Elu dans un arrondissement parisien

Interview 5 : Conseillé à la mairie d'une grande ville

Interview 6 : Conseillé à la mairie d'une autre grande ville

Interview 7 : Personne dans l'opposition à la mairie d'un arrondissement parisien

Concernant les durées effectives des rencontres, seuls les interviews 3 et 4 ont excédé une heure. En revanche, l'interview 5 a été d'une durée plus courte (aux alentours de 45 minutes).

Ils se sont déroulés en privé dans des bureaux et dans un lieu public pour l'interview 6 à sa demande.

Nous ne présenterons pas ici les structures d'objectifs obtenues lors de tous les entretiens. Nous avons choisi d'en présenter deux à titre d'exemples (hiérarchie III.2.4.a et b), le reste apparaissant en annexe. Les hiérarchies présentées concernent uniquement les objectifs de fin.

Hiérarchie III.2.4.a : « Résultat de l'interview 1 »

Maîtriser l'environnement

A l'échelle planétaire

Préserver l'avenir

Pour les ressources naturelles

Sols

Eaux

Espèces

Energies

En terme de consommation

En terme de production de déchets

Pour le patrimoine humain

Concernant le patrimoine historique

Concernant le patrimoine culturel

Améliorer la situation actuelle concernant

Réchauffement planétaire

Dérèglement climatique

Couche d'ozone

A l'échelle locale

Concernant le milieu naturel

Les végétaux

Protéger

Préserver

Les animaux

Protéger

Préserver

Le paysage

Concernant la société humaine

Protéger les bâtis

Habitats

Patrimoine

Limiter les effets sur la santé

Pour les population à risque

Pour les zones à forte densité

Limiter la gêne

Due aux bruits

Nocturnes

Pics

Hiérarchie III.2.4.b : « Résultat de l'interview 2 »

Maîtriser l'environnement

Améliorer l'environnement d'aujourd'hui

Améliorer la santé publique

La santé routière

Pour les usagers

Pour les non usagers

Les effets de la pollution sur la santé

Pour les populations à risque

Pour le reste de la population

Améliorer la qualité de la vie urbaine

En limitant la gêne

Liée au bruit

Liée aux odeurs

Liée aux fumées

En facilitant les transports

En commun

Individuels

En conservant les bâtis

Améliorer la situation planétaire

Du point de vue des pollutions maritimes

Accidentelles

Frauduleuses

Du point de vue des déchets

Du point de vue des consommations d'énergies

Du point de vue du réchauffement planétaire

Préserver l'environnement futur

Préserver le patrimoine

Ses monuments

Ses espaces naturels

Ses paysages

Eviter les conséquences irréversibles

Disparition d'espèces naturelles

Animales

Végétales

3. Synthèse des résultats

Le but de ce travail est de valider une méthodologie de construction d'une hiérarchie paramétrable d'objectifs qui doit permettre la déclinaison de systèmes de valeurs. Pour cela, nous allons bien sûr utiliser les résultats des différentes interviews, et tenter de les synthétiser en une seule hiérarchie générique d'objectifs de fin.

Nous entendons par hiérarchie générique, un arbre (section III.1.2.5) dont les sommets sont des objectifs. Cet arbre doit permettre aux utilisateurs de décliner leur propre système de valeurs par activation et désactivation de l'ensemble des objectifs disponibles.

Nous allons tout d'abord présenter la méthode que Keeney propose pour réunir plusieurs hiérarchies d'objectifs en une seule, et discuter de l'applicabilité de cette approche dans notre cas. Dans un second temps, nous tenterons de réaliser la synthèse à proprement dit. Enfin, nous présenterons la hiérarchie générique d'objectifs retenue.

3.1. Méthode de synthèse

Pour réunir plusieurs hiérarchies d'objectifs en une seule, Keeney propose la définition d'une opération d'union. Nous allons voir de quoi il s'agit. Puis nous discuterons de l'applicabilité de cette union à notre cas.

3.1.1. L'union

L'opération d'union que propose [Keeney R.L., 1992] permet de réunir deux hiérarchies d'objectifs de fin.

Pour cela, il considère les deux hiérarchies ayant été bâties dans un même contexte de décision en s'intéressant tout particulièrement aux objectifs de plus haut niveau. Cela forme deux ensembles distincts. Il réalise alors l'union de ces deux ensembles, en prenant la précaution de ne pas répéter deux objectifs suffisamment proches sémantiquement l'un de l'autre (ou synonymes).

Il choisit ensuite un objectif de l'ensemble ainsi obtenu. Il fait alors l'union de tous les sous-objectifs directement rattachés à cet objectif tant dans la première hiérarchie que dans la seconde. Il répète enfin cette opération pour tous les objectifs du premier ensemble obtenu, et obtient ainsi tout les ensembles d'objectifs de second niveau.

Il réalise à nouveau cette tâche pour le troisième niveau et ainsi de suite.

3.1.2. Applicabilité

Nous pouvons tenter d'appliquer cette méthode à notre cas. Ici l'union que nous devrions réaliser se fera sur sept hiérarchies d'objectifs. Bien sûr, la consigne initiale a bien été la même pour chacun des interviewés et cela permet de considérer le contexte décisionnel comme identique pour chaque hiérarchie. Notons cependant une particularité sur le résultat des travaux. En effet, nous

pouvons noter l'apparition fréquente de « séparateurs ». Ce que nous appelons séparateurs, sont des aspects permettant de décomposer un objectif en plusieurs sous-objectifs. Par exemple, pour l'objectif initial « maîtriser l'environnement », on peut proposer comme séparateur, le temps et obtenir ainsi trois sous-objectifs comme : « maîtriser l'environnement à court terme », « maîtriser l'environnement à moyen terme » et « maîtriser l'environnement à long terme ». Les séparateurs qui apparaissent le plus souvent dans le résultat des nos entretiens sont l'échelle d'observation temporelle (long terme, court terme ...) et l'échelle d'observation géographique (niveau planétaire, niveau national ...). Or, utiliser ces séparateurs dans un ordre, ne produit pas la même hiérarchie que si on les utilise dans un autre ordre, même si d'un point de vue sémantique rien n'est fondamentalement différent. Voici les deux possibilités de notre exemple.

1^{er} cas :

Niveau planétaire
 Court terme
 Long terme
 Niveau national
 Court terme
 Long terme

2^{ème} cas :

Court terme
 Niveau planétaire
 Niveau national
 Long terme
 Niveau planétaire
 Niveau national

Le problème de l'union, dans notre cas, est que des hiérarchies ont été construites avec tout ou partie des séparateurs utilisés dans l'ordre qu'a choisi l'interviewé. Donc, certains des sous-objectifs issus de l'utilisation de ces séparateurs interviennent à des niveaux potentiellement différents. Il y a donc un risque non négligeable de répétitions lors des opérations d'unions qui s'effectuent aux différents niveaux de la hiérarchie.

Pour pallier cet effet que nous nommons « libre choix de l'ordre des séparateurs », nous pensons qu'il est possible de normaliser les hiérarchies obtenues en les modifiant, sans changer le reste de la hiérarchie.

Ainsi, nous proposons de transformer la hiérarchie du premier interview qui débutait comme suit :

A l'échelle planétaire
 Préserver l'avenir
 Améliorer la situation actuelle
 A l'échelle locale
 Pour la situation actuelle

En inversant les séparateurs Echelle géographique / Echelle de temps nous obtenons alors :

Améliorer la situation actuelle
 A l'échelle planétaire
 A l'échelle locale
 Préserver l'avenir
 A l'échelle planétaire

Nous obtenons grâce à cette transformation une hiérarchie qui se rapproche un peu plus de la hiérarchie de notre second interviewé, sans pour autant avoir changé les objectifs, c'est à dire les valeurs de la personne en question. Cependant, si l'on regarde la hiérarchie, dans son volet « Améliorer l'environnement d'aujourd'hui » elle distingue « Améliorer la santé publique », « Améliorer la qualité de la vie urbaine » puis « Améliorer la situation planétaire ».

Améliorer l'environnement d'aujourd'hui

- Améliorer la santé publique
- Améliorer la qualité de la vie urbaine
- Améliorer la situation planétaire

Quand on entre dans le détail des sous objectifs des deux premiers volets, on s'aperçoit vite qu'il s'agit d'objectifs de santé « locale », et de qualité de vie « locale » (niveau urbain). Cela, même si le niveau « local » n'est pas précisé. On peut transformer la hiérarchie sans en modifier le sens comme suit :

Améliorer l'environnement d'aujourd'hui

- A l'échelle locale
 - Améliorer la santé publique
 - Améliorer la qualité de la vie urbaine
- A l'échelle planétaire

On obtient ainsi les mêmes séparateurs que dans la première hiérarchie. L'opération d'union se fera d'autant plus facilement. Ces deux opérations de normalisation seront donc intéressantes dans notre cas. Nous y procéderons pour chacune des hiérarchies, avant de procéder à l'union.

Finalement, nous procéderons tout d'abord à la normalisation des deux premières hiérarchies, puis à leur union. Ensuite, nous normaliserons la troisième hiérarchie avec celle obtenue par l'union des deux premières. Une fois normalisées, nous les unissons et ainsi de suite jusqu'à la septième hiérarchie.

3.2. Application aux résultats des interviews

Nous présentons dans cette section le résultat de l'union des sept hiérarchies d'objectifs de fin. Cependant, la version complète figure en annexe. Celle proposée ici (hiérarchie III.3.2) est limitée à cinq niveaux de profondeurs, par souci de clarté.

Hiérarchie III.3.2 : « Synthèse réduite »

Maîtriser l'environnement

A l'échelle planétaire

Conserver un environnement favorable à la vie humaine

 Limiter l'effet de serre

 Limiter le dérèglement climatique

 Protéger la couche d'ozone

 Eviter la prolifération de grandes pandémies

 Eviter le pillage des peuples

 Eviter les guerres pétrolières

Conserver les ressources naturelles

 Limiter l'extinction d'espèces naturelles

 Limiter l'extinction de milieux naturels

 Limiter les consommations d'énergies

 Limiter la pollution maritime

 Limiter la production de déchets persistants

 Limiter la pauvreté

A l'échelle locale

 Concernant les milieux naturels

 Limiter l'appauvrissement des sols

 Protéger la faune

 Protéger la flore

 Préserver les paysages

 Limiter les bétonnages à outrance

 Concernant les milieux humains

 Concernant la santé publique

 Limiter les effets de la pollution de l'air

 Des pics de pollutions

 De la pollution de fond

 Limiter les effets des accidents

 Limiter les effets du bruit sur la santé

 Faciliter l'accès aux soins

 Concernant la qualité de vie

 Limiter la gêne

 Due aux bruits

 Due aux fumées

 Due aux odeurs

 Favoriser les espaces verts

 Améliorer le paysage urbain

 Eviter les hausses de prix du foncier

 Offrir de l'art dans la rue

 Concernant la qualité des transports

 Faciliter la circulation individuelle

 Faciliter l'accès aux transports en commun

 Améliorer les services des transports en commun

 Faciliter les flux

 Préserver le patrimoine culturel

 Respecter les quartiers « villages »

 Préserver les habitats des salissures

3.3. Structure retenue : arbre générique

Bien sûr, il y a dans cette structure un ensemble d'objectifs qui ne font pas véritablement partie du contexte que nous avons défini. En effet, les aspects économiques, sociaux, ainsi que tous les aspects concernant les services ou avantages offerts par les transports ne font pas véritablement partie de notre problématique (section I.4), même si ceux ci sont très intéressants. Nous allons donc filtrer les objectifs de cette hiérarchie à notre contexte d'évaluation afin de la rendre exploitable dans notre application, même si nous pensons qu'il est dommage de dissocier ces aspects des aspects environnementaux. On obtient alors la hiérarchie III.3.3.a.

Hiérarchie III.3.3.a : « Synthèse réduite puis filtrée »

Maîtriser l'environnement

A l'échelle planétaire

Conserver un environnement favorable à la vie humaine

 Limiter l'effet de serre

 Limiter le dérèglement climatique

 Protéger la couche d'ozone

Conserver les ressources naturelles

 Limiter l'extinction d'espèces naturelles

 Limiter l'extinction de milieux naturels

 Limiter les consommations d'énergies

Limiter la pollution maritime

Limiter la production de déchets persistants

A l'échelle locale

Concernant les milieux naturels

 Limiter l'appauvrissement des sols

 Protéger la faune

 Protéger la flore

 Préserver les paysages

 Limiter les bétonnages à outrance

Concernant les milieux humains

 Concernant la santé publique

 Limiter les effets de la pollution de l'air

 Des pics de pollutions

 De la pollution de fond

 Limiter les effets des accidents

 Limiter les effets du bruit sur la santé

 Concernant la qualité de vie

 Limiter la gêne

 Due aux bruits

 Due aux fumées

 Due aux odeurs

 Améliorer le paysage urbain

 Préserver le patrimoine culturel

 Respecter les quartiers « villages »

 Préserver les habitats des salissures

Dans le schéma III.3.3.b suivant, cette synthèse réduite puis filtrée est représentée sous forme d'arbre, selon le modèle décrit en section III.1.2.5 (et illustré dans le schéma III.1.2.5.e).

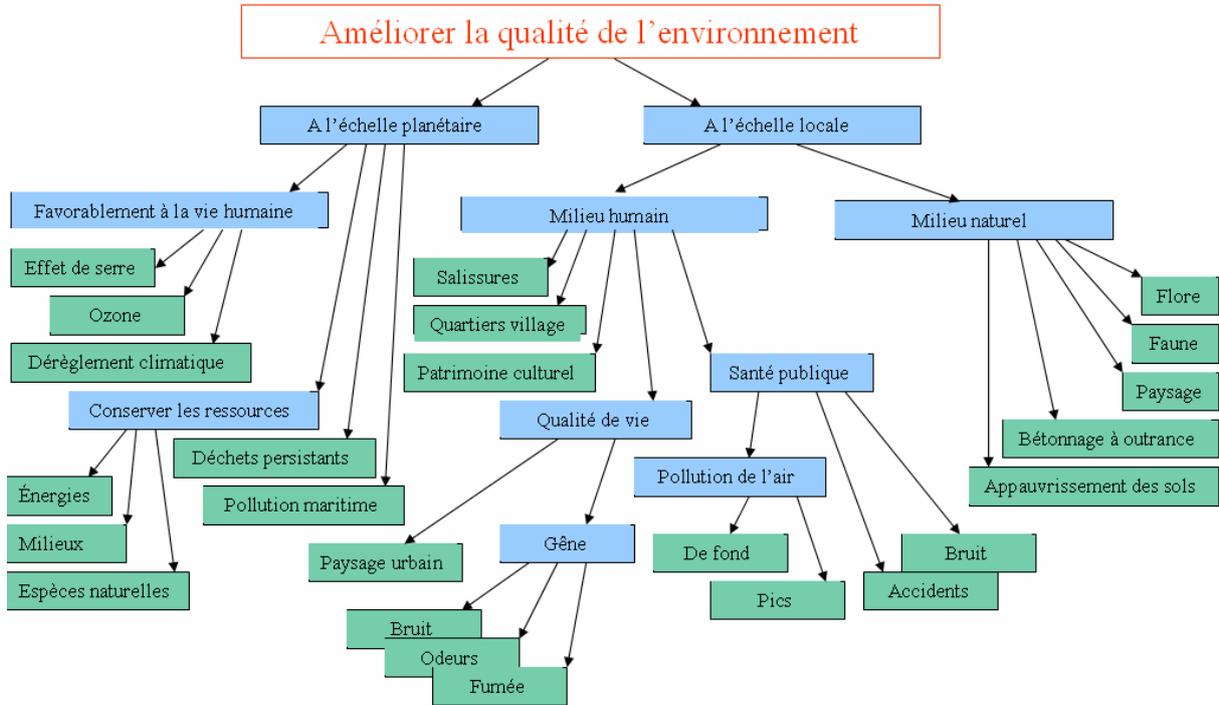


Schéma III.3.3.b : « Arbre générique d'objectifs de fin, synthèse réduite filtrée »

3.4. De l'arbre générique à l'arbre sélectionné

Comment, à partir de tels résultats, accorder une certaine liberté à l'évaluant afin qu'il puisse décliner ses propres objectifs concernant l'état environnemental d'une situation donnée ?

C'est à partir de l'« arbre générique », c'est-à-dire celui qui est représenté dans le schéma III.3.3.b que l'évaluant pourra décliner son propre système de valeurs.

Il va construire, par activation et désactivation des différents objectifs, par sélection de séparateurs, sa propre hiérarchie d'objectifs de fin, l'« arbre sélectionné », qui doit être « inclus » dans l'« arbre générique ».

La relation d'inclusion du second arbre dans le premier peut se définir de la sorte :

- tout objectif de l'arbre sélectionné doit aussi apparaître dans l'arbre générique,
- pour toute feuille O2 descendant (direct ou indirect) d'un objectif O1 dans l'arbre générique, si O1 et O2 apparaissent dans l'arbre sélectionné alors O2 est aussi descendant de O1 dans l'arbre sélectionné.

La première condition de cette définition de l'inclusion est assez triviale. Mais grâce à cette définition, l'ordre dans lequel peut apparaître les séparateurs (comme défini en section III.3.1.2) n'importe pas, puisque la seconde condition ne concerne uniquement que les feuilles de l'arbre. Seul le rattachement de chaque feuille à la bonne branche de l'arbre doit être vérifié. Ainsi, l'évaluant sera libre de faire apparaître les séparateurs dans l'ordre qu'il souhaite.

Nous reviendrons sur la façon dont on peut envisager la construction de l'arbre sélectionné à partir de l'arbre générique dans la section VI.2.3.

Enfin, notons qu'il est, d'un point de vue théorique, tout à fait envisageable de laisser l'utilisateur libre de compléter l'arbre générique en ajoutant de nouveaux objectifs, de nouvelles branches d'objectifs. Cela dépend de ce à quoi est destiné l'outil d'aide à l'évaluation. A titre illustratif, nous présenterons trois modes d'utilisation dans la section VI.1, dont le mode « ouvert » qui permet à l'utilisateur de s'approprier pleinement l'arbre générique.

Conclusion du chapitre

Une étape de l'aide à l'évaluation définie dans le chapitre II est la déclinaison d'un système de valeurs grâce à la structuration d'objectifs. Nous avons donc suivi les concepts proposés par [Keeney R.L., 1992] et nous nous sommes livrés à l'expérience de structurer des objectifs. Celle-ci a été riche.

Tout d'abord, toutes les personnes rencontrées dans ce cadre ont manifesté un intérêt pour notre travail, ce qui a rendu notre tâche aussi agréable qu'intéressante. A posteriori, aucun commentaire n'a été apporté, ni de modification demandée par les personnes rencontrées suite à l'envoi des résultats.

Il va de soi que les interlocuteurs ont accepté de se prendre au jeu sachant qu'ils n'impliquaient pas leur responsabilité à proprement dit compte tenu du caractère confidentiel de leur contribution et du caractère exploratoire de notre recherche.

Il n'y avait pas véritablement de pression au cours des rencontres. Les personnes interviewées ont facilement compris la consigne de départ. Notons que le fait d'appréhender le système de valeurs des interviewés en dehors de tout contexte réel (pas de projet concret, mais des considérations environnementales générales) a permis d'obtenir des discours semblant libre de toute contrainte, pression et autres facteurs susceptibles d'influencer les valeurs explicitées.

La richesse des discours provient du fait que les personnes rencontrées avaient ou avaient eut des responsabilités dans le domaine des transports et/ou dans le domaine de l'environnement. Ces domaines leur étaient donc familiers.

Les discours ont été assez variés. Cependant, on peut largement améliorer cet aspect, notamment en envisageant d'étendre les entretiens à d'autres catégories d'acteurs (représentants du public, acteurs économiques, experts) afin de diversifier encore les résultats.

Nous avons finalement synthétisé ces résultats d'entretiens dans une hiérarchie d'objectifs qui va servir de base à la suite de notre travail. Cependant, comment articuler le travail de structuration des objectifs avec un cadre théorique permettant l'agrégation ? Ce point sera traité dans le chapitre V.

*Chapitre IV : Aide Multicritère à la Décision et
problématique du tri*

Introduction

Comme nous l'avons vu en section I.4.2, un enjeu théorique de ce travail est d'utiliser certains concepts fondateurs des méthodes d'aide multicritère à la décision pour tenter de concevoir une « aide multicritère à l'évaluation » qui permette l'agrégation. L'agrégation apparaît donc comme centrale.

Or, en aide multicritère à la décision, il existe deux grandes familles de méthodes d'agrégation (introduites en sections I.3.2.3 et I.3.2.4) :

- méthodes se ramenant à un critère unique de synthèse,
- méthodes ne se ramenant pas à un critère unique de synthèse.

D'autre part, nous avons déjà brièvement introduit (section III.4.1) l'aide à la décision pour présenter les différentes problématiques de son champ théorique :

- la problématique de la sélection,
- la problématique du rangement,
- la problématique du tri,
- la problématique de la description.

Nous avons, à cette occasion, discuté la pertinence de ces problématiques dans notre contexte d'aide à l'évaluation et finalement retenu les deux dernières : le tri et la description.

La problématique de la description ne propose pas à proprement dit d'agréger l'information. En effet, pour répondre à cette problématique, on se contente de faire apparaître les performances de toutes les actions sur tous les critères de la famille F, ce qui est en soi déjà très informatif. Cependant, devant un nombre trop grand d'actions et/ou de critères, ou bien devant un jeu ambigu de données, le tableau de performance peut s'avérer insuffisant pour mettre en avant le ou les actions intéressantes. Une autre façon de représenter de telles informations concernant un ensemble géographique est d'utiliser un SIG (Système d'Information Géographique). Ces cartographies offrent des avantages certains [Didier M., 1991]. Mais le problème du 'trop' d'information est soulevé dès lors qu'il s'agit d'interpréter, dans l'optique de décider, les données contenues dans une carte ne représentant ne serait-ce qu'un critère. Ce problème est plus aigu encore si la décision fait intervenir plusieurs points de vues, plusieurs critères, parfois divergents.

Souvent donc, la problématique de la description ne suffit pas et pour aider le décideur. Il s'agit alors de réaliser une agrégation des performances afin de synthétiser les résultats.

Nous n'excluons pas qu'un outil d'aide à l'évaluation puisse combiner plusieurs approches comme les méthodes agrégatives avec critère unique de synthèse ou celles de type Electre, mais aussi d'autres méthodes comme celle utilisée par l'indice Atmo ou encore celles peu ou pas utilisées dans le domaine de l'environnement comme les systèmes experts [Levine P., Pomerol J.-C., 1989]. Certaines méthodes de recherche opérationnelle ou d'intelligence artificielle (fondé sur les réseaux neuronaux, les « machine learning » ou les ensembles flous) s'attachent à construire un modèle de support à la décision grâce à l'analyse d'un ensemble d'exemples du monde réel déjà observés. Ce sont les méthodes dites « indirectes ». Certaines méthodes d'aide multicritère à la décision essaient plutôt de construire un modèle permettant d'intégrer directement les préférences du décideur [Zopounidis C., Doumpos M., 2002]. Ce

sont les méthodes dites « directes ». Il semble raisonnable de restreindre le champ théorique de ce travail à l'étude des méthodes directes, sans pour autant dénier l'intérêt des autres approches, pour au moins deux raisons essentielles :

- il y a absence d'un ensemble de situations passées avec le résultat de leurs affectations globales,
- compte tenu de la difficulté qu'ont les décideurs à se forger une opinion globale sur la situation environnementale (ce qui est d'ailleurs l'une des principales motivations ayant données naissance à ce travail), il paraît a priori difficile de construire un tel ensemble.

Autrement dit, c'est la modélisation des préférences des décideurs en vue d'une agrégation de l'information pour répondre à une problématique de tri qui sera ici présentée (méthode directe), et non les méthodes basées sur l'étude d'un ensemble d'observations passées déjà affectées pour tenter de construire une procédure d'affectation (méthode indirecte).

Ce chapitre exposera donc :

- comment, à partir de la modélisation des préférences des décideurs, les différentes méthodes d'aide multicritère à la décision réalisent l'agrégation de l'information,
- les résultats qu'elles produisent,
- comment elles contribuent ainsi à répondre à la problématique du tri.

Seuls les principaux concepts seront rappelés à cette occasion mais le lecteur peut d'ores et déjà se référer à [Roy B., Bouyssou D., 1993] pour plus de détails et d'illustrations.

1. Les principaux concepts de l'Aide à la Décision

1.1. Action potentielle

Une action potentielle a_i est une action, réelle ou fictive, provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins [Roy B., Bouyssou D., 1993]. L'ensemble des a_i considérées dans le processus d'aide à la décision constitue l'ensemble A . Décider c'est mettre en œuvre une ou plusieurs actions parmi toutes les actions potentielles. Les actions sont dites exclusives (ou globales) quand le décideur ne peut choisir qu'une seule action de l'ensemble A .

Exemple : A est constitué des deux actions potentielles : « détruire le pont » et « rénover le pont ». Si l'on accepte le fait qu'il est inutile de rénover un pont pour le détruire ensuite, les actions de A sont alors exclusives (globales). Dans le cas contraire, les actions sont non exclusives (fragmentaires).

1.2. Critère

Aider à décider, c'est mettre à la disposition du décideur des informations concernant les différentes actions de l'ensemble A . Les actions ont différents effets. Ces effets, susceptibles d'inférer avec les objectifs ou avec le système de valeurs d'un acteur, sont appelés conséquences. Pour représenter un aspect permettant de comparer en terme de préférences l'action a_i à d'autres actions de A , il est intéressant de regrouper certaines des conséquences concernant un même point de vue grâce à une fonction g de A dans IR appelée critère. On notera $g(a_i)$ la performance de l'action a_i sur le critère g .

Un critère vise à résumer l'évaluation d'une action sur diverses dimensions pouvant se rattacher à un même « axe de signification », ce dernier étant la traduction opérationnelle d'un « point de vue » au sens usuel du terme [Roy B., Bouyssou D., 1993].

Par exemple, le point de vue financier d'un projet peut être représenté sur un axe de signification monétaire par le critère « valeur actuarielle nette du projet », fonction actualisant les différents cash-flows des éléments du projet. $g(a_i)$ sera dans ce cas, la valeur actuarielle nette du projet a_i .

[Roy B., Bouyssou D., 1993] définissent formellement un critère comme une fonction à valeurs réelles défini sur l'ensemble A des actions potentielles de telle sorte qu'il soit possible de raisonner ou de décrire le résultat de la comparaison de deux actions a et b à partir de deux nombres $g(a)$ et $g(b)$.

De façon plus précise, un critère g est un modèle à partir duquel on reconnaît pouvoir fonder la proposition :

$$g(b) \geq g(a) \Rightarrow (b \text{ S}_g a)$$

où S_g est une relation binaire au contenu sémantique « au moins aussi bon que, relativement aux évaluations sur les seules dimensions prises en compte dans la définition de g ».

Cette définition du critère g peut se lire de la façon suivante : si $g(b)$ est supérieur ou égal à $g(a)$, alors b est au moins aussi bon que a selon le point de vue que représente le critère g . On dira alors que « b surclasse a » localement au critère g . La relation binaire S_g est nommée relation de surclassement.

Dans cette définition un critère permet de distinguer deux actions au sens des préférences. Un critère n'est pas tenu de donner sens aux écarts entre les valeurs $g(a)$ et $g(b)$ mais a minima de permettre la comparaison des actions a et b par ordre de préférence. Cela est dû à la « modestie » de la relation S_g qui s'attache simplement à établir que « b est au moins aussi bon que a ».

A cette échelle, il faut ajouter un sens indiquant la préférence. Ce sens peut être soit le sens naturel des valeurs, soit le sens inverse. Cela dépend de la nature des données utilisées. On préférera par exemple les plus grandes valeurs de l'échelle en euros d'un critère représentant des gains tandis qu'on préférera les plus faibles valeurs d'un nombre d'accidents sur un réseau routier. Dans le cas où l'échelle varie dans le sens inverse des préférences, il est simple de la transformer (par inversion du signe) pour se ramener à une échelle variant dans le même sens que les préférences du décideur. Pour simplifier le formalisme, nous considérerons donc par la suite uniquement des critères dont les échelles varient dans le même sens que les préférences.

[Roy B., Bouyssou D., 1993] ont précisé dans leur définition qu'un critère est une fonction à valeurs réelles. Cela n'exclut pas du tout de travailler sur une échelle à valeurs non réelles pourvu que l'on puisse ordonner au sens des préférences les échelons de cette échelle (on parlera alors d'une échelle ordinale). Si tel est le cas, cela permet alors, si tant est que l'on est face à un nombre fini d'échelons, d'affecter à chacun d'eux une valeur numérique (un réel cette fois) sous la seule contrainte de respecter l'ordre de préférence des différents échelons. C'est la condition nécessaire pour pouvoir en conclure que $g(b) \geq g(a) \Rightarrow (b S_g a)$, c'est-à-dire que g est un critère. Plusieurs transformations sont même licites tant qu'elles respectent bien, après recodage, l'ordre initial des échelons. Par exemple, une échelle de gêne aux valeurs non réelles peut être recodée de la façon suivante :

- peu gêné : 4,
- moyennement gêné : 3,
- assez gêné : 2,
- très gêné : 1.

1.3. Pouvoir discriminant d'un critère

La définition du critère proposée par [Roy B., Bouyssou D., 1993] et rappelée en section IV.1.2 utilise la relation binaire S_g signifiant « au moins aussi bon que » sur le critère g . Selon :

- la nature de g (observation, prévision, ...),
- l'importance que l'on apporte aux écarts de valeurs le long de l'échelle de g ,
- la précision des données (intervalle de confiance, ...),

l'écart de performance entre $g(a)$ et $g(b)$ peut être plus ou moins significatif d'une éventuelle préférence, plus ou moins discriminant dans la comparaison de a et b . C'est ce qu'on appelle le « pouvoir discriminant » d'un critère.

Pour permettre de nuancer le pouvoir discriminant d'un critère, les auteurs proposent d'introduire trois nouvelles relations binaires permettant une comparaison plus fine de deux actions a et b , localement à un critère g :

- a est indifférente à b selon g (et inversement) : relation ($a I_g b$),
- a est préférée strictement à b (ou inversement) : relation ($a P_g b$),
- a est préférée faiblement à b (ou inversement) : relation ($a Q_g b$).

La préférence faible est ajoutée pour traduire une hésitation du décideur entre une situation de préférence stricte et une situation d'indifférence.

Voici en conséquence trois types de critères au pouvoir discriminant de plus en plus faible :

- vrai critère,
- quasi-critère,
- pseudo-critère.

1.3.1. Vrai-critère

Sur un vrai-critère, seule l'égalité de $g(a)$ et $g(b)$ est significative d'une indifférence entre a et b . Toute différence entre $g(a)$ et $g(b)$ est regardée comme traduisant une préférence stricte. On a donc :

- si $g(a) = g(b)$ alors ($a I_g b$),
- si $g(a) > g(b)$ alors ($a P_g b$),
- si $g(a) < g(b)$ alors ($b P_g a$).

[Roy B., Bouyssou D., 1993] appellent alors g , un vrai critère. Un vrai critère permet donc de distinguer les situations de préférence stricte et d'indifférence.

1.3.2. Quasi-critère

Pour permettre d'affaiblir le pouvoir discriminant d'un vrai critère, les auteurs ont affiné la modélisation en considérant que l'indifférence est compatible avec des valeurs $g(b)-g(a)$ non nulles. Pour cela, [Roy B., Bouyssou D., 1993] proposent d'introduire un premier seuil sur l'échelle du critère g . Le seuil d'indifférence q tel que, si $g(a) \geq g(b)$:

- ($a P_g b$) $\Leftrightarrow g(a) - g(b) > q$
- ($a I_g b$) $\Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$

Ce seuil représente l'écart à partir duquel on commence à préférer l'une des deux actions. Si la performance de a est la même que celle de b ou si a est meilleur que b de moins de la quantité q alors on est indifférent entre a et b . Le seuil q doit être fixé de sorte que si l'action a est meilleure que b de plus de la quantité q alors on a une préférence stricte de a sur b .

Dans ce qui précède, on a considéré q comme une constante. En fait, q est un seuil dont la valeur peut varier le long de l'échelle du critère g . En effet, prenons par exemple un critère financier servant à comparer des projets selon leur coût. Un décideur peut alors considérer comme indifférents deux projets dont les coûts ne s'écartent pas de plus de 1 000 euros si l'ordre de grandeur des coûts des projets est de 100 000 euros. En revanche, ce même écart de 1 000 euros peut devenir significatif, devenir discriminant (le décideur préférera alors le projet le moins onéreux) si l'ordre de grandeur du coût de ces deux projets est de 10 000 euros.

Le seuil doit donc être ici une fonction $q(g(b))$. Cette fonction doit cependant vérifier une certaine propriété de cohérence [Roy B., Bouyssou D., 1993]. La définition du seuil d'indifférence q devient, toujours pour $g(a) \geq g(b)$:

- $(a P_g b) \Leftrightarrow g(a) - g(b) > q(g(b))$
- $(a I_g b) \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q(g(b))$

Un critère g muni d'un tel seuil est alors appelé un quasi-critère.

1.3.3. *Pseudo-critère*

Les auteurs proposent de faire ensuite apparaître la situation de « préférence faible » pour permettre de traduire, dans la modélisation d'un critère, l'hésitation du décideur entre la situation d'« indifférence » et celle de la « préférence stricte » et ainsi, affaiblir encore le pouvoir discriminant du critère. Ils introduisent pour cela un second seuil (lui aussi variable et devant vérifier la cohérence) : le seuil de préférence $p(g(b))$. On a donc pour $g(a) \geq g(b)$:

- $(a P_g b) \Leftrightarrow g(a) - g(b) > p(g(b))$
- $(a Q_g b) \Leftrightarrow q(g(b)) < g(a) - g(b) \leq p(g(b))$
- $(a I_g b) \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q(g(b))$

où Q_g représente la situation de préférence faible restreinte à l'axe de signification du critère g .

L'introduction conjointe des seuils d'indifférence et de préférence fait de g un pseudo-critère.

Pour mieux visualiser tout cela, le schéma IV.1.3.3 présente les différentes relations binaires en fonction des valeurs $g(a)$ et $g(b)$. Sur ce schéma, l'origine de l'axe des abscisses est fixée à $g(b)$ et c'est $g(a)$ qui varie.

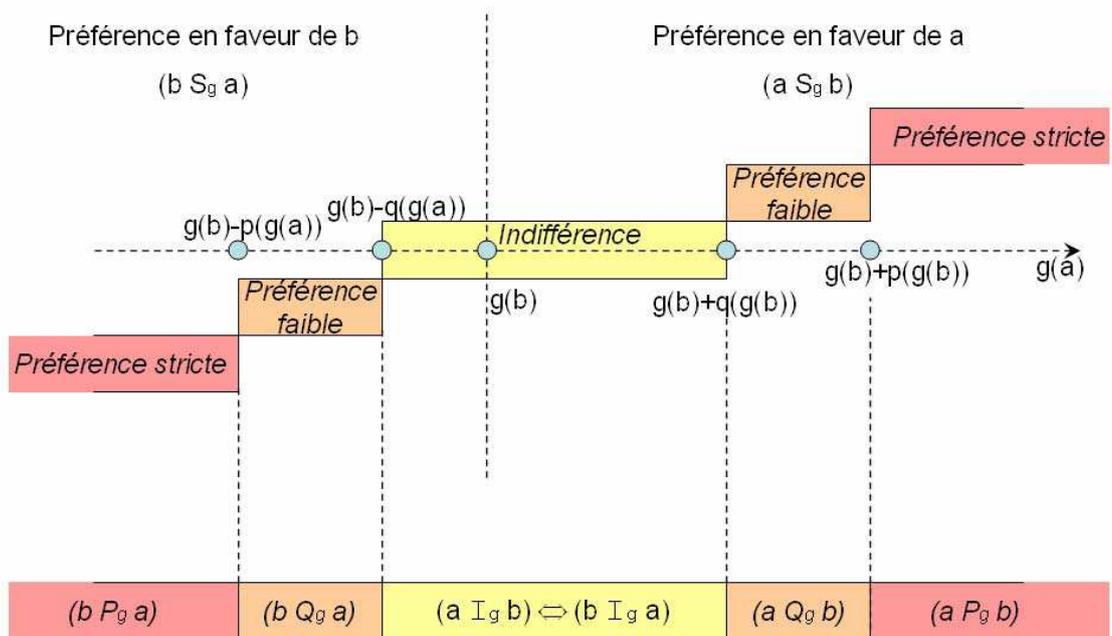


Schéma IV.1.3.3 : « Les différentes situations dans la comparaison de deux actions a et b sur un pseudo-critère g »

Regardons maintenant ce que devient notre relation de surclassement S_g entre deux actions, sur un pseudo-critère g :

$$\begin{aligned}
 (a S_g b) &\Leftrightarrow (a I_g b) \text{ ou } (a P_g b) \text{ ou } (a Q_g b) \\
 &\Leftrightarrow \text{Non}(b P_g a) \text{ et } \text{Non}(b Q_g a) \\
 &\Leftrightarrow a \text{ est « au moins aussi bon que » } b
 \end{aligned}$$

Dans ce cas précis, la notion « au moins aussi bon que » inclut donc l'indifférence, la préférence faible en faveur de a et la préférence stricte en faveur de a.

1.4. Famille de critères

1.4.1. Limites de l'analyse monocritère

Dans l'exemple concernant le point de vue financier d'un projet, les différentes conséquences prises en compte par le critère « valeur actuarielle nette du projet » lors de l'évaluation d'un projet sont de nature homogène. Si le point de vue financier est le seul point de vue important aux yeux du décideur alors la « valeur actuarielle nette du projet » pourra être le seul critère à analyser.

Lorsque l'ensemble des conséquences prises en compte dans l'étude est, comme dans cet exemple, assez homogène on peut vouloir expliciter d'emblée un critère unique appréhendant toutes les conséquences pertinentes. On parle alors d'analyse monocritère [Roy B., Bouyssou D., 1993].

Dans ce type d'analyse, lors de la construction du critère, c'est-à-dire de l'unique fonction g , il est, selon les auteurs, important d'éviter :

- d'omettre la prise en compte des conséquences dont la nature diffère trop de l'axe de signification retenu pour g ,
- d'utiliser des taux de conversions, nécessaires, mais souvent difficile à fixer de manière objective,
- d'aboutir à une fonction g complexe et peu propice à la communication.

On voit que les deux premiers écueils à éviter sont antagonistes. Plus on souhaite prendre en compte d'aspects dont la nature peut être hétérogène (c'est-à-dire plus on évite le premier écueil), plus on doit faire appel à des taux difficiles à fixer de manière objective (plus on tombe dans le second écueil).

Notons que dans notre contexte d'évaluation, il faut non seulement faire des choix de modélisation mais aussi pouvoir les justifier. De ce fait, le troisième écueil lié à la communication est par nature très gênant en mode de concertation. De plus, la diversité des nuisances environnementales implique une forte hétérogénéité des conséquences à prendre en compte, ce qui renforce d'autant le risque de tomber dans les deux premiers écueils. Ces trois écueils apparaissent donc d'autant plus importants dans notre contexte. Ce travail s'oriente ainsi assez naturellement vers l'autre façon d'envisager les choses : l'analyse multicritère.

1.4.2. Analyse multicritère

L'analyse multicritère vise à expliciter une famille de plusieurs critères, chacun d'eux n'appréhendant qu'une catégorie relativement homogène des conséquences [Roy B., Bouyssou D., 1993]. Le choix de la famille de critères est alors une étape cruciale de la modélisation.

Remarquons qu'en analyse multicritère, la construction de chacun des critères doit aussi éviter de tomber dans les trois écueils cités en section précédente IV.1.4.1.

Ainsi, en analyse multicritère, la modélisation du problème passe par la construction d'une famille F de n critères $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$. Le choix de la famille F des n critères retenus pour le modèle est très important et doit respecter plusieurs propriétés [Roy B., Bouyssou D., 1993, p79] :

- exhaustivité : tous les aspects doivent bien être représentés dans la famille de critères retenue. Ainsi, si deux actions a et b ont même performance sur tous les critères alors le décideur ne doit pas pouvoir préférer l'une à l'autre,
- cohésion : si deux actions a et b ont même performance sur tous les critères sauf sur un g_i , alors la préférence des décideurs va naturellement vers l'action qui est la meilleure sur g_i ,
- non redondance : un point de vue ne doit pas être représenté plusieurs fois dans la famille retenue. Ainsi, si l'on retire un critère à la famille retenue, la nouvelle famille ainsi obtenue ne doit plus respecter la propriété d'exhaustivité et/ou la cohésion.

D'autres peuvent faciliter le travail avec une famille cohérente de critère F. C'est en particulier le cas des différentes sortes d'indépendance entre les critères de la famille F identifiées par [Roy B., Bouyssou D., 1993, p111] :

- indépendance au sens des dispersions : isolabilité de chaque critère,
- indépendance au sens des préférences : séparabilité de chaque sous-famille de critères,
- indépendance d'ordre structurelle : absence de facteurs influençant conjointement plusieurs critères.

Construire et exhiber la famille F de critères est déjà en soi une façon d'aider à la décision (le lecteur pourra se référer à l'« acte de foi de l'aide multicritère à la décision » dans [Roy B., Bouyssou D., 1993, p49]) en répondant ainsi à la problématique de la description. Cependant, lorsque le nombre d'actions et/ou le nombre de critères retenus sont trop importants, il est alors utile d'agréger l'information. Cela est possible grâce à une procédure d'agrégation qui, à partir des évaluations locales à chaque critère, aboutit à une relation de surclassement S permettant la comparaison deux actions cette fois de manière globale, c'est-à-dire, en prenant en compte l'ensemble des critères.

Plusieurs procédures ont été conçues afin de répondre aux différentes problématiques d'aide à la décision. Les deux sections suivantes vont présenter celles qui tentent d'agréger l'information pour la problématique du tri. Dans cette optique, la section V.2 présentera les procédures d'agrégation se ramenant à un critère unique de synthèse tandis que la section V.3 concernera les méthodes ne se ramenant pas à un critère unique de synthèse.

2. Les procédures d'agrégation en un critère unique de synthèse

Notons tout d'abord, qu'il ne faut pas confondre l'analyse monocritère, présentée en paragraphe V.1.4.2, avec l'analyse multicritère se ramenant, après application d'une procédure d'agrégation, à un critère unique de synthèse [Roy B., Bouyssou D., 1993]. En effet, même si dans les deux cas, le résultat est un unique critère (le seul en analyse monocritère, celui de synthèse en analyse multicritère) l'approche consistant à agréger un ensemble de critères en les ramenant sur un critère unique de synthèse offre un avantage certain par rapport à l'analyse monocritère. En effet, dans cette dernière, les différents aspects entrant en compte dans la construction du critère ne sont pas explicitement modélisés. En analyse multicritère, le fait même de construire la famille F des critères permet d'informer avec plus de transparence sur les différents aspects qui seront pris en compte dans l'évaluation finale.

Voyons maintenant le principe d'agrégation de ce type de méthodes.

2.1. Principes d'agrégation

2.1.1. Système relationnel de préférence globale

Ces méthodes permettent d'aboutir à une évaluation globale sur un unique critère g (nous supposons ici qu'il s'agit d'un vrai-critère, Cf. section IV.2.2.1). On considère pour cela que pour toute paire d'actions (a, b) , les préférences globales d'un décideur peuvent se modéliser de façon raisonnable grâce aux deux relations binaires suivantes :

- a est indifférente à b (et inversement) : relation I, notée $(a I b)$
- a est préférée strictement à b (ou inversement) : relation P, notée $(a P b)$.

2.1.2. Agrégation multicritère

Les procédures d'agrégation multicritère se ramenant à un critère unique de synthèse g découlent alors de la modélisation des préférences globales suivante :

- $g(a) = V(g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a))$
- $(a P b) \Leftrightarrow g(a) > g(b)$
- $(a I b) \Leftrightarrow g(a) = g(b)$

Il existe dans la pratique différentes façons de construire la fonction V . La plus classique et la plus utilisée est la fonction somme (agrégation additive) des g_i pondérés de coefficients ou bien plus généralement transformés par des fonctions monotones strictement croissante v_i . Alors :

$$g(a) = \sum_{i=1}^n v_i(g_i(a))$$

Les fonctions v_i sont en général déterminés de façon à :

- normaliser les différentes échelles des critères (information intracritère),
- prendre en compte l'importance relative que l'on apporte à chacun des critères (information intercritères).

L'agrégation additive recouvre de nombreux cas grâce à la souplesse offerte pour la définition des fonctions v_i . Notons qu'il existe cependant d'autres formes d'agrégation permettant, par exemple, de traiter les cas où l'indépendance au sens des préférences n'est pas vérifiée ou acceptée dans la famille F [Roy B., Bouyssou D., 1993]. Celles-ci font l'objet de peu d'application à cause des difficultés rencontrées lors de leurs mises en œuvre.

Les moyennes pondérées et leurs variantes réalisent une agrégation additive en critère unique de synthèse. La monétarisation est un autre exemple de méthode d'agrégation multicritère additive se ramenant à un critère unique de synthèse qui est alors la monnaie. Toutes les conséquences sont donc transformées en cette unité et l'évaluation finale est la somme des différents montants actualisés.

Notons aussi que les méthodes spécifiques à l'environnement et aux transports présentées en section II.3.2.4 font aussi partie de cette famille.

Citons enfin la Théorie de l'Utilité Multi-Attributs (MAUT) [Keeney R.L., Raiffa H, 1976] dans laquelle l'échelle du critère unique de synthèse est l'« utilité »

Citons, par exemple, la méthode UTA (UTilités Additives) de [Jacquet-Lagrece E., Siskos J., 1982].

2.2. Propriétés

2.2.1. Résultats de l'agrégation

Les résultats de ce type d'agrégation en critère unique sont riches. En effet, cette méthode confère à chaque action une valeur sur l'échelle du critère de synthèse g . Bien souvent d'ailleurs, l'échelle du critère final est considérée, ou tout du moins utilisée et interprétée comme une échelle de ratio (le rapport entre deux écarts à une signification), c'est-à-dire que les écarts entre les différentes évaluations sont pris pour significatifs. Cette prise de position est séduisante car elle offre de nombreux avantages, notamment pour répondre aux différentes problématiques d'aide à la décision, mais est souvent non complètement fondée. En effet, cet écart résulte, par la nature même de la méthode d'agrégation, des écarts de performances entre les deux actions sur tous les critères ayant été agrégés. Or, sur chacun d'eux, les écarts n'ont pas la même signification. Il semble donc souvent difficile de trouver une signification à l'écart après agrégation.

De plus, il est fallacieux de considérer un critère de synthèse comme ayant un pouvoir discriminant plus fort que le pouvoir discriminant le plus faible des critères de la famille F . Ainsi, construire un vrai critère comme critère de synthèse est raisonnable si l'on travaille sur une famille F de vrais critères. Nous rappelons que sur un vrai critère, le moindre écart de performance, aussi infime soit-il, est pris pour représentatif d'une préférence stricte.

Dès lors que l'on travaille sur une famille F ne contenant pas que des vrais critères, on peut alors s'attacher à construire un critère de synthèse au pouvoir discriminant plus faible qu'un vrai critère. Or, en dépit du réel intérêt conceptuel de ce genre de procédures d'agrégations, celles-ci ne font l'objet que de peu de travaux, à cause des réelles difficultés pour leurs mises en œuvre. Ces difficultés ne seront pas détaillées et nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage de [Roy B., Bouyssou D., 1993] pour plus de détails.

Nous considérerons ici uniquement le cas d'une agrégation en vrai critère de synthèse ce qui est le plus fréquent dans la pratique.

2.2.2. Pas d'incomparabilité

Avec un vrai-critère de synthèse deux actions sont toujours comparables.

Or, il faut noter que la situation d'incomparabilité semble tout à fait possible vis-à-vis du système de valeurs d'un décideur. En effet, un décideur peut par exemple juger deux actions comme toutes les deux intéressantes sans pour autant pouvoir dire si l'une est meilleure que l'autre tant elles sont hétérogènes et tout en refusant de les qualifier d'indifférentes. Dans ce cas, l'incomparabilité est due par exemple à la prise en compte de plusieurs points de vues (exemple : coût et confort pour l'achat d'un véhicule), plusieurs critères conflictuels, sur lesquels les deux actions

à comparer seront évaluées de façons tellement différentes (exemple : l'une est peu coûteuse mais pas confortable, l'autre et coûteuse mais confortable) que le décideur les juge globalement incomparables.

Il est évident que la situation d'incomparabilité est gênante. Cependant, celle-ci n'est pas forcément due à la présence d'un trop grand nombre de critères : elle n'est pas forcément liée au manque de synthétisation de l'information (exemple : l'acheteur d'un véhicule connaît très bien le prix et le confort des deux véhicules et ne ressent pas le besoin d'agrèger ces informations). Elle peut être simplement le reflet du caractère fortement conflictuel des critères.

Si, dans la réalité, il est des cas où un décideur n'est pas capable de comparer un couple d'action, il paraît utile qu'un modèle censé intégrer le système de valeurs de ce décideur puisse refléter tout ou partie de ces situations d'incomparabilité.

Dans la réalité, face à une situation d'incomparabilité, le décideur peut souhaiter envisager le problème d'une autre manière, en prenant en compte par exemple des aspects qu'il avait (volontairement ou non) omis auparavant, ou bien en envisageant de nouvelles actions. S'il s'appuie sur un modèle durant le processus de décision, ce modèle doit donc offrir la possibilité de conclure à l'incomparabilité, pour éviter de noyer un problème (critères conflictuels) par une agrégation et aboutir à une situation de préférence ou d'indifférence.

Accepter d'agrèger un ensemble de critères en un critère unique de synthèse revient à accepter l'existence systématique d'une comparaison (indifférence ou préférence) pour tout couple d'actions a et b quelles que soient leurs performances. Cela revient finalement à écarter tout cas d'incomparabilité, ce qui semble assez restrictif.

2.2.3. Caractère compensatoire

D'autre part, les méthodes agrégatives se ramenant à un critère unique de synthèse ont, le plus souvent, un caractère totalement compensatoire. Ainsi, une action moyenne sur tous les critères peut avoir la même performance sur le critère de synthèse qu'une action très bonne sur un sous-ensemble de critères et très mauvaise sur tous les autres. De telles actions seront alors considérées comme indifférentes, ce qui masque la différence de nature existant entre ces actions. Il peut donc parfois paraître intéressant d'éviter certaines compensations.

Ceci est d'autant plus vrai dans un contexte de concertation, car essayer de tomber d'accord sur les compensations est alors plus difficile.

2.2.4. Intransitivité de l'indifférence ?

[Shärlig A., 1985] rappelle l'exemple classique du cas où l'indifférence est intransitive.

« Imaginez une série de sandwiches, formés de pain et de fromage, en proportions différentes : de plus en plus de pain et de moins en moins de fromage. En partant d'un premier sandwich, il est possible de substituer progressivement du pain au

fromage, de sorte qu'à chaque substitution on soit indifférent entre ces deux termes mais qu'on préfère le sandwich initial à celui finalement obtenu. »

La situation d'indifférence peut être intransitive si tant est que le critère de synthèse est au moins affaibli (au sens de son pouvoir de discrimination) comme un quasi-critère. Cependant, nous avons vu précédemment (section IV.2.2.1) qu'il existe de réelles difficultés pour construire un tel critère de synthèse et que dans la pratique, cela n'est pas ou très peu appliqué : les critères de synthèse sont la plupart du temps des vrais critères interdisant donc toute intransitivité de l'indifférence. En effet, sur un vrai-critère g de synthèse, seul le cas où $g(a)=g(b)$ conduit à l'indifférence.

Une fois de plus, il paraît utile qu'un modèle censé intégrer le système de valeurs de ce décideur puisse refléter certaines situations d'intransitivité de l'indifférence, ce qui n'est pas possible avec un vrai-critère de synthèse.

2.2.5. Transitivité des préférences

Le résultat de l'agrégation est un critère unique de synthèse (cas du vrai-critère) muni d'une relation binaire de préférence transitive, c'est-à-dire vérifiant :

$$(aPb) \wedge (bPc) \Rightarrow (aPc)$$

Cette propriété paraît logique et confortable. Mais [Roy B., 1981.b] explique que les préférences des décideurs sont souvent floues, incomplètement formulées et intransitives. [Shärlig A, 1996] dit à propos de l'intransitivité des préférences que : « ... cela fait très peu sérieux dans l'optique arithmomorphiste, mais c'est très humain et très courant dans la gestion. »

Voici à titre d'exemple, deux cas faisant apparaître une intransitivité des préférences.

Considérons un recruteur utilisant les règles suivantes pour établir une préférence entre deux candidats :

- préférence d'un candidat à un autre s'il possède au moins un an et demi d'expérience de plus que l'autre et tant que sa prétention salariale ne dépasse pas 150K€/annuel,
- si les deux candidats ont moins de deux ans d'écart d'expérience, alors on préfère celui qui a la plus petite prétention salariale.

Ces règles semblent très raisonnables. Cependant elles aboutissent à des préférences intransitives lors de la comparaison des trois candidats suivants :

- candidat 1 : 5 ans d'expérience et prétention salariale de 135K€/annuel,
- candidat 2 : 6 ans d'expérience et une prétention salariale de 140K€/annuel,
- candidat 3 : 7 ans d'expérience et prétention salariale de 145K€/annuel.

Dans ce cas le candidat 1 est préféré au candidat 2 (seulement un an d'expérience d'écart et plus faible prétention salariale pour le candidat 1) qui lui-même est préféré au candidat 3 mais le candidat 3 est préféré au candidat 1 (deux ans d'écart d'expérience). Il y a donc une « boucle » qui est due à la présence de seuils

d'indifférence sur les deux critères. La préférence du décideur est ici intransitive. Cette propriété est en contradiction avec la définition de la transitivité des préférences énoncées ci avant.

Le paradoxe de Condorcet qu'illustre l'exemple suivant nous montre une autre apparition d'intransitivité dans les préférences dues à une famille conflictuelle de critère. Sur cet exemple, trois actions sont évaluées sur trois vrais critères (aux échelles croissantes avec les préférences) et le décideur souhaite qu'au moins deux critères soient en faveur d'une action pour établir que celle-ci est préférée à une autre.

Actions\Critères	C1	C2	C3
a	3	1	2
b	2	3	1
c	1	2	3

Tableau IV.2.2 : « Exemple d'intransitivité des préférences »

A partir des performances contenues dans le tableau IV.2.2 le raisonnement précédant conduit à :

$$(aPb) \wedge (bPc) \wedge (cPa)$$

Ici aussi on est en contradiction avec la propriété de transitivité des préférences.

De tels résultats d'intransitivité des préférences ne peuvent bien entendu pas être rendus par un modèle réalisant une agrégation en critère de synthèse. Sur un critère unique de synthèse (plus généralement sur un critère), la préférence est transitive.

2.3. Réponse à la problématique du tri

Après l'agrégation en un critère unique de synthèse, chaque action possède une évaluation globale sur g. Il est alors aisé de répondre aux problématiques de sélection et de rangement. Ceci est rendu possible grâce à la comparaison finale sur l'échelle de g. Si cette échelle est une échelle d'intervalle, il est alors même possible de considérer les écarts entre les évaluations des différentes actions. On dispose alors directement d'un rangement (avec éventuellement des ex æquo) et d'informations sur les écarts entre actions.

Cependant, pour permettre de répondre à la problématique du tri, il faut préalablement réaliser l'étape consistant à définir les catégories dans lesquelles les actions pourront être affectées.

Par exemple, la méthode UTADIS [Jacquet-Lagrèze E., 1995] et [Zopounidis C, Doumpos M, 1999] répond à la problématique du tri. Elle est fondée sur l'exploitation du résultat de l'agrégation en un critère unique de synthèse de la méthode UTA (Utilités Additives) de [Jacquet-Lagrange E., Siskos J., 1982].

Il s'agit d'une part de construire les valeurs limites définissant les différentes catégories, puis d'affecter une action dans une catégorie.

2.3.1. Catégories

La construction de ces catégories se fait directement sur l'échelle du critère de synthèse g . Il s'agit de construire q classes ordonnées C_1, C_2, \dots, C_q avec la catégorie C_k préférée à C_{k+1} pour $k = 1, 2, \dots, q-1$. Pour cela, on doit déterminer sur l'échelle de g :

u_1, u_2, \dots, u_{q-1} avec u_k séparant les classes C_k et C_{k+1} , $\forall k \leq q-1$

2.3.2. Procédure d'affectation

La procédure d'affectation d'une action à une catégorie est alors :

$$\begin{cases} g(a) \geq u_1 \Rightarrow a \in C_1 \\ \dots \\ u_k \leq g(a) < u_{k-1} \Rightarrow a \in C_k \\ \dots \\ g(a) < u_{q-1} \Rightarrow a \in C_q \end{cases}$$

2.4. Mise en œuvre

Pour mettre en œuvre une agrégation additive, on a vu en section IV.2.1.2 qu'il fallait déterminer pour chaque critère une fonction v_i qui doit permettre de :

- normaliser les différentes échelles des critères,
- prendre en compte l'importance relative que l'on apporte à chacun des critères.

L'agrégation en critère unique de synthèse est une méthode compensatoire. Il faut donc réaliser une analyse fine des compensations possibles entre critères. Pour cela, on doit faire des comparaisons locales pour toutes les paires de critères afin de déterminer la façon dont le modèle va les laisser se compenser. Cela consiste par exemple à expliciter le fait qu'une augmentation de 20 km/h sur l'échelle d'un critère de vitesse est équivalente à l'augmentation d'une catégorie sur l'échelle d'un critère de qualité. Ces équivalences ne sont d'ailleurs pas forcément les mêmes à tous les niveaux de l'échelle.

Ce travail de modélisation pour la construction des critères en vue d'une agrégation en critère unique de synthèse semble relativement long s'il veut être réalisé avec finesse. Il se complique d'autant plus lorsque les critères sont entachés d'incertitude et/ou d'imprécision.

De plus, selon la nature des échelles des critères de la famille F, on peut être amené dans cette phase à établir des équivalences qui peuvent mettre mal à l'aise ou laisser perplexe les acteurs. Il n'est pas toujours facilement acceptable de mettre en équivalence certaines données de natures trop hétérogènes. Par exemple, attribuer un prix au silence ou encore fixer l'intérêt que l'on porte à une vie humaine ne sont pas des conversions faciles.

Finalement, toutes ces difficultés de construction peuvent amener les acteurs de la modélisation à retomber dans les écueils de l'analyse monocritère cités dans la section IV.1.4.1.

Notons l'intérêt de certaines méthodes ayant été développées pour tenter de déterminer certains de ces paramètres de manière interactive. Elles sont fondées sur l'étude des résultats d'affectations globales réalisées a priori par le décideur pour un ensemble d'actions dont les performances sont connues. A partir de cela, les méthodes déduisent alors un ou plusieurs jeux de paramètres les plus compatibles possibles avec les affectations d'origine. Elles sont nommées méthodes de désagrégation. Citons à ce titre la méthode UTADIS (UTilités Additives DIScriminantes) développée par [Jacquet-Lagrèze E., 1995] et [Zopounidis C, Doumpos M, 1999] puis implémentées dans l'outil PREFDIS (PREFerence DIScrimination) [Zopounidis C, Doumpos M, 2000] utilisant la programmation linéaire pour déterminer automatiquement des fonctions d'utilité nécessaires à l'agrégation en critère unique de synthèse.

3. Principes des procédures d'agrégation de type Electre

Comme nous venons de le voir, les méthodes qui agrègent en un critère unique de synthèse nécessitent, du fait de la précision de leurs résultats, une modélisation très fine des préférences des décideurs concernant la façon dont les écarts sur les divers critères peuvent se compenser. Selon la nature et la précision des données entrant en compte dans la construction des critères, selon la disponibilité des décideurs, selon leur système de valeurs, on peut être amené à refuser la mise en œuvre d'une analyse aussi fine. Si tel est le cas, il faut alors envisager la modélisation d'une autre manière. Les procédures d'agrégation multicritère de type Electre (ELimination Et Choix Traduisant la REalité [Roy B., 1968]) font partie de cette famille de méthodes qui proposent une alternative et feront l'objet de cette section. Citons aussi à titre informatif, la méthode PROMETHE [Brans J.P., Mareschal B., Vincke P., 1984] qui ne sera pas détaillée ici.

3.1. Principes d'agrégation

3.1.1. Système relationnel de préférences globales

Ces méthodes sont construites selon un principe assez intuitif. On considère en effet que pour toute paire d'action (a, b), les préférences globales d'un décideur peuvent se modéliser de façon raisonnable grâce aux deux relations binaires suivantes :

- a est au moins aussi bonne que b (et/ou inversement) : relation S,
- a est incomparable à b (et inversement) relation R.

Le système relationnel de préférence construit à partir de ces deux relations binaires est relativement souple car il accepte l'incomparabilité. Nous avons vu en section IV.2.2.2, qu'il peut être utile d'accepter des situations d'incomparabilité pour modéliser les préférences d'un décideur. Choisir un modèle qui permet de la représenter est donc un atout. Rappelons que l'agrégation en un critère unique de synthèse, de par la précision du résultat qu'elle procure (valeur sur une échelle unique) ne permet pas de rendre compte de cette incomparabilité car l'on peut toujours comparer (indifférence ou préférence) deux valeurs d'une même échelle. De ce point de vue, le système relationnel de préférences utilisé dans les méthodes de type Electre est plus souple, en tant que modèle, que celui des méthodes agrégeant en un critère unique de synthèse.

3.1.2. Agrégation multicritère

L'agrégation multicritère est fondée sur la comparaison par paire d'action a et b. Elle consiste à établir si, oui ou non, les relations R et S sont globalement vérifiées pour un couple d'action.

Pour cela, on va conférer à chacun des critères de la famille F, deux pouvoirs :

- un pouvoir de vote en faveur du surclassement global de b par a : le pouvoir de vote noté k_i est fixé pour chaque critère g_i . La « voix » ainsi exprimée

par le critère sera pondérée par un poids qui représentera l'importance relative que les décideurs apportent à ce critère par rapports à tous les autres de la famille. La méthode dite « méthode des cartes » [Roy b., Figueira J., 2001] permet de déterminer le jeu de poids pour la famille de critères. Nous détaillerons cette méthode sur un exemple en section suivante IV.3.4.2. En fonction du jeu de poids retenu, un critère ne pourra pas forcément imposer le surclassement à lui seul.

- un droit de veto contre le surclassement : sur un critère, le seuil de veto est la valeur telle que si l'action a est éloignée défavorablement de plus d'une fois ce seuil de la performance de l'action b, alors on refuse le surclassement ($a S_g b$) et cela quelles que soient les performances sur les autres critères. Le pouvoir de veto n'est pas forcément conféré à tous les critères, toujours selon les préférences des décideurs. Il permet cependant à un critère doté de ce pouvoir de s'opposer à lui seul au surclassement, c'est-à-dire de s'opposer à l'assertion « a est au moins aussi bon que b ». De la même façon que pour les seuils de préférence et d'indifférence, il peut être variable au long de l'échelle de g.

Lors de la comparaison globale (ou multicritère) de deux actions a et b, les méthodes de type Electre s'intéressent à la question du surclassement ($a S b$), c'est-à-dire à la question « l'action a est-elle globalement au moins aussi bonne que l'action b ? ». Cette question est « posée » à chacun des critères, qui va choisir de voter pour ou contre cette assertion.

Sur le schéma IV.1.3.3, la relation ($a S_g b$) est toujours vraie localement à un critère g pour le cas où $g(a) \geq g(b)$. Remarquons que si $g(a)$ est juste au dessous de $g(b) + q(g(b))$ alors ($b S_g a$) est établi mais si $g(a)$ est juste au dessus de $g(b) + q(g(b))$ alors ($b S_g a$) n'est plus vérifiée. Pour éviter ce saut au niveau du seuil d'indifférence dans la comparaison ($b S_g a$) regardons le nombre flou φ défini comme suit :

- φ vaut 1 quand ($b I_g a$) ou ($b Q_g a$) ou ($b P_g a$),
- φ vaut 0 quand ($a P_g b$),
- φ décroît linéairement de 1 à 0 quand ($a Q_g b$).

On notera cette fonction $\varphi(b S_g a)$. Elle est à valeurs dans $[0 ; 1]$ et représente le degré avec lequel l'assertion « b surclasse a » est vraie selon le critère g. On peut de même, construire $\varphi(a S_g b)$ qui représentera le degré avec lequel l'assertion « a surclasse b » est vraie toujours selon le critère g. Le schéma IV.3.1.2 fait apparaître graphiquement l'évolution de ces deux fonctions pour une valeur de $g(b)$ fixée à l'origine de l'axe des abscisses et en faisant varier $g(a)$.

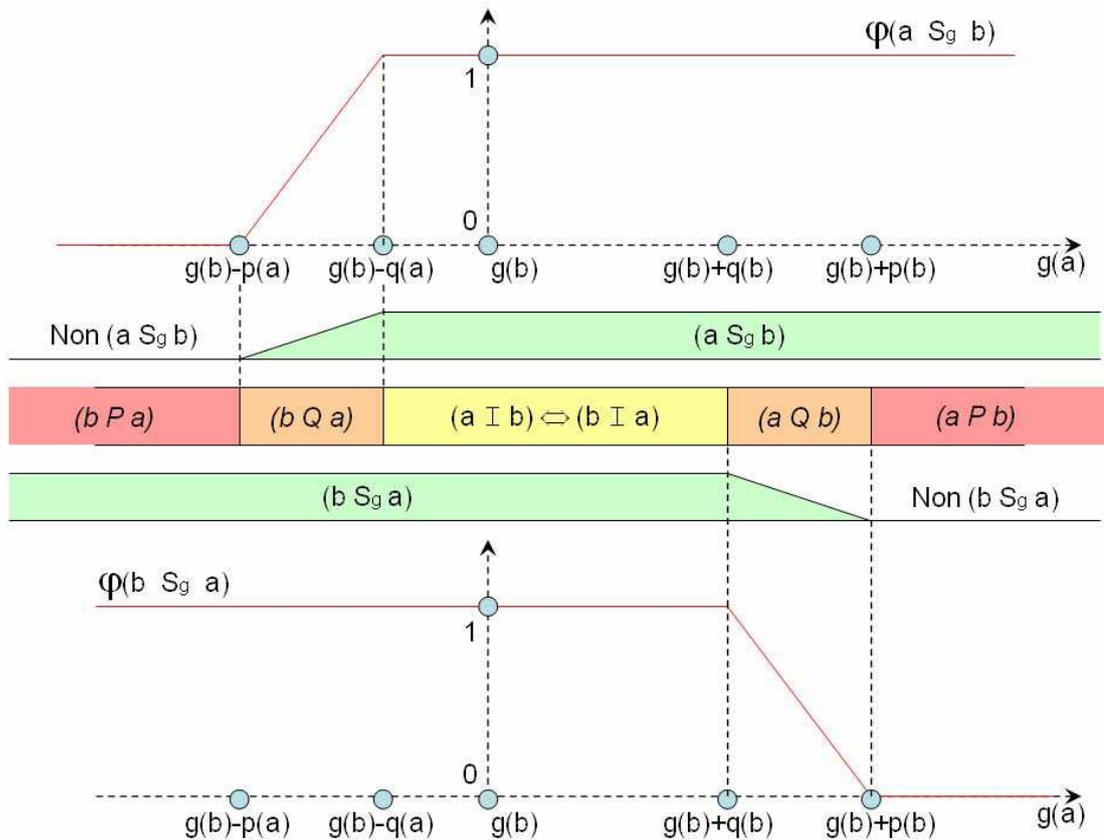


Schéma IV.3.1.2 : « La valeur floue du degré de surclassement φ »

On considèrera finalement $(a S b)$ comme vérifié globalement si une « majorité » des critères a voté en ce sens. Mais une seconde condition pour accepter $(a S b)$ est qu'aucun des critères parmi ceux n'ayant pas voté pour l'établissement de $(a S b)$ ne s'oppose trop fortement à la majorité et apporte son veto. Autrement dit, le décideur peut, dans la modélisation, conférer un pouvoir de veto à certains critères. Le sens du veto est : le critère g s'oppose à laisser dire à une majorité d'autres critères que l'action a est au moins aussi bon que b , si, sur l'échelle de g , l'action b est « vraiment meilleure » que l'action a .

Pour refléter cela on doit, pour chaque critère g_i , déterminer le seuil de veto v_i , c'est-à-dire la valeur sur le critère à partir de laquelle on considère que l'écart entre a et b est tellement important qu'il conduit à refuser l'assertion de surclassement globale de la meilleure action par la moins bonne.

Par exemple, un critère financier pourra refuser le surclassement d'un projet coûtant 50 000 euros par un projet coûtant 500 000 euros si on considère que le seuil de veto est de 400 000 euros. Fixer un tel seuil signifie que, quels que soient les autres critères, un projet coûtant plus de 400 000 euros qu'un autre ne peut pas être globalement « au moins aussi bon » que l'autre.

Ce nouveau seuil pouvant aussi varier le long de l'échelle de g_i est noté $v_i(g(a))$.

Identiquement aux seuils d'indifférence et de préférence, le seuil de veto est considéré comme une information intracritère car sa valeur dépend bien entendu de l'échelle de g . Cependant, à cause de son rôle d'opposition à une majorité, il est aussi considéré comme une information intercritère.

Pour la comparaison globale de l'action b avec l'action a , chaque critère g_i de la famille F est finalement muni de :

- la fonction $\varphi_i(b S_{g_i} a)$ à valeurs dans $[0 ; 1]$,
- un poids k_i reflétant son pouvoir de vote,
- un éventuel seuil v_i lui conférant un pouvoir de veto au surclassement global.

[Roy b., Bouyssou D., 1993] proposent alors de considérer deux indices à valeurs dans l'intervalle $[0 ; 1]$ pour prendre en compte les votes des critères et les éventuels veto :

- l'indice de concordance de la famille de critère F noté $c(b,a)$,
- l'indice de discordance d'un critère g_i noté $d_i(b,a)$.

L'indice de concordance peut être défini ainsi :

$$c(b,a) = \frac{\sum_{i \in F} \varphi_i(b S_{g_i} a) \cdot k_i}{\sum_{i \in F} k_i}$$

Le numérateur représente la somme des poids des critères de la famille F votant pour l'établissement du surclassement, poids éventuellement affaiblis par le facteur $\varphi_i(b S a)$ quand il y a préférence faible pour a , annulé par ce même facteur quand il y a préférence stricte pour a . Le dénominateur est la somme des poids des critères de la famille F . On obtient donc par ce rapport un nombre compris en 0 et 1 représentant la coalition de critères votant pour le surclassement.

L'indice de discordance a pour définition formelle :

$$d_i(b,a) = 1 \text{ si } g_i(a) > g_i(b) + v_i(b),$$

$$d_i(b,a) = 0 \text{ si } g_i(a) \leq g_i(b) + p_i(b),$$

$$d_i(b,a) = \frac{g_i(a) - g_i(b) - p_i(b)}{v_i(b) - p_i(b)} \text{ sinon.}$$

Il représente le degré avec lequel un critère s'oppose à l'établissement du surclassement global ($b S a$).

Cet indice prend la valeur 1 quand l'action a est meilleure que l'action b de plus de la valeur du seuil de veto v_i . Il prend la valeur 0 quand b est au moins aussi bon que a sur le critère g_i c'est-à-dire quand ($b S_{g_i} a$) est établi (cas où l'action b est soit préférée, même faiblement, soit indifférente à l'action a). Entre 0 et 1, l'indice de discordance croît proportionnellement à $g_i(a) - g_i(b)$.

Alors, pour la comparaison de deux actions a et b, la proposition (b S a) est vérifiée si et seulement si la condition suivante est réalisée :

$$\sigma(b, a) \geq \lambda, \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

La fonction σ étant l'indice de crédibilité de la proposition (a S b) utilisé dans Electre III et défini par :

- $\sigma(b, a) = c(b, a) \cdot \prod_{i \in D} \frac{1 - d_i(b, a)}{1 - c(b, a)}$ avec $D = \{i \in F : d_i(b, a) > c(b, a)\} \neq \emptyset$
- $\sigma(b, a) = c(b, a)$ si $D = \emptyset$

Le terme « produit » apparaissant dans la définition de σ n'est là que pour éventuellement diminuer $c(b, a)$ en cas de veto. En effet, l'ensemble des critères pouvant exercer un pouvoir de veto est l'ensemble D qui est constitué de chaque critère dont d'indice de discordance est supérieur à l'indice de concordance de la famille F. Un indice de discordance de valeur 1 annule systématiquement σ . Un critère g_i dont l'indice de discordance est compris entre $c(b, a)$ et 1, diminue σ en le multipliant par le rapport :

$$\frac{1 - d_i(b, a)}{1 - c(b, a)}$$

qui est pour le cas, un nombre compris entre 0 et 1.

En conséquence :

$$c(b, a) \geq \sigma(b, a)$$

De quoi on peut déduire (en utilisant la condition $\sigma(b, a) \geq \lambda$) :

$$c(b, a) \geq \lambda$$

Autrement dit, une première condition nécessaire au surclassement est que le pourcentage des votes allant pour l'établissement du surclassement (pourcentage représenté par l'indice de concordance $c(b, a)$) soit supérieur ou égal à λ . Dans Electre, le nombre λ est un paramètre du modèle compris aussi entre 0 et 1. Fixer par exemple le paramètre λ à 0,7 revient à exiger au moins 70% des votes qui soient favorables au surclassement (votes des critères de la famille F, pondérations prises en compte). Ce paramètre représente finalement la sévérité que le décideur impose au modèle pour fournir un résultat agrégé. Plus λ est proche de 1 plus la sévérité est grande.

Mais cette première condition n'est pas suffisante. La seconde condition est que le terme « produit » multiplié à $c(b, a)$ ne diminue pas la valeur de σ en dessous de la valeur de λ , c'est-à-dire qu'aucun critère ne s'oppose trop fortement à l'établissement du surclassement (b S a).

3.2. Propriétés

3.2.1. Résultats de l'agrégation

Etablir que $(b S a)$ revient à dire que b est au moins aussi bon que a . Quand les surclassements $(b S a)$ et $(a S b)$ sont établis simultanément alors on conclut à l'indifférence $(a I b)$. En revanche, quand ni $(b S a)$ ni $(a S b)$ n'est vérifiée alors on conclut à $(a R b)$: c'est la relation d'incompatibilité et on ne représente alors pas de flèche entre les deux actions. Dans les autres cas, l'une des deux actions (et seulement l'une des deux) surclasse l'autre : c'est la préférence.

On peut finalement résumer les situations de comparaison globale entre deux actions a et b à ces quatre cas :

- quand $\text{Non}(a S b)$ et $\text{Non}(b S a)$, incomparabilité : $(a R b) \Leftrightarrow (b R a)$,
- quand $(a S b)$ et $\text{Non}(b S a)$, préférence pour a : $(a P b)$,
- quand $\text{Non}(a S b)$ et $(b S a)$, préférence pour b : $(b P a)$,
- quand $(a S b)$ et $(b S a)$, indifférence : $(a I b) \Leftrightarrow (b I a)$.

3.2.2. Incomparabilité possible

La relation d'incomparabilité R est apparue du fait de la comparaison multicritère dans le cas où ni $(a S b)$ ni $(b S a)$ n'a pu être établi. Un résultat de la sorte peut paraître difficile à soumettre à un décideur, cependant on a vu plus haut l'intérêt de la modélisation de l'incomparabilité dans une optique d'aide à la décision (section V.2.2.2).

3.2.3. Caractère compensatoire affaibli

Lors de la comparaison de deux actions a et b , soit un critère g et son rôle dans l'éventuel établissement du surclassement $(b S a)$.

Dans le cas où l'action a est vraiment meilleure que b sur g , le critère g peut à lui seul s'opposer à une majorité d'autres critères en faveur du surclassement $(b S a)$ grâce à un pouvoir de veto. Ainsi, l'écart important existant en faveur de l'action a sur g ne peut pas être compensé par un ou plusieurs autres écarts en faveur de b sur le reste de la famille F de critères. Le seuil de veto est donc un premier moyen lors de la modélisation pour éviter certaines compensations jugées illicites.

De plus, les méthodes Electre n'utilisent qu'une différenciation très grossière des écarts de performance sur chaque critère. Par cela, toutes les valeurs $g(b)$ telles que $g(b) \geq g(a) + p(g(a))$ auront exactement le même rôle dans l'établissement éventuel du surclassement $(b S a)$. Alors, l'écart entre $g(a)$ et $g(b) + p(g(b))$ ne servira pas à compenser un écart en faveur de b sur un autre critère.

De même pour le seuil d'indifférence. Si $g(b)$ est dans l'intervalle de valeurs $[g(a) ; g(a) + q(g(a))]$, alors le critère g aura même importance dans l'établissement du surclassement $(b S a)$ quelle que soit la valeur de $g(b)$. Dans ce cas, l'écart entre

g(b) et g(a) n'a pas d'importance et ne pourra pas compenser un écart en faveur de l'action a sur un autre critère.

3.2.4. Intransitivité de l'indifférence possible

Les méthodes de type Electre peuvent rendre compte de l'intransitivité de l'indifférence, ne serait-ce que dans l'exemple du tableau IV.3.2.4. En fixant les poids des quasi-critères g1, g2 et g3 à 1, ainsi que leurs seuils d'indifférence à 3, et en exigeant une majorité $\lambda=50\%$, on établit alors (a I b), (b I c) mais aussi (a P c) car le seul surclassement non établi est ici (c S a).

Actions\Critères	g1	g2	g3
a	5	3	10
b	3	2	5
c	1	1	1

Tableau V.3.2.4 : « Exemple d'intransitivité de l'indifférence avec Electre »

3.2.5. Intransitivité des préférences possible

Dans l'exemple du paradoxe de Condorcet présenté dans le tableau IV.2.2.5., il suffit de donner un pouvoir de vote de 1 à chaque critère et exiger une majorité $\lambda=50\%$, sans fixer de seuil (ni indifférence, ni préférence, ni veto). On voit alors que la comparaison par paire peut faire apparaître une intransitivité de préférences.

Notons que, lorsqu'on est face à une situation présentant une intransitivité des préférences, cela pose le problème de l'exploitation du résultat final pour faire une recommandation finale.

La procédure d'exploitation d'Electre Tri, présentée en section suivante, est une façon d'exploiter un tel résultat en vue de répondre à la problématique de tri.

3.3. Réponse à la problématique du tri

Une structure de préférence présentant des incomparabilités et/ou des intransitivités n'est pas aussi facile à utiliser que le résultat d'une agrégation en critère unique de synthèse dont l'exploitation est quasiment directe (comme vu dans la section V.2.3). Il est donc nécessaire d'utiliser une procédure d'exploitation qui va différer selon les objectifs de l'étude, la problématique face à laquelle on se trouve.

Répondre à la problématique du tri, c'est affecter chaque action dans une des catégories ordonnées préalablement définies. Rappelons que (section IV.2.3) même si l'on a réussi à construire un critère unique de synthèse, il est tout de même nécessaire de construire les catégories sur le critère de synthèse pour répondre à la problématique de tri.

Electre Tri ([Yu W., 1992] et [Roy B., Bouyssou D., 1993]) est une méthode de type Electre développée pour répondre à la problématique du tri, c'est-à-dire affecter chaque action à une des catégories ordonnées prédéfinies. Dans le cas du critère unique de synthèse, le découpage se fait directement sur le critère de synthèse, alors qu'ici le découpage doit se faire sur les échelles de tous les critères de la famille F.

Une fois les catégories construites sur chaque critère, Electre Tri propose deux différentes procédures d'agrégation multicritère (utilisant les concepts d'Electre introduits précédemment) pour affecter une action à une catégorie.

Notons que ce modèle n'apporte pas d'information concernant la comparaison de deux actions ayant été affectées à la même catégorie. Les actions ne sont à aucun moment comparées directement entre elles. On peut d'ailleurs envisager d'affecter seulement un très petit nombre d'actions dans les catégories prédéfinies et même dans un cas extrême de travailler avec un ensemble d'actions A réduit à une seule action.

3.3.1. Catégories

Electre Tri nécessite de bâtir un ensemble de catégories ordonnées à l'aide de profils limites. Les profils limites sont des actions fictives et bien choisies, délimitant chacune des catégories. Quatre actions fictives peuvent ainsi délimiter cinq catégories ordonnées comme par exemple, de la meilleure à la moins bonne :

- « ensemble des actions très intéressantes au sens de la problématique »,
- « ensemble des actions assez intéressantes au sens de la problématique »,
- « ensemble des actions moyennement intéressantes au sens de la problématique »,
- « ensemble des actions peu intéressantes au sens de la problématique »,
- « ensemble des actions très peu intéressantes au sens de la problématique ».

Pour cela, il s'agit de fixer les quatre valeurs limites sur chaque critère.

Ensuite, il est possible d'affecter chacune des actions réelles à une des catégories prédéfinies grâce à la comparaison aux actions fictives, profils limites.

3.3.2. Procédure d'affectation

L'affectation réalisée dans Electre Tri nécessite la réalisation préalable des étapes suivantes que nous avons passées en revue précédemment :

- construire une famille cohérente de critère,
- définir les seuils (de préférence, d'indifférence et de veto),
- pondérer les critères,
- fixer le paramètre λ , majorité requise pour établir le surclassement,
- construire de k profils limites définissant $k+1$ catégories.

La procédure d'affectation utilise alors la relation binaire de surclassement global introduite en partie IV.3.1.1 servant à la comparaison de deux actions a et b . D'un

point de vu formel, cette assertion est acceptée globalement (de façon multicritère) quand les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- condition de concordance : quand une majorité de critères vote en faveur du surclassement de b par a,
- condition de non veto (ou de non discordance) : quand aucun critère ne s'oppose trop fortement au surclassement de b par a.

Etant donné une action a, Electre Tri se propose alors de la comparer à l'ensemble des profils limites b_i , qui sont des actions fictives définissant les catégories.

Deux procédures sont alors proposées par les auteurs pour affecter une action a à une des $k+1$ catégories et qui utilisent la condition nécessaire au surclassement (concernant l'indice de crédibilité et le paramètre λ) définie dans le paragraphe IV.3.1.2 qui tient compte à la fois de la majorité de critères et des éventuels veto.

La procédure pessimiste affecte alors l'action à la meilleure catégorie dont le profil limite inférieur est surclassé globalement par a.

La procédure optimiste affecte l'action à la moins bonne catégorie dont le profil limite supérieur surclasse globalement a et n'est pas surclassé globalement par a.

Il en résulte que l'affectation optimiste est au moins aussi bonne que l'affectation pessimiste. La figure IV.3.3.2 présente les trois cas possibles concernant le surclassement entre une action a et l'ensemble de neuf profils limites R_i pour tenter de comprendre la différence entre ces deux procédures.

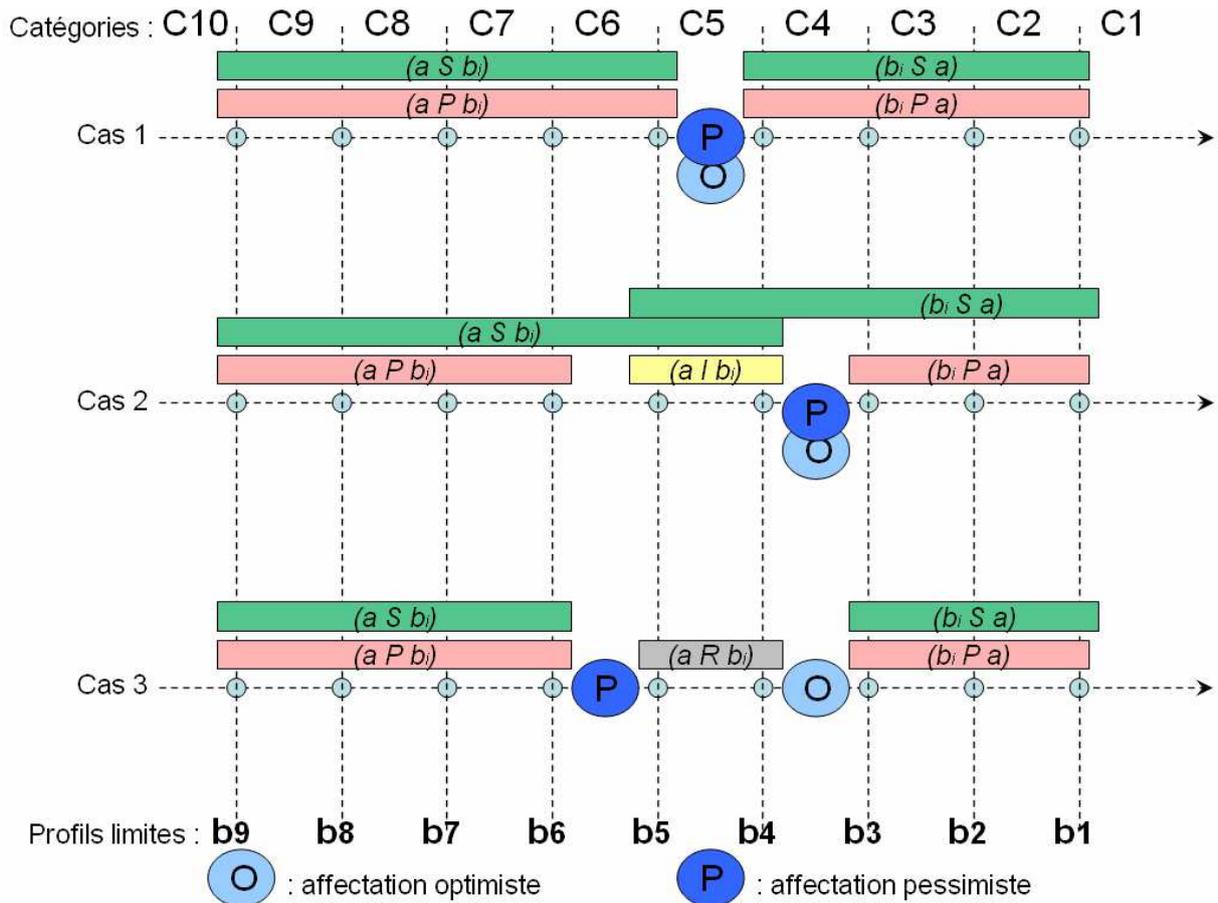


Schéma IV.3.3.2 : « Affectations optimistes et pessimistes dans Electre Tri »

Le schéma IV.3.3.2 présente les relations binaires de surclassement S, de préférence P, d'indifférence I et d'incomparabilité R entre l'action a et chacun des neuf profils limites b_i . Les trois cas présentés sont les seuls possibles [Roy B., Bouyssou D., 1993].

Dans le cas 1 de ce schéma, on voit qu'il n'existe pas de profil b_i tel que :

- $(a S b_i)$ et $(b_i S a)$,
- $\text{Non}(a S b_i)$ et $\text{Non}(b_i S a)$.

Autrement dit, pour chacun des profils limites b_i , soit b_i est préféré à a, soit a est préféré à b_i . Les deux procédures conduisent assez naturellement au même résultat : elles affectent l'action à la catégorie C5 puisque a est préférée à b_5 (profil supérieur de la catégorie C5), et b_4 (profil inférieur de la catégorie C5) est préféré à l'action a.

Dans le cas 2, l'action a est indifférente aux deux profils limites b_4 et b_5 . Le résultat de l'affectation pessimiste est une fois de plus le même que celui de l'affectation optimiste. Il s'agit en effet de la catégorie C4 dont le profil inférieur b_4 est indifférent de a, et dont le profil supérieur b_3 est préféré à l'action a.

Le cas 3 est le seul cas où les deux procédures n'affectent pas dans la même catégorie. Il s'agit du cas où il y a présence d'incomparabilité. En effet, les profils

b_5 et b_6 sont incomparables à l'action a , car aucun surclassement n'a été établi entre a et b_5 ni entre a et b_6 . La procédure pessimiste propose d'affecter a dans la catégorie C_6 puisque a est meilleure que b_6 (profil inférieur de la catégorie C_6). La procédure optimiste affecte a dans la catégorie C_4 puisque b_4 (profil supérieur de la catégorie C_4) surclasse a et n'est pas surclassé par a .

Choisir entre la procédure optimiste et la procédure pessimiste revient finalement à arbitrer le cas de l'incomparabilité de l'action a avec un ou plusieurs profils limites.

3.4. Mise en oeuvre

Cette section présente les étapes de mise en oeuvre des méthodes de type Electre en distinguant ce qui relève de la modélisation des informations intracritères de ce qui relève de la modélisation des informations intercritères comme introduit en section IV.2.4.

3.4.1. Informations intracritère

Déterminer les seuils de discriminations

La modélisation des seuils se fait localement sur chaque critère. Aucune comparaison intercritère n'est donc nécessaire pour cette étape. C'est un avantage car cela limite les questionnements, mais aussi car cela évite de comparer des valeurs de nature différentes et dont l'imprécision ou l'incertitude peut varier.

Remarquons qu'un critère a été décrit comme muni d'une échelle au moins ordinale. Si l'échelle de g est ordinale et recodée en échelle numérique respectant un pas de une unité entre chaque échelon, le seuil q (respectivement p) représente alors le nombre d'échelons qui est discriminant pour la préférence faible (respectivement stricte).

3.4.2. Informations intercritères

Déterminer les seuils de veto

La valeur d'un seuil de veto est une information intracritère car elle dépend de l'échelle du critère en question. A ce titre, elle se détermine localement à chaque critère. En revanche, étant donné le rôle global du veto, le fait d'accorder un pouvoir de veto à un critère est une façon de modéliser une information intercritère. En effet, le veto doit être accordé à un critère au regard de la famille F , afin de bien visualiser à quels autres critères le critère doté du veto pourra s'opposer.

Pour déterminer un seuil de veto on peut opérer à peu près de la même façon que pour les autres seuils d'indifférence et de préférence. Lors de l'établissement de $(a \ S \ b)$, il s'agit de trouver la plus grande valeur $g(b)-g(a)$ sur un critère en faveur de b telle qu'elle ne remette pas en cause le surclassement $(a \ S \ b)$.

Déterminer les poids

Notons tout d'abord que les poids dans les méthodes de types Electre n'ont pas la même signification que dans les méthodes de type « agrégation en critère unique de synthèse ».

Dans ces dernières ils sont déterminés de façon à rendre compte à la fois de l'hétérogénéité des différentes échelles des critères à agréger et de l'importance relative que l'on accorde à chacun des points de vue que les critères représentent. De plus, ces méthodes d'agrégation ramènent toutes les valeurs sur une même échelle. Chaque valeur transformée grâce au poids contribue alors à l'évaluation globale. Ainsi, dans la comparaison de deux actions les écarts entre les valeurs sont considérés. Les poids servent donc aussi à donner de l'importance à ces écarts.

Dans les méthodes de type Electre, les poids sont intrinsèques. Ils représentent uniquement l'importance relative que l'on accorde aux critères. Les poids ne servent en aucun cas à modifier ou à transformer les valeurs prises sur les différents critères. Dans la comparaison de deux actions, on s'intéresse aux valeurs prises critère par critère. Le poids représente un pouvoir de vote que l'on accorde au critère qui votera en faveur du surclassement global ($a \succ b$) si a est au moins aussi bon que b sur ce critère.

Une des deux conditions pour accepter le surclassement de a par b présentée en fin section IV.3.1.3 est qu'aucun critère ne s'oppose trop fortement contre ce surclassement et ne fasse agir son pouvoir de veto (pouvoir facultatif). Les poids n'interviennent pas car le veto est justement là pour conférer le même pouvoir d'opposition aux critères fortement pondérés qu'aux critères auxquels on accorde moins de poids. Le seuil veto est donc une autre façon de modéliser l'importance d'un critère.

En revanche, l'autre condition pour accepter le surclassement ($a \succ b$) est qu'une majorité suffisamment forte de critères vote en faveur de ce surclassement. Les critères sont donc en quelque sorte « en concurrence » selon s'ils sont pour ou contre le surclassement. La détermination des poids doit donc se faire en tenant compte de cette propriété. Par exemple, dans une famille de trois vrai-critères g_1 , g_2 et g_3 , attribuer respectivement les poids 7, 2 et 1 et exiger une majorité d'au moins 70% des votes revient à ne pas du tout considérer les critères g_2 et g_3 pour établir ou non le surclassement (si tant est que ces deux critères ne sont pas dotés d'un pouvoir de veto). Autrement dit, il faut s'intéresser aux différentes combinaisons des votes pouvant constituer une majorité ou s'opposer suffisamment fortement à une majorité. On voit aussi d'autre part qu'un paramètre très important est celui de la majorité requise (paramètre λ) pour accepter le surclassement. Ce paramètre doit être fixé en même temps que le jeu de poids.

Méthode des cartes

Dans la pratique de l'aide à la décision, il existe une méthode dite « méthode des cartes » révisée par [Roy b., Figueira J., 2001] qui permet de déterminer un jeu de

ponds pour une famille de critères. Chaque critère est représenté par une carte marquée de son nom. C'est une méthode manuelle qui permet de bien se représenter l'importance relative des critères. Elle aboutit à attribuer à chaque critère de la famille F, un poids représentant l'importance que le décideur lui accorde relativement aux autres critères de F.

La première étape consiste à regrouper les critères équivalents au sens des préférences des décideurs en paquets, s'il y a lieu. A partir de ces paquets et des cartes restantes, le décideur doit en second lieu, classer les cartes par ordre de préférence. Ensuite, il doit choisir d'introduire des cartes vierges (symbolisant l'écart de préférence) entre chacun des paquets ou cartes seules. On obtient donc une pile de cartes et paquets de cartes. Une fois cela réalisé, le décideur doit évaluer numériquement de combien le critère le plus important (sommet de la pile) est plus important que le critère le moins important (bas de la pile). A partir de ce travail de modélisation, la méthode permet de trouver un jeu de poids correspondant aux préférences des décideurs.

Exemple avec une famille de quatre critères C1, C2, C3 et C4 : regroupement en paquets et classement :

- C2,
- C3,
- le paquet composé de C1 et C4.

Il a introduit ensuite successivement des cartes vierges entre ces trois paquets, et a enfin statué pour la situation suivante, rangée dans l'ordre inverse des préférences :

- le paquet composé de C1 et C4,
- 1 carte vierge,
- C3,
- 3 cartes vierges,
- C2.

Il a ensuite évalué l'écart entre n'importe lequel des critères du paquet C1 et C4 et le critère C2 à 2,5 fois plus important. Ce rapport d'importance entre le plus et le moins important paquet est noté z. A partir de ces informations, [Roy b., Figueira J., 2001] proposent de calculer les différents éléments du tableau IV.3.1.4. Dans ce tableau :

- $u = \frac{(z-1)}{\sum \text{rang}}$,
- $e'(r)$ représente le nombre de cartes vierges après le paquet r,
- $e(r) = e'(r) + 1$,
- $k(r) = 1 + u.(e_0 + \dots + e_{r-1})$ avec $e_0 = 0$.

Les $k(r)$ ainsi obtenus représentent les poids non normalisés. Les problèmes rencontrés lors de la normalisation de ces poids, notamment liés aux arrondis, sont traités par les auteurs mais nous ne les développeront pas ici. Nous invitons le lecteur à se référer à [Roy b., Figueira J., 2001] pour plus de détails.

Paquet	Rang	e^r	e_r	$k(r)$
C1 et C4	1	1	2	1
C3	2	3	4	1,5
C2	3	-	-	2,5
total	6		6	
z	2,5			
u	0,25			

Tableau IV.3.1.4 : « Calcul des poids non normalisés »

Il existe aussi des méthodes de désagrégation (section IV.2.4) dans la famille Electre. Elles permettent souvent une détermination automatique des poids ([Mousseau V., Sloviski R., 1998] et [Mousseau V., Sloviski R., Zielniewicz P., 2000]) mais aussi parfois une détermination de tous les paramètres ([Doumpos M., Zopounidis C., 2002]). Elles ne seront cependant pas développées davantage pour les raisons évoquées en introduction de ce chapitre à propos des méthodes nécessitant un ensemble d'observations de situations passées déjà affectées.

Déterminer le coefficient λ

Fixer la majorité requise c'est modéliser une information intercritère. Cette opération doit se faire au regard du jeu de poids retenu pour l'ensemble des critères de la famille F.

En effet, sur l'exemple du tableau IV.3.1.4, la somme des poids $k(r)$ vaut 6 (ne pas oublier qu'il y a deux critères de poids 1). Ainsi, fixer λ à 50% revient à exiger au moins 3 voix pour établir un surclassement. Dans ce cas, le critère C2 avec n'importe quel autre est capable d'établir un surclassement (sous réserve qu'aucun autre critère ne pose son veto). Fixer λ à 70% (4,2 voix) revient ici à exiger une coalition concordante d'au moins trois critères dont C2 pour établir un surclassement.

Plus λ est proche de 100%, plus le modèle est sévère pour établir un surclassement et plus il risque d'apparaître la situation d'incomparabilité lors de la comparaison de deux actions.

Conclusion

Les résultats obtenus avec les méthodes de type Electre ne donnent pas de renseignement sur l'écart qui existe entre deux actions lorsque l'une est préférée à l'autre hormis pour la procédure de tri où le nombre de catégories séparant deux actions affectées différemment peut être significatif.

Cependant, elles permettent de rendre compte de certaines situations apparemment ambiguës (incomparabilité, préférences et indifférences intransitives) mais qui sont la traduction de cas auxquels peuvent être confrontés les décideurs.

L'un des avantages de la famille des méthodes de type Electre est le caractère non totalement compensatoire de l'agrégation multicritère. En effet, à aucun moment l'on a essayé de réaliser une transformation d'échelle permettant de ramener à un critère unique de synthèse, une famille de critères prenant des valeurs de nature a priori hétérogènes. Les poids attribués à chaque critère sont complètement indépendants de l'échelle du critère en question.

La présence de seuil de veto est un moyen supplémentaire de maîtriser le danger de la compensation en sanctionnant des écarts trop importants sur des critères dont les aspects peuvent être plus sensibles.

De plus, le système relationnel de préférence sous-jacent aux méthodes de type Electre permet dans sa construction (notamment grâce à l'introduction des seuils d'indifférence et de préférence) d'introduire la notion de flou afin de distinguer dans les différentes échelles du modèle, les écarts de préférence pertinents et significatifs de ceux qui ne le sont pas mais aussi de tenir compte de l'incertitude et de l'imprécision des données. Or, on a vu en section I.2.11.3 que, bien souvent, les « indicateurs d'impacts » sont entachés d'incertitude et/ou d'imprécision. Cela renforce donc l'intérêt d'utiliser une méthode de type Electre dans notre contexte de l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement.

Les méthodes de type Electre nécessitent de fixer un nombre important de paramètres tandis que les méthodes d'agrégation en critère unique de synthèse nécessitent « simplement » la construction des fonctions de transformation servant à convertir toutes les données sur une échelle unique. Cependant, il est illusoire de croire en cette simplicité si tant est que l'on souhaite faire une modélisation rigoureuse car la tâche de construction de ces fonctions de transformations doit alors être extrêmement fine. Il faut en effet tenir compte à la fois de considérations liées à la nature de chaque critère mais aussi liées à la famille de critère. Séparer les étapes de modélisations en augmentant le nombre de paramètres (cas des méthodes de type Electre) peut simplifier la tâche de modélisation même s'il paraît alors difficile pour des personnes non averties de bien comprendre et interpréter le sens de ces paramètres. Notons enfin que, dans un contexte d'aide à l'évaluation où plusieurs acteurs sont amenés à participer à la modélisation avec différents rôles (expert ou évaluateur), augmenter le nombre de paramètres peut alors permettre de bien séparer les rôles de chacun à condition de bien identifier « qui doit faire quoi ».

Pour toutes ces raisons, nous orientons notre travail vers l'utilisation d'Electre Tri dans notre contexte d'aide à l'évaluation.

Chapitre V : Vers une Aide Multicritère à l'Evaluation

Introduction

Après avoir rappelé différents concepts de l'aide à la décision, nous allons tenter de proposer une approche pour mettre en œuvre une aide à l'évaluation dans le domaine des transports et de l'environnement.

Pour cela, dans une première section plutôt théorique, nous allons tout d'abord positionner les deux processus que sont « aide à l'évaluation » et « aide à la décision », l'un par rapport à l'autre, cela afin de discuter leur degré de complémentarité, puis essayer de dégager une problématique spécifique de l'aide à l'évaluation (qui s'inspire de celles du tri et de la description). A cette occasion, nous allons voir comment cette nouvelle problématique permet de répondre aux fonctions de l'évaluation identifiées en section II.2.5. Enfin, les acteurs ne sont pas les mêmes en aide à la décision et en aide à l'évaluation (notamment à cause de la présence de des experts) : il faut donc étudier ce que cela implique.

Dans une seconde section, nous proposerons un ensemble de choix méthodologiques en vue d'une application dans le domaine de l'environnement et les transports. Ces choix ne sont pas exhaustifs, mais ils permettent l'utilisation de certains concepts introduits dans le chapitre précédant et aboutissent finalement à une synthétisation de l'information, à une agrégation multicritère en aide à l'évaluation.

La troisième section sera une mise en œuvre, une tentative de modélisation pour illustrer ces choix méthodologiques. Cependant, il faut doré et déjà avertir le lecteur que cette mise en œuvre est réalisée à titre illustratif car compte tenu des circonstances de notre travail, nous avons été amené à jouer d'une part le rôle de l'évaluant, mais aussi dans bien des cas, celui de l'expert.

1. De l'aide à la décision vers l'aide à l'évaluation

Nous avons vu en section II.4 certaines différences entre l'aide à la décision et l'aide à l'évaluation que nous proposons. Il s'agit, dans cette première section, de compléter ces propos en présentant :

- la façon dont on peut positionner ces deux processus les uns par rapport aux autres (section V.1.1),
- comment s'inspirer des problématiques d'aide à la décision pour définir une problématique pour l'aide à l'évaluation (V.1.2),
- à quel degré cette nouvelle problématique répond aux attentes fonctionnelles de l'aide à l'évaluation (V.1.3),
- certaines particularités des acteurs en aide à l'évaluation (V.1.4).

1.1. Complémentarité des processus

Le processus d'aide à la décision prend naissance à partir du moment où le décideur a identifié un enjeu décisionnel, autrement dit lorsqu'il a ressenti le besoin d'éventuellement prendre une décision.

Il paraît raisonnable de croire que ce pressentiment résulte lui-même d'une activité d'évaluation de la situation que le décideur a dû réaliser (même implicitement) en fonction de son propre système de valeurs. Il a, par exemple, identifié que la situation devenait critique selon certains points de vue et en a conclu au besoin de changer les choses, d'agir, de décider. Ce besoin semble bien souvent naître de l'évaluation de la situation. On peut alors considérer l'aide à l'évaluation comme un processus pouvant venir en amont d'un processus d'aide à la décision. L'aide à l'évaluation est alors une activité continue consistant à appréhender l'état d'une situation par rapport à une ensemble d'objectifs dont un des buts est d'identifier les enjeux décisionnels, c'est-à-dire de faire prendre conscience de la nécessité d'une prise de décision, de faire naître un processus de décision. Cette étape marque à notre sens une rupture : le problème révélé par le processus d'évaluation se transforme alors en problème de décision. A ce moment, l'aide à l'évaluation « passe la main » à l'aide à la décision qui va en quelque sorte se focaliser sur le problème identifié.

Si le décideur choisit d'engager un processus d'aide à la décision il doit tout d'abord envisager le type de décision possible afin de définir ce qui fait l'objet de la décision. Le décideur doit ensuite recenser les différentes opportunités ou actions qui s'offrent à lui. Puis il doit considérer les conséquences possibles de ces différentes actions.

Une certaine activité d'évaluation réapparaît alors dans le processus d'aide à la décision afin d'évaluer les conséquences des actions potentielles : c'est une façon d'évaluer des situations futures découlant de l'application d'actions et non d'évaluer la situation actuelle (les différences et points communs entre « évaluer une action » et « évaluer une décision » ont déjà été discutés en section II.4.3). En cela, on peut considérer que l'évaluation présente dans un processus d'aide à la décision diffère un peu de la l'évaluation que nous envisageons. Nos travaux ne remettent pas en cause ni le bien fondé ni la pertinence des méthodes d'aides à la décision qui ont connu de

nombreux développements rigoureux [Roy B., Bouyssou D., 1993] et ont donné lieu à de multiples applications [Maystre L.Y., Pictet J., Simos J., 1994]. En conséquence, nous considérons que l'activité d'évaluation qui est présente en aide à la décision (évaluation des conséquences) est un champ de recherche déjà très largement couvert.

Nous pensons que le processus d'aide à l'évaluation ayant permis d'identifier un problème et ainsi d'engager un processus d'aide à la décision, ne se termine pas pour autant lorsque le processus d'aide à la décision commence. Par exemple, un décideur ayant pris conscience d'une opportunité décisionnelle dans un sous domaine de son activité ne va pas pour autant arrêter de considérer les autres facettes de ses responsabilités, même si celles-ci s'éloignent fortement du problème considéré sur le moment.

Enfin, après la prise de décision, l'évaluation redevient celle consistant à veiller sur la situation actuelle et son évolution, de communiquer à son sujet et autres (section III.2).

L'aide à la décision et l'aide à l'évaluation que nous envisageons dans ce texte peuvent être vues comme complémentaires pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'aide à la décision apporte à l'aide à l'évaluation en permettant de :

- se focaliser sur un problème identifié et tenter de le résoudre c'est-à-dire agir pour essayer d'améliorer la situation,
- révéler des objectifs oubliés ou dissimulés,
- rendre vivant le référentiel de valeurs servant à l'évaluation, le remettre en question, le faire évoluer en le sollicitant régulièrement.

De plus, l'aide à l'évaluation apporte à l'aide à la décision en permettant de :

- faire naître des processus d'aide à la décision,
- ne pas commencer un problème de décision à zéro concernant les valeurs,
- garantir ainsi une certaine intégrité et cohérence du décideur avec lui-même lors de la déclinaison de son système de valeurs (éviter par exemple l'apparition d'objectifs inopinés introduits pour la circonstance et dans un but obscur),
- mieux cerner l'objet de la décision,
- éviter d'omettre certaines actions ou opportunités,
- éviter d'omettre certaines conséquences ou certains points de vue,
- ne pas perdre de vue les enjeux plus globaux de l'activité du décideur pendant le déroulement du processus d'aide à la décision,
- permettre le suivi systématique des conséquences d'une prise de décision a posteriori.

Une autre façon de voir le lien entre l'aide à l'évaluation et l'aide à la décision est de considérer l'aide à l'évaluation comme incluse dans l'activité d'aide à la décision. Aider à évaluer revient alors à aider à décider entre les deux actions suivantes :

- ne rien faire,
- envisager un ensemble de décisions possibles en vue d'éventuellement décider.

1.2. De la problématique de description à celle du tri

Selon la nature et la complexité du problème décisionnel, l'aide proposée pourra tenter de répondre à une problématique parmi celles présentées en section III.4.1. Nous avons vu en section III.4.3 que deux problématiques de l'aide à la décision sont assez proches de la nôtre : la problématique du tri et de la description. La première agrège l'information tandis que la seconde non. La première propose donc un résultat synthétique mais qui n'est pas obtenu de façon très transparente (choix d'un modèle d'agrégation et valeur des différents paramètres, Cf. sections V.2.4 et V.3.4). La seconde conduit à un résultat transparent mais difficilement lisible dès lors que le nombre de critères est important.

L'agrégation vue comme fonction transversale à l'aide à l'évaluation peut contribuer tant à introduire de la clarté dans la présentation des résultats, rendus de fait plus condensés et synthétiques, qu'à introduire de l'opacité concernant les règles, méthodes, paramètres, que l'agrégation utilise pour synthétiser les résultats. Agréger contribue donc à deux phénomènes antagonistes :

- simplifier la lisibilité des résultats,
- nuire à la transparence de ces mêmes résultats.

Il semble nécessaire, dans notre contexte exigeant à la fois une certaine transparence et la simplicité du résultat (section I.2), d'éviter de tomber dans cet antagonisme. Pour cela, on peut envisager de combiner une méthode agrégative avec une présentation des résultats de façon désagrégée.

Notons les travaux de [Moussa N., 2001] qui propose une application utilisant une approche d'agrégation-désagrégation fondée sur la modélisation hiérarchique multicritère. Dans cette approche, l'agrégation est réalisée à différents niveaux de la hiérarchie et peut donc concerner un sous-ensemble des critères identifiés. A l'exception de ce travail, les critères à agréger en aide à la décision pour une problématique de tri sont ceux de la famille F et il ne semble pas pertinent de réaliser une agrégation de critères d'un sous-ensemble de F. En effet, notamment de par les propriétés de la famille F vues en section IV.1.3, l'agrégation se doit de prendre en compte tous les critères de F pour offrir un résultat pourvu d'une signification dans une optique d'aider à prendre une décision. Ecarter certains critères reviendrait à considérer seulement certaines des conséquences d'une décision et contribuerait à appauvrir la signification du tri ainsi réalisé qui n'aurait alors plus un sens global vis-à-vis du système de valeurs du décideur. Autrement dit, nous pensons qu'il n'est pas souvent pertinent d'aider à décider en considérant les conséquences de façon partielle.

L'aide à l'évaluation s'appuie sur une hiérarchie d'objectifs, ce qui n'est pas systématiquement le cas de l'aide à la décision. Cette hiérarchie offre l'avantage de positionner les critères (rattachés aux objectifs de plus bas niveau) dans le système de valeurs de l'évaluant. Tout sous-arbre de cette hiérarchie possède une signification : celle du nœud racine de ce sous-arbre. Le sous-ensemble des critères issus (directement ou indirectement) d'un objectif (pris alors pour racine) forme une famille qui semble relativement cohérente par rapport à la signification de ce nœud. Agréger cette famille semble avoir une signification : cela permet d'obtenir le résultat de l'évaluation (résultat d'un tri) d'une situation par rapport à l'objectif en question.

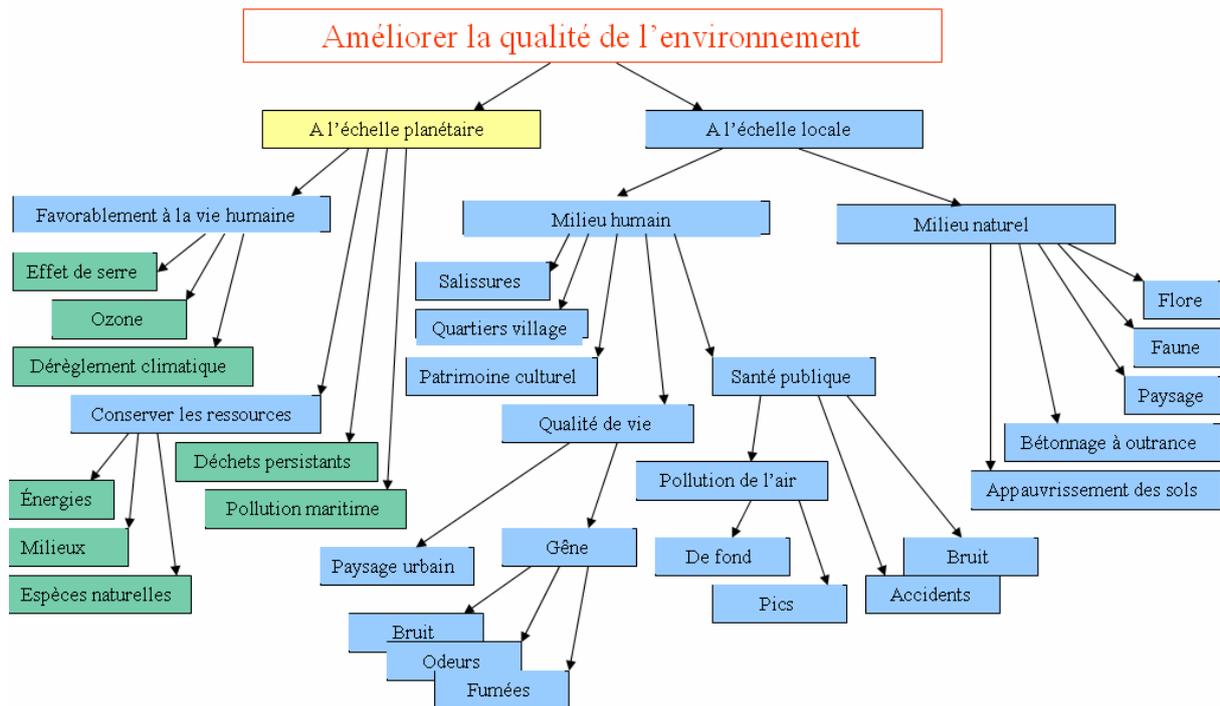


Schéma V.1.2 : « Evaluation à un nœud de la hiérarchie d'objectifs »

Le schéma V.1.2 présente un exemple d'évaluation à un nœud de la hiérarchie d'objectifs. Ici, l'évaluation de la situation est voulue à l'échelle planétaire et ainsi, tous les objectifs feuilles issus de ce nœud seront pris en compte dans le résultat de l'évaluation.

Il y aura alors autant d'agrégations possibles et finalement autant de résultats d'évaluation que d'objectifs. Autrement dit, nous proposons, à chaque nœud, d'affecter le système évalué à une catégorie et cette affectation sera réalisée en prenant en compte tous les critères issus de la décomposition de cet objectif.

Cette façon d'évaluer à tous les nœuds de la hiérarchie semble offrir un certain continuum entre la problématique de tri et de la description. En effet, cela offre à l'évaluant la possibilité de parcourir la hiérarchie d'objectifs en consultant à chaque nœud le résultat agrégeant tous les critères directement ou indirectement rattachés à l'objectif en question. En partant par exemple de la racine de l'arbre, l'évaluant pourra alors naviguer dans la hiérarchie pour descendre jusqu'aux objectifs non décomposables et remonter à sa guise tout en consultant à chaque niveau un résultat agrégé.

Une telle fonction semble pallier l'antagonisme entre simplicité du résultat et transparence en rendant possible l'alternance de phases d'agrégation de l'information

(remontée dans l'arbre des objectifs) et de désagrégation (descente dans l'arbre) lors de la consultation des résultats.

C'est finalement cette problématique que nous retiendrons pour l'aide à l'évaluation et que nous allons tenter de décrire dans notre approche. Elle est une adaptation des problématiques du tri et de la description au contexte de l'aide à l'évaluation et nous allons dans la section V.2 proposer certaines options méthodologiques pour finalement permettre une mise en œuvre à caractère expérimentale dans la section V.3.

Avant cela, nous allons voir ce qu'implique cette prise de position.

1.3. Adéquation avec les fonctions de l'aide à l'évaluation

Dans la section II.2, nous avons recensé différents buts pour l'évaluation d'un système. Nous allons les passer en revue en essayant de voir le degré avec lequel notre approche permet de les atteindre.

Parmi les buts retenus considérons tout d'abord les trois buts suivants qui nous semblent assez transversaux aux autres :

- communiquer avec transparence sur l'état d'un système,
- instaurer le dialogue et aider à la concertation,
- faciliter la négociation concernant les objectifs à retenir.

Il apparaît assez naturel que ces buts pourront être atteints si tant est que l'outil d'aide à l'évaluation permettra une utilisation simple, compréhensible et transparente. Il pourra alors être le support à la communication, au dialogue, à la concertation et à la négociation. D'autre part, la problématique que nous avons envisagée dans la section précédente peut servir à atteindre ces buts car elle permet de simplifier la lecture des résultats dans sa composante agrégée tout en évitant l'antagonisme que nous avons soulevé (entre simplicité des résultats et transparence) en permettant la consultation d'évaluation à différents niveaux d'agrégations, jusqu'à une consultation complètement désagrégée.

Nous pensons qu'il est possible de regrouper les autres buts cités en section II.2 en trois grandes familles de fonctions inhérentes à l'aide à l'évaluation. Nous allons voir en quoi la problématique retenue en section précédente (V.1.2) permet la mise en œuvre de ces fonctions.

1.3.1. Fonction diagnostic

Cette première fonction regroupe à notre sens les buts suivants :

- faire le constat, le diagnostic de l'état d'un système,
- identifier les faiblesses et points forts d'un système,
- contrôler les dérives par rapport aux objectifs ou aux normes.

L'approche que nous proposons semble assez naturellement répondre à cette première fonction de diagnostic. En effet, il s'agit avant tout de permettre de consulter le résultat de l'évaluation d'une situation, de l'état d'un système. De par la nature de ces résultats, l'évalué sera informé sur l'état de la situation. Enfin, il

est possible dans la construction de chaque critère de modéliser les catégories par rapport à des normes (exemple : construction des catégories à partir de la norme de Kyoto en section V.3.2.1). Tout ceci qui tend à atteindre les buts de la fonction diagnostic.

1.3.2. Fonction alerte

Cette seconde fonction a pour buts de :

- alerter,
- révéler certains problèmes,
- faire apparaître de nouveaux enjeux décisionnels.

Si l'agrégation est fondée sur les principes d'Electre Tri, elle permet alors l'introduction éventuelle de seuils de veto pour certains critères. Ces seuils de veto sont une manière de conférer un fort pouvoir de remontée d'information dans la hiérarchie à un seul critère. Dans le cas de veto, le résultat de l'évaluation globale est modifié et finalement, l'alerte est bien donnée. Bien entendu, ce n'est à notre sens pas un moyen suffisant pour alerter l'évaluant. Si l'évaluation globale est au rouge, l'évaluant doit pouvoir savoir d'où cela provient, savoir qu'est-ce qui est la cause de cette alerte. Or, la problématique que nous avons retenue offre la possibilité de parcourir en profondeur l'arbre des objectifs, et ainsi d'identifier l'objectif (ou le critère) qui est la cause de l'alerte.

Enfin, concernant le but qui consisterait à faire apparaître de nouveaux enjeux décisionnels, nous pensons que la fonction d'alerte peut elle-même servir à mettre l'accent sur l'émergence d'un problème sinon connu, tout au moins identifié. Cependant, pour renforcer l'atteinte d'un tel but, nous préconisons d'intégrer autant que possible dans la hiérarchie, des objectifs représentant des points de vues émergents. Autrement dit, un objectif latent paraissant secondaire voire peu important devrait être intégré à la hiérarchie, même avec un très faible poids mais par exemple doté d'un pouvoir de veto. Une autre façon de faire serait de dédier une branche entière de la hiérarchie d'objectifs à la fonction de veille qui regrouperait alors tous les objectifs en émergence. Cela reviendrait par exemple à introduire un objectif « Maîtriser l'émergence de nouvelles nuisances » qui pourrait être décomposé en « Impacts des nouveaux polluants » ...

1.3.3. Fonction évolution

Cette dernière fonction se veut de :

- réaliser le suivi de l'évolution d'un système au cours du temps,
- prévoir l'évolution de l'état du système,
- anticiper les conséquences de certaines prises de décisions,
- sur une base commune d'objectifs, comparer un système avec un autre,
- comparer plusieurs scénarii.

Notre approche doit permettre l'évaluation d'un système. Bien entendu on peut grâce à cela évaluer la situation actuelle du système. Mais rien ne nous empêche d'évaluer une situation passée et en comparaison des deux évaluations, analyser l'évolution. Il ne semble pas a priori aisé de comparer directement le résultat de l'évaluation de deux situations compte tenu de la forme que prend ces résultats. En

effet, le résultat de l'évaluation d'une situation est synthétique mais tout son intérêt est de pouvoir « zoomer » sur certains objectifs, c'est-à-dire parcourir la hiérarchie d'objectifs. Pour permettre une analyse, une comparaison de deux situations, il faut tout au moins que la hiérarchie d'objectifs (ou un sous-ensemble de celle-ci) servant de référence soit la même pour les deux systèmes évalués. Cela doit aussi être le cas pour les paramètres tels que les poids, les critères, les seuils et autres. Sous cette condition on peut alors imaginer présenter à chaque nœud de la hiérarchie conjointement les évaluations des deux systèmes que l'on souhaite comparer. Cela rendu possible, on peut alors comparer une situation passée à la situation actuelle d'un système.

Au delà de cela, si l'on dispose de prévisions sur certains critères de ce que serait la situation à court, moyen ou plus long terme, on peut alors aussi comparer la situation actuelle avec une situation à venir. De même, sous l'hypothèse de certaines prises de décisions, si l'on est capable de prévoir (y compris pour plusieurs scénarii) leur impact sur la situation actuelle (exemple : prévision de trafic permettant de prévoir des émissions de gaz) on peut alors comparer la situation actuelle avec une situation future. Cependant, l'analyse des conséquences d'actions (ou scénarii) entre dans le domaine de l'aide à la décision, et c'est là que ces deux activités se rejoignent. A ce titre, nous ne pensons pas empiéter sur cette activité qui a fait ses preuves.

Une façon de comparer deux situations serait de faire de l'évaluation relative (évaluer une situation par rapport à une autre) et non de l'évaluation absolue (évaluer une situation par rapport à un référentiel). Cela revient par exemple à tenter, à partir des paramètres du modèle d'aide à l'évaluation (objectifs, critères, seuils, poids...) catégories mises à part, d'établir les éventuels surclassements entre les deux situations et cela à chaque nœud de la hiérarchie d'objectifs. Cela permettra alors de conclure à chaque nœud, soit à la préférence d'une situation à une autre, soit à l'indifférence, soit à l'incomparabilité (situations trop différentes). Le cas de l'incomparabilité est certes gênant. Cependant, comme pour la problématique retenue en section V.1.2, on peut envisager alors la possibilité de parcourir en profondeur l'arbre des objectifs, c'est-à-dire de décomposer l'objectif pour lequel les situations sont incomparables afin d'identifier la source du conflit entre critères, d'identifier en quoi les deux situations sont trop différentes.

Concernant l'analyse tendancielle, il s'agit alors de comparer deux états d'un même système pour un objectif de la hiérarchie. L'amélioration se traduirait alors par la préférence de la situation la plus récente, la dégradation par la préférence de la situation la plus ancienne, et le statut quo par l'indifférence entre les deux. L'incomparabilité traduirait une évolution assez radicale : il faudrait alors parcourir l'arbre des objectifs en profondeur, c'est-à-dire consulter les sous objectifs de l'objectif en question. Notons cependant que cette manière d'appréhender l'évolution d'une situation par comparaison entre l'état initial et l'état final ne permet pas de tenir compte de l'intervalle de temps qui sépare les dates d'observation de ces deux états.

Soulevons maintenant un problème qui peut apparaître lors de la comparaison de l'évaluation de deux situations telle que décrite ci-dessus. Si tant est que les deux situations à comparer sont relativement proches l'une de l'autre (cas de l'analyse

tendancielle par exemple), on risque alors de ne pouvoir distinguer les deux évaluations, ni donc d'en dégager la tendance de l'évolution. Autrement dit, la précision du modèle servant à évaluer une situation de façon globale n'est peut-être pas assez fine pour réaliser de l'analyse tendancielle. Pour pallier ce défaut, on peut envisager de construire un autre modèle dont les paramètres seraient plus fins.

En définitive, l'approche par les objectifs et la problématique retenue en section VI.1.2 pour l'aide à l'évaluation permet a priori de contribuer à atteindre les différents buts identifiés en section III.2.

1.4. Complémentarité entre les rôles des acteurs

Le processus d'aide à l'évaluation fait intervenir à la fois l'évaluant et les experts. Ces deux catégories d'acteurs ont un devoir de communiquer entre eux sur les différents choix de modélisation afin de contribuer au maximum à la transparence.

Il existe une certaine complémentarité entre le rôle de l'évaluant et celui des experts. L'évaluant est celui qui sélectionne et pondère les différentes facettes de la réalité du système qu'il souhaite prendre en compte dans l'évaluation. Cependant, il n'est pas exclu qu'il puisse ignorer certaines de ces facettes. Il découle de cela un premier rôle pour les experts qui consiste à informer l'évaluant sur les caractéristiques de la réalité : les experts doivent veiller à ce que si l'évaluant écarte un point de vue, un objectif, il le fait en connaissance de cause et qu'il ne s'agit pas d'un oubli. Dans ces conditions uniquement, l'évaluant demeure souverain dans ses choix. Il peut alors construire sa propre hiérarchie d'objectifs et la pondérer.

Notons que les poids, tout comme le système de valeurs de l'évaluant, sont amenés à évoluer au cours du temps. Ils peuvent d'ailleurs faire l'objet de communications, de justifications ou servir à la concertation selon le rôle et la volonté de l'évaluant. Ces évolutions ne sont pas à bannir car il semble normal que les valeurs de l'évaluant changent au cours du temps. Pour exemple, on peut noter que le référentiel servant à l'évaluation de la qualité de l'air dans une ville qui est utilisé par l'indice Atmo a lui aussi subi des modifications durant ces dernières années [Garcia J., Colosio J., Jamet P., 2001, p47]. Bien entendu, ce référentiel, ce système de valeurs, conditionne fortement le résultat de l'évaluation. Une utilisation perverse possible de l'approche que nous proposons est la recherche par l'évaluant du « bon jeu de poids » de façon à obtenir l'évaluation qu'il souhaite. Cela paraît difficilement évitable. Cependant, certaines précautions peuvent être prises par les personnes chargées de mettre en œuvre l'aide à l'évaluation pour limiter cet effet pervers :

- réaliser le travail de pondération en dehors d'un contexte d'évaluation précis (même s'il semble difficile d'enlever de l'esprit de l'évaluant ses propres préoccupations),
- finir ce travail avant la présentation du résultat de l'évaluation,
- demander la justification des brusques changements de valeurs (notamment des objectifs et des poids) au cours du temps,
- étudier la cohérence entre le système de valeurs décliné en aide à l'évaluation et ceux déclinés en aide à la décision en identifiant les aberrations ou contradictions.

Nous pensons que les objectifs de fin non décomposables en sous-objectifs, les feuilles de l'arbre d'objectifs, doivent posséder une description plus approfondie que les autres. En effet, comme ils ne sont pas décomposables et dès lors qu'ils ont été sélectionnés par l'évaluant, ils devront se voir attribuer au moins un critère par les experts. A cet effet, l'évaluant doit décrire le plus précisément possible la signification de chacun de ces objectifs. Les objectifs n'étant pas de plus bas niveau n'ont a priori pas besoin d'une description aussi fine car ils servent à construire les nœuds intermédiaires de la hiérarchie. Ils ne sont finalement utilisés que par l'évaluant qui « se comprend ». Cependant, dans un but de communication, l'évaluant a lui-même tout intérêt à être suffisamment explicite et clair quant à la définition de ces derniers.

Méthodologiquement, c'est aux experts de définir les critères. Ce travail doit se faire à la vue des objectifs retenus par l'évaluant. La définition des objectifs est donc un pré-requis à la tâche de sélection des critères, de construction de la famille de critères.

Dans certains cas, il peut exister des nuances sémantiques entre la définition de l'objectif faite a priori par l'évaluant et la définition du critère faite par l'expert en question pour tenter d'appréhender l'atteinte de l'objectif en question. De plus, il existe souvent plusieurs critères candidats pour évaluer l'atteinte d'un même objectif. Il est donc nécessaire de décrire ce que représente précisément un critère pour informer l'évaluant car c'est lui qui va choisir de retenir ou non le ou les critères qui serviront à cerner l'atteinte de l'objectif.

Notons que les experts ne sont pas toujours à même de trouver ou de construire un critère pour représenter certains objectifs de plus bas niveau. Nous proposerons une façon de traiter ce cas lors de la modélisation en section V.2.2.2.

Enfin, en fonction de la façon dont un outil s'insère dans le processus d'aide à l'évaluation, en fonction de ce à quoi il est destiné, le rôle des acteurs peut varier. A titre d'illustration, nous envisagerons en section VI.1 trois modes différents pour l'utilisation d'un tel outil.

2. Orientations méthodologiques

Pour permettre l'agrégation de l'ensemble des critères rattachés (directement ou indirectement) à un nœud de la hiérarchie d'objectifs, nous avons recensé plusieurs méthodes (chapitre IV). Dans le choix de l'approche, seront écartées les méthodes de type « critère unique de synthèse » et les méthodes fondées sur un « système expert ». En effet, ces agrégations sont possibles et légitimées dès lors que les connaissances des experts concernant les phénomènes permettent soit de construire une échelle commune aux différents critères grâce à des coefficients, soit d'établir des règles de déduction pour faire des affectations.

Cependant, si tant est qu'une méthode agrégative de type « critère unique de synthèse » semble assez facile à mettre en œuvre de façon rigoureuse pour l'agrégation au niveau d'un objectif précis (exemple : objectif financier), nous considérons que le résultat d'une telle agrégation peut alors devenir un critère à proprement dit que l'on rattachera alors directement à l'objectif en question qui deviendra par voie de conséquence un objectif de plus bas niveau. Cela reste donc tout à fait compatible avec notre choix méthodologique mais l'on se doit alors de définir les éventuels seuils (de discrimination et de veto) sur ce critère de synthèse.

De même si, pour certaines raisons (présence par exemple de dépendances au sens des préférences entre deux critères [Roy B., Bouyssou D., 1993, p117]) il est préférable d'agréger au niveau d'un objectif en utilisant un moteur d'inférence ou système expert [Levine P., Pomerol J.-C., 1989], nous préconisons alors l'utilisation de ces outils permettant aussi de répondre à la problématique du tri. Dans ce cas, le résultat de ce tri peut devenir un critère (avec aussi d'éventuels seuils à définir) qui représentera alors l'objectif en question et qui sera donc pris en compte dans une agrégation d'un niveau plus global.

Nous allons donc nous intéresser ici aux méthodes de type Electre Tri qui permettent un autre type d'agrégation de critères (ou plus généralement de pseudo-critères, critères enrichis de seuils de discrimination comme introduit dans la section IV.1.3.3). Dans cette approche, l'évaluation résultant d'une agrégation de type Electre à un niveau de la hiérarchie ne sera pas directement utilisée pour une évaluation à un niveau supérieur de l'arbre. Chaque agrégation sera réalisée à partir de tous les critères directement rattachés au nœud en question ainsi que tous les critères rattachés à un des nœuds de la descendance du nœud en question. Cette prise de position n'est pas la seule façon de faire mais elle se justifie cependant par le fait qu'il semble intéressant de conserver tant que possible le détail de l'information. De plus, cela évite de devoir construire, à chaque niveau de la hiérarchie, de nouveaux seuils (de discrimination et de veto) alors nécessaires pour une agrégation de niveau plus important utilisant le résultat déjà agrégé à ce niveau.

Dans notre approche nous allons être amenés à réaliser d'autres choix en vue de l'agrégation de type Electre Tri :

- nombre de catégories et signification de celles-ci,
- manière de pondérer les critères et de fixer le paramètre λ ,
- façon de traiter les critères nécessitant une agrégation temporelle et/ou géographique.

Dans l'idéal, ces choix de modélisation devraient être réalisés par les acteurs du processus. Cependant, compte tenu du contexte présenté en section I.2 et dans un but exploratoire, nous allons jouer le rôle des experts et de l'évaluant afin d'illustrer notre travail.

Nous allons maintenant passer en revue ces aspects méthodologiques et finirons cette section en comparant notre approche avec l'indice Atmo duquel nous nous sommes fortement inspiré.

2.1. Catégories

Nous rappelons que la problématique du tri à laquelle se propose de répondre la méthode multicritère Electre Tri, consiste à affecter une action (une situation dans notre cas) dans une catégorie prédéfinie qui permettra de qualifier l'action en question. Il faut donc que chaque catégorie ait une signification précise. D'autre part, dans Electre Tri, les catégories doivent être ordonnées en terme de préférences. Il faut donc préalablement construire l'ensemble de ces catégories ordonnées qui seront disponibles pour affecter une situation et ainsi la qualifier. Pour cela, il est important de définir les différentes valeurs limites de ces catégories appelés profils limites (cf. section IV.3.3.1).

Le choix du nombre des catégories est important. Il va déterminer la finesse du résultat de l'évaluation multicritère. En effet, trop peu de catégories n'offrirait pas assez de nuances sémantiques pour qualifier une situation de façon suffisamment précise. Un grand nombre de catégories semble alors souhaitable, mais un trop grand nombre de catégories impliquerait des nuances trop fines entre les valeurs limites pour qu'elles soient significatives.

Notons aussi l'importance de réaliser une bonne description du sens de chacune des catégories notamment lorsque l'on est amené à faire intervenir plusieurs experts. Il faut que chaque catégorie ait la même signification pour chaque expert. Ainsi, une description précise de chaque catégorie est un pré-requis raisonnable à une bonne modélisation des profils limites.

A titre d'exemple, nous allons regarder à nouveau comment est construit l'indice Atmo de l'ADEME. On voit dans le tableau I.2.2.4 qu'il s'agit en fait de trois découpages inclus les uns dans les autres. Le premier, le moins fin, est à trois catégories ordonnées :

- vert,
- orange,
- rouge.

Le second possède six catégories ordonnées :

- très bon,
- bon,
- moyen,
- médiocre,
- mauvais,
- très mauvais.

Ce second découpage est inclus dans le premier dans le sens où il précise les catégories du premier. Ainsi, les situations bonnes et très bonnes sont regroupées pour former la situation verte.

Enfin, un troisième découpage constitue un indice dont les valeurs possibles sont les nombres allant de 1 à 10 dans l'ordre décroissant des préférences (lors de l'évaluation d'une situation, l'indice 1 est préféré à l'indice 2). Il est là pour préciser la position d'une situation dans une catégorie. En effet, on peut estimer que la catégorie « très bon » peut se découper en deux pour préciser si on est plutôt dans le haut ou dans le bas de la catégorie très bon.

Nous proposons de nous inspirer fortement de l'indice Atmo pour la construction des catégories. Cet indice propose en effet trois découpages inclus les uns dans les autres. Or, lors de la construction des catégories, certains critères pourront assez facilement être découpés en trois catégories (vert, orange et rouge), moins facilement en six (très bon...) et encore moins en dix catégories. D'autres au contraire pourront être découpés en dix catégories sans difficulté. Cela peut dépendre de la nature même de l'information à modéliser. Quand cette information est suffisamment riche, c'est-à-dire quand le niveau d'expertise permet un découpage fin, il est alors possible de retenir dix catégories, et dans le cas contraire trois.

Mélanger à la fois des critères découpés en dix, six et trois catégories ne pose pas de problème théorique du point de vue de l'agrégation Electre Tri. En effet, il suffit de considérer que si une situation appartient à la catégorie verte sur un critère découpé en trois catégories ce critère ne s'opposera pas à l'affectation globale de la situation dans l'une ou l'autre des catégories incluses dans le vert (c'est-à-dire « bon » ou « très bon » pour le découpage en six catégories et 1, 2, 3 ou 4 pour le découpage en dix).

Cependant, il reste la question de l'affichage du résultat de l'agrégation. En effet, il peut paraître trompeur d'afficher un résultat plus fin que tous les critères qu'il agrège. Par exemple, si on agrège deux critères découpés en trois catégories (critères trop pauvres pour avoir pu construire six catégories), et pour lesquels la situation que l'on souhaite évaluer est verte, il ne semble pas significatif de présenter un résultat agrégé de type : Vert – Très bon – 1. Ici, seule la couleur est significative car le résultat agrégé ne doit pas être plus précis que ne le sont les critères participant à l'agrégation.

En revanche, dès lors que l'on agrège des critères parmi lesquels au moins un a un niveau fin, il devient à notre sens pertinent de présenter ce niveau comme résultat de l'agrégation.

Ce choix est bien entendu une option méthodologique et on peut aussi bien envisager d'afficher systématiquement le niveau le plus fin (catégorie de 1 à 10 dans notre cas précis). Ou encore, de conserver le niveau de finesse du résultat comme le niveau de finesse du critère le plus fin faisant partie de la coalition concordante.

Cette discussion peut paraître un peu inutile car, avec cette option méthodologique, il suffirait d'un critère découpé en dix catégories pour faire disparaître le problème. Cependant, telle qu'a été retenue la problématique en section V.1.2, l'agrégation est envisagée à tous les nœuds de la hiérarchie. En conséquence, on n'agrège pas forcément tous les critères, mais seulement un sous-ensemble. Le problème de la précision du résultat et de sa signification peut alors être rencontré assez fréquemment.

2.2. Poids et paramètre λ

Nous avons abordé la façon de déterminer les poids avec la méthode des cartes issue des travaux de [Roy b., Figueira J., 2001]. Concernant la pondération des objectifs dont il est question en aide à l'évaluation le problème semble différent de celui de la pondération des critères de la famille F en aide à la décision. En effet, les décideurs doivent dans ce cas pondérer tous les critères de la famille F relativement les uns aux autres. Alors que l'approche par les objectifs que nous avons retenue conduit assez naturellement à pondérer relativement les uns aux autres les objectifs directement rattachés à un même nœud de la hiérarchie. Le problème paraît donc moins complexe car il y a moins d'objectifs en concurrence à un nœud précis que de critères en concurrence dans la famille F. En revanche, on est obligé de réitérer cette même étape (autant de fois que de nœuds) tout en diminuant le nombre des items à pondérer dans chacune de ces étapes. Finalement, cela revient à fractionner l'étape de pondération. Il reste cependant à définir la façon dont on va se servir de ces différentes pondérations pour préparer l'agrégation (de type Electre Tri) des critères rattachés aux objectifs de plus bas niveau. Il n'y a pas a priori une unique façon de faire mais nous en proposons une que nous retiendrons pour la mise en œuvre.

2.2.1. Poids fixés par l'évaluant

Nous avons vu que la question de la pondération des objectifs est du ressort de l'évaluant. Il s'agit en effet d'un jugement de valeurs qui consiste à attribuer de l'importance aux différents critères, par l'intermédiaire d'un pouvoir de vote.

Nous proposons ici une façon de réaliser ces pondérations qui consiste à :

- pour chaque objectif décomposable, définir un jeu de poids pour l'ensemble des sous-objectifs qui lui sont directement rattachés,
- tenir compte de tous ces jeux de poids pour déterminer les poids des objectifs de plus bas niveau qui entreront dans l'agrégation souhaitée à un nœud donné.

La première étape sera nommée « pondération des nœuds de la hiérarchie » et la seconde « propagation des poids ». Avant de détailler cela, nous allons introduire certaines notations nécessaires à la description de ces étapes.

Notations

Nous noterons $S(O)$ l'ensemble des suivants de l'objectif O , c'est-à-dire l'ensemble des sous-objectifs directement rattachés à l'objectif O . De la même façon, notons $P(O)$ l'objectif précédent de O , c'est-à-dire l'objectif plus général auquel est directement rattaché l'objectif O . Si $S(O)$ contient en général plusieurs objectifs (tous les suivants de O), $P(O)$, lui, est un ensemble constitué d'un seul élément, car un objectif n'a qu'un seul précédent direct.

Pondération des nœuds de la hiérarchie

Si l'on souhaite rendre possible une agrégation à n'importe quel nœud N de la hiérarchie (c'est-à-dire à n'importe quel objectif N décomposé en au moins deux

sous-objectifs) et ensuite proposer une évaluation globale à ce niveau, l'évaluant doit alors pondérer chacun des sous-objectifs directement rattachés à N. Il est libre d'utiliser les valeurs qu'il souhaite pour pondérer les sous-objectifs directement rattachés à N. Il doit finalement attribuer à chaque objectif $O_i \in S(N)$ un poids n_i .

Pour ce faire, on peut préconiser la « méthode des cartes » proposée par [Roy b., Figueira J., 2001] que nous avons décrite en section IV.3.1.4.

Notons que si la hiérarchie est vaste, ce travail de pondération peut devenir conséquent, car il doit être fait à chaque nœud de l'arbre des objectifs.

Nous souhaitons, d'un point de vue pratique et pour préparer l'étape suivante de « propagation des poids » dans l'ensemble de la hiérarchie, normaliser le jeu de poids. Pour chaque $O_i \in S(N)$ nous retiendrons finalement le poids normalisé e_i suivant :

$$e_i = \frac{n_i}{\sum_{O_j \in S(N)} n_j}$$

Ainsi les e_i sont compris au sens large entre 0 et 1 et à chaque nœud N on a :

$$\sum_{S(N)} e_i = 1$$

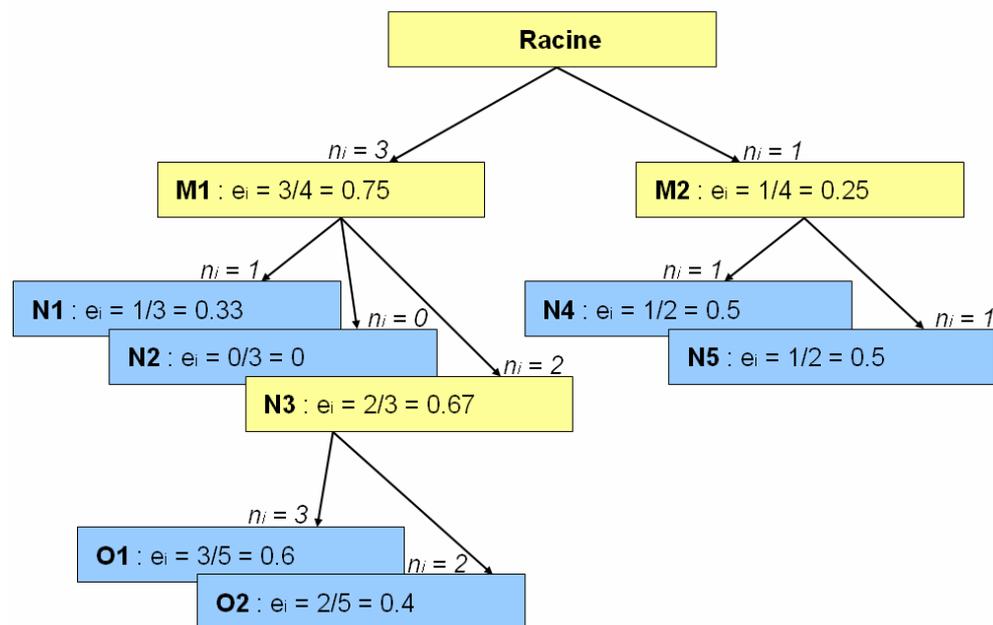


Schéma V.2.2.1.a : « Jeux de poids et normalisation »

Sur le schéma V.2.2.1.a, le poids normalisé de l'objectif N1 a été obtenu de la façon suivante :

$$e_{N1} = n_{N1} / (n_{N1} + n_{N2} + n_{N3}) = 1/3$$

On y vérifie bien que :

$$e_{N1} + e_{N2} + e_{N3} = 1/3 + 0 + 2/3 = 1$$

Propagation des poids

Nous souhaitons rendre possible l'agrégation à chaque nœud M de la hiérarchie d'objectifs comme vu en section V.1.2. Considérons maintenant un objectif N tel que $N \in S(M)$. Autrement dit, N est un sous-objectif directement rattaché à M. Soit e_N le poids normalisé attribué à l'objectif N. e_N représente l'importance relative qu'apporte l'évaluant à l'objectif N par rapport aux autres sous-objectifs de l'ensemble S(M). Intéressons nous maintenant aux poids des objectifs de l'ensemble S(N) pour une évaluation agrégée au niveau de M. Chacun des sous-objectifs de N va contribuer un peu à l'évaluation de niveau M, en fonction du poids qu'il possède, mais aussi en fonction du poids que possède N. Nous proposons de définir le pouvoir de vote de chaque objectif $O \in S(N)$ par le produit : $e_O \times e_N$. Ainsi le poids accordé à N au niveau supérieur va se répartir entre tous les objectifs de S(N). Nous remarquons alors que :

$$\sum_{O \in S(N)} (e_O \times e_N) = e_N \times \sum_{O \in S(N)} e_O = e_N$$

Ce qui est directement dû à la propriété précédente : $\sum_{S(N)} e_i = 1$

Le poids d'un objectif dans une agrégation dépend donc de sa position dans la hiérarchie ainsi que du niveau auquel on souhaite agréger l'information. Notons finalement $e_N(A)$ le poids normalisé de l'objectif N si l'on souhaite réaliser une évaluation agrégée au niveau de l'objectif A. A est un niveau forcément supérieur à N dans la hiérarchie d'objectifs, sinon N ne participe pas à cette évaluation. Nous définirons alors :

$$e_N(A) = \prod_{\substack{O_j \in S(A) \\ O_j = N}} e_j$$

Dans cette formule, O remonte la hiérarchie des objectifs à partir de N et cela jusqu'à atteindre un objectif de S(A), c'est-à-dire un sous-objectif directement rattaché à A. Cette formule permet ce que nous avons appelé précédemment la propagation des poids dans la hiérarchie. Cette propagation dépend du niveau auquel on souhaite une évaluation agrégée. Ainsi, plus le niveau d'agrégation est proche de la racine de l'arbre d'objectifs, plus le nombre d'objectifs pris en compte est important et plus le poids de chaque objectif baisse. Une conséquence de cette propagation est que pour une agrégation souhaitée (à un niveau fixé) la somme des poids des objectifs de plus bas niveau, ceux qui ne sont pas décomposés en sous-objectifs, vaut 1.

Par la suite, nous considérerons le problème pour une agrégation souhaitée à un niveau A préalablement fixé. Nous ne considérerons plus désormais les objectifs intermédiaires, c'est-à-dire les objectifs décomposables en sous-objectifs, mais uniquement les objectifs de plus bas niveau. Nous noterons cet ensemble d'objectif

F pour faire référence à la famille des critères dont il est question dans les travaux de [Roy B., Bouyssou D., 1993]. Chaque élément de F aura donc un poids résultant de la procédure décrite précédemment, qui sera le reflet des jeux de poids fixés par l'évaluant aux différents niveaux de la hiérarchie. Pour distinguer la notation et ainsi bien faire ressortir que ces poids sont ceux des objectifs de plus bas niveau, non décomposés, nous noterons p_i le poids d'un objectif de F :

$$p_i = e_N(A) = \prod_{O_j \in F} e_j$$

En conséquence :

$$\sum_F p_i = 1$$

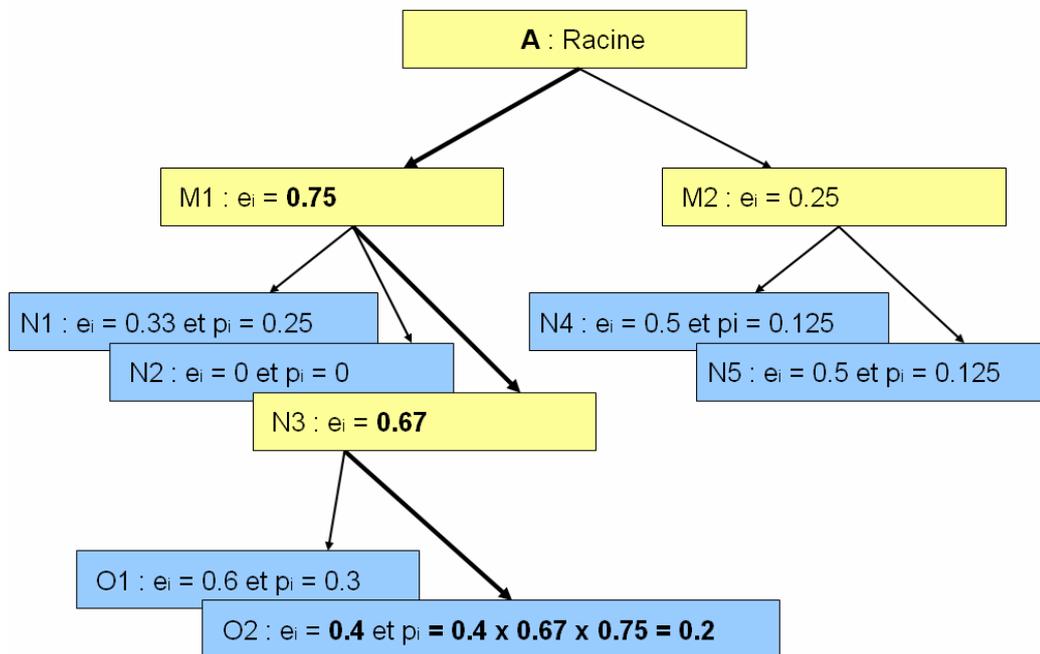


Schéma V.2.2.1.b : « Propagation des poids »

Voyons comment fonctionne la propagation des poids sur notre exemple dans le schéma V.2.1.1.b. Les jeux e_i ont été calculés pour la normalisation à chaque nœud de la hiérarchie. Et finalement c'est le jeu de poids p_i qui est retenu et qui sera utilisé dans la procédure d'agrégation. Les objectifs M1, M2 et N3 sont décomposables. Ils sont des nœuds et ne sont donc pas directement pris en compte dans l'agrégation, mais uniquement par l'intermédiaire de leurs sous-objectifs. La famille F est donc composée des six objectifs N1, N2, O1, O2, N4 et N5.

Sur le schéma V.2.2.1.b, on constate bien que seuls les objectifs feuilles de l'arbre (N1, N2, O1, O2, N4 et N5) ont un poids p_i .

Le poids p_i de l'objectif O2 a été calculé de la sorte :

$$p_{O2} = e_{O2} \times e_{N3} \times e_{M1} = 0,2$$

De plus, on vérifie bien que :

$$p_{N1} + p_{N2} + p_{O1} + p_{O2} + p_{N4} + p_{N5} = 1$$

Remarquons qu'un objectif pondéré à 0 par l'évaluant (comme N2 dans notre exemple) ne votera pas lors de l'établissement du surclassement dans la condition concernant la majorité requise. Nous n'excluons cependant pas qu'il puisse exercer son pouvoir de veto, si l'évaluant en a décidé ainsi.

La procédure de propagation des poids décrite précédemment semble présenter un effet indésirable. En effet, si l'on modifie un poids e_i fixé par l'évaluant alors tous les poids finaux p_i sont modifiés. Cela pose-t-il un problème théorique ? Nous pensons que non. En effet, il est assez facile de montrer que les nouveaux poids ainsi obtenus sont équivalents aux anciens pour toute agrégation réalisée à un niveau inférieur ou égal au nœud de la hiérarchie où la modification a eu lieu. Bien entendu ces nouveaux poids ne sont pas équivalents aux anciens pour toute agrégation réalisée à un niveau supérieur au nœud de la hiérarchie où la modification a eu lieu. Mais cela est une condition nécessaire pour que la modification du poids représentative des valeurs de l'évaluant soit bien prise en compte dans l'agrégation.

2.2.2. Problèmes rencontrés par les experts

L'étape de sélection des critères pour représenter les objectifs de plus bas niveaux décrite en section II.3.2.3 fait intervenir les experts.

Examinons tout d'abord deux cas qui ne sont pas sans intérêt. Dans le domaine de l'environnement et plus précisément concernant la pollution atmosphérique, les travaux des experts ont mis en évidence :

- certaines dépendances et interactions entre polluants,
- des phénomènes de réactions en chaînes dues à la présence conjointe de plusieurs phénomènes (exemple : smog photochimique résultant de la teneur en divers polluants et du niveau d'insolation, cf. section I.2.4.3).

Il semble alors difficile dans ces cas, de conserver des critères mono-polluant pour modéliser ces phénomènes. Une solution pour pallier ce problème est d'utiliser un moteur d'inférence capable de déduire (à partir d'une base de règles préalablement définies par les experts) le niveau de dangerosité du phénomène global connaissant les teneurs en différents polluants dans l'air et autres caractéristiques physiques (constituant la base de faits). Nous renvoyons pour cela le lecteur à la littérature concernant les systèmes experts dont un ouvrage est [Levine P., Pomerol J.-C., 1989]. Dans ce cas, la modélisation du critère devant représenter le phénomène en question se fera directement à partir du résultat obtenu par la déduction du moteur d'inférence.

Ces cas écartés, évoquons maintenant deux problèmes que les experts sont susceptibles de rencontrer et qui méritent d'être pris en compte dans la mise en œuvre d'un outil d'aide à l'évaluation :

- manque de données ou absence de critères pour représenter un objectif,
- utilisation de critères non pleinement représentatifs de l'objectif initial.

Nous allons à cette occasion, proposer une manière relativement simple de les traiter même si nous ne prétendons pas qu'il s'agisse de la seule façon de procéder.

Cas de l'absence de critère pour représenter un objectif

Tout d'abord, il semble assez raisonnable d'imaginer que chaque objectif de la famille F n'est pas forcément doté d'au moins un critère permettant de le représenter. Ce cas peut se produire pour plusieurs raisons. On peut imaginer tout d'abord qu'aucun « indicateur » n'a été identifié par les experts pour représenter le point de vue de l'objectif en question. On peut aussi imaginer qu'un « indicateur » existe bien mais que la donnée permettant le calcul de cet indicateur pour évaluer la situation en question ne soit pas encore disponible. Dans ces cas, nous pensons que le poids éventuellement accordé par l'évaluant à l'objectif en question ne doit pas être pris en compte. On peut imaginer plusieurs façons de pallier ce problème.

Dans notre approche, nous proposons de fixer à zéro le poids de tels objectifs dans la procédure d'agrégation. Mais il semble alors nécessaire de prévenir l'évaluant de ce manque d'information. Nous désirons donc compléter les différents résultats de l'évaluation par un taux que nous appellerons : « taux de participation » représentant la complétude des données (connaissances, informations...). Soit F_p , sous-famille de F, la famille des objectifs pour lesquels les données sont disponibles. Le taux de participation p que nous proposons est alors donné par :

$$participation = \sum_{F_p} p_i$$

Le taux de participation semble de fait être de la responsabilité de l'expert. Plus la connaissance des experts est complète et plus les données sont disponibles, plus p est proche de 1 (ou de 100%).

Cas de l'existence d'un critère non pleinement représentatif de l'objectif

Nous voulons maintenant soulever un autre cas, pour rendre compte du fait qu'un expert peut avoir à sa disposition de l'information utile mais pas forcément entièrement ou parfaitement représentative de l'objectif à évaluer.

Imaginons par exemple l'objectif « contribution des transports à la pollution sensible de l'air en NOx dans les villes » pour lequel l'expert en question ne disposerait que de relevés de teneurs en NOx dans les villes. Si d'autre part, l'expert sait que l'activité des transports n'est la source que de 60% du total des émissions de NOx dans les villes, alors l'indicateur « teneur de NOx dans les villes » n'est pas parfaitement représentatif de l'objectif initialement défini. Que faire dans ce cas ?

Nous avons vu en section II.3.2.3 une façon de procéder : l'évaluant revient alors dans sa phase de déclinaison des objectifs pour nuancer la signification de l'objectif en question. Cependant, une autre manière de faire est que l'expert

intervienne lui-même sur le critère pour tenir compte de cette représentativité imparfaite.

Nous proposons pour cela d'introduire un nouveau jeu de poids. En première intuition il semblerait possible dans notre exemple de multiplier par 0,6 la teneur mesurée pour obtenir ainsi l'indicateur « par de la teneur de NOx dans les villes dont la cause est l'activité des transports ». Cependant, le risque que présente cette option est de faire apparaître une teneur en NOx assez peu dangereuse, alors que l'état de la situation peut être critique. Cela masquerait en quelque sorte un problème de pollution sensible. Cette transformation de l'information nous semble donc peu pertinente. En revanche, on peut imaginer de multiplier le poids attribué par l'évaluant à l'objectif « contribution des transports à la pollution sensible de l'air en NOx dans les villes » par 0,6. Nous retiendrons cette façon de retranscrire le fait que la qualité de l'air est mauvaise mais que le poids que l'on accorde à l'indicateur est trop fort car seulement 60% des émissions proviennent des transports.

Un autre exemple : un « indicateur » bâti sur l'observation d'une ville n'est peut-être pas représentatif de la situation de toute une région. Mais s'il représente un objectif concernant les villes uniquement et que la ville en question est elle-même représentative de 80% des villes de la région alors on peut multiplier le poids accordé à cet objectif par 0,8 et se servir de cet indicateur pour le représenter.

Chaque poids de l'évaluant pourrait donc être éventuellement affaibli par un coefficient de représentativité fixé par l'expert. Sa valeur serait à défaut fixée à 0 si on ne dispose pas d'indicateurs et atteindrait 1 lorsque l'indicateur est parfaitement représentatif. Ce poids pourrait varier en fonction par exemple de la taille de l'échantillon observé, de la qualité des données (observation ou sondages, condition ...). Il représente alors le degré avec lequel le critère est représentatif de l'objectif auquel il est rattaché. Il pourra donc être consultable par l'évaluant qui se doit d'être informé de cette représentativité. Notons là ce poids fixé par l'expert. Dans la procédure d'agrégation, le poids final k_i d'un critère g_i sera donc :

$$k_i = p_i \times l_i$$

Notre famille des participants F_p introduite précédemment peut alors être définie par :

$$F_p = \{F : l_i \neq 0\}$$

De façon similaire au taux de participation nous proposons alors de construire un « taux de représentativité des participants » pour informer l'évaluant du degré avec lequel l'évaluation globale est représentative des objectifs pris en compte dans l'agrégation, donnée par :

$$\text{représentativité} = \sum_F k_i / \sum_{F_p} p_i = \sum_F k_i / \text{participation}$$

Remarquons alors que :

$$\text{participation} \times \text{représentativité} = \sum_F k_i$$

Illustrons cela sur notre exemple. Si les experts ne disposent pas de critère pour représenter l'objectif N4 d'une part, et que d'autre part, il estime la représentativité du critère rattaché à l'objectif N1 (respectivement O1) à 60% (respectivement 80%) alors voila ce que seront les poids finaux k_i .

Objectif	p_i	l_i	$k_i=p_i*l_i$	Non votant
N1	0,25	0,6	0,15	
N2	0	1	0	
O1	0,3	0,8	0,24	
O2	0,2	1	0,2	
N4	0,125	0	0	0,125
N5	0,125	1	0,125	
Total	1	Total	0,715	0,125

Participation 87,50%
Représentativité 81,71%

Tableau V.2.2.2 : « Pondération par les experts »

Dans l'exemple des schémas V.2.2.1.a et V.2.2.1.b qui a été repris dans le tableau V.2.2.2, le taux de participation vaut 87,5% à cause du manque d'information pour représenter l'objectif N4 de poids initial 0,125. Le taux de représentativité s'obtient en divisant le total des k_i par le taux de participation, c'est-à-dire $0,715/0,875$. Il signifie que les critères participants sont à 81,71% représentatifs des objectifs retenus. Cela est ici dû aux critères des objectifs N1 et O1 qui ne sont pas jugés pleinement représentatifs des objectifs par l'expert chargé de fixer les poids l_i .

Rappelons que nous avons introduit les poids l_i et les deux taux (participation et représentativité) pour essayer de remédier à deux problèmes susceptibles d'être rencontrés par les experts, mais que là encore, il s'agit d'une prise de position méthodologique.

2.2.3. Paramètre λ

Dans notre contexte d'aide à l'évaluation, nous avons proposé de rendre possible l'agrégation multicritère de type Electre à tous les niveaux de la hiérarchie d'objectifs, ou plus précisément au niveau de chaque objectif décomposable en sous-objectifs, à chaque nœud de cette hiérarchie.

A cet effet, il n'y a pas de raisons particulières qui nous pousseraient à fixer le paramètre λ (cf. section IV.3.1.3) de façon unique pour tous les nœuds de la hiérarchie. On envisage donc la possibilité pour l'évaluant de nuancer la sévérité qu'il impose au modèle selon l'endroit où il se positionne dans la hiérarchie. Cela revient donc à envisager un paramètre λ pour chaque nœud.

Notons que λ ne doit pas être choisi indépendamment du jeu de poids retenu. En effet, prenons l'exemple où seulement trois critères forment la famille F, l'un de

poids 0,7 et les deux autres de valeur 0,15. Si on fixe λ à 0,7 cela revient à donner plein pouvoir au critère le plus pondéré pour établir ou non le surclassement. En revanche, si on fixe λ à 0,8 alors ce critère à lui seul n'est plus apte à établir le surclassement.

Pour fixer ces valeurs de λ , nous proposons à l'évaluant de s'appuyer sur la grille des poids normalisés e_i résultants de l'application de la méthode des cartes [Roy b., Figueira J., 2001]. Il faut pour cela combiner les différentes valeurs de poids afin d'étudier les coalitions de critères qui suffisent (ou ne suffisent pas) à constituer une majorité, cela en vue de vérifier que la modélisation retenue (poids et paramètre λ) est bien fidèle au système de valeurs de l'évaluant.

2.3. Agrégation temporelle et géographique

Notre contexte applicatif nécessite une agrégation temporelle et géographique. Dans un autre contexte, cela ne semblerait pas forcément approprié. Cependant, on peut imaginer des applications qui nécessiteraient l'agrégation de dimensions autres que le temps ou l'espace comme agréger les opinions des individus d'une population. Nous allons discuter de la façon de prendre en compte une dimension supplémentaire pour un critère avec l'exemple du temps et de l'espace.

Comment construire par exemple, un critère annuel calculé à partir des 365 valeurs journalières ? Une façon de répondre à cette question serait de ramener ces 365 valeurs en un critère unique de synthèse grâce par exemple à des méthodes de moyennes ou autres.

De plus, certains critères concernent des teneurs en gaz ou des indices de bruit, qui sont par nature des valeurs géographiquement ponctuelles. Autrement dit, on ne peut pas connaître une teneur sur toute une ville. On peut mesurer la teneur à un ou plusieurs endroits précis de la ville. Il en est de même pour les niveaux de bruit. Se pose alors le problème de l'agrégation des différentes valeurs mesurées. Atmo utilise des règles pour tenir compte de l'ensemble des relevés de teneurs issu de son réseau de mesure. Cet indice fournit donc directement un résultat concernant toute la ville et agrégeant toutes les mesures (moyennes des moyennes journalières, moyennes des maxima horaires).

Cependant, au lieu d'agréger systématiquement plusieurs mesures (de même nature) par une méthode se ramenant à un critère unique de synthèse, nous pensons qu'il est parfois possible et intéressant de conserver chacune des mesures. Chacune d'elle participera alors au vote (pour ou contre le surclassement) et aura, le cas échéant, possibilité d'appliquer son veto pour s'opposer à une majorité. Nous proposons cette façon de faire pour au moins trois raisons :

- éviter de tomber dans les écueils classiques des moyennes,
- tenir compte de grandeurs définissant la cible (dans notre exemple, la population exposée),
- conférer un pouvoir de veto à toute mesure trop mauvaise, aussi noyée soit elle dans un ensemble de mesures meilleures.

Cette manière de tenir compte de la présence de dimensions supplémentaires consiste finalement à répliquer le critère en question autant de fois que la dimension le nécessite (1 critère annuel se base sur 365 critères journaliers...). Selon le formalisme d'Electre, cela revient à transformer un critère en plusieurs critères (autant que de mesures disponibles dans la dimension) de mêmes caractéristiques d'un point de vue de leur modélisation (échelle, seuils, catégories,...) mais qui n'auront a priori pas la même performance (la même évaluation). Dans les deux cas passés en revue (mesures ponctuelles dans l'espace ou dans le temps), se pose alors la question du pouvoir de vote (poids) de chacune des mesures. Une condition qui nous semble raisonnable est que la somme des poids de toutes les mesures doit coïncider avec le poids accordé au critère. Le poids accordé à l'objectif initial est ainsi réparti entre tous les critères élémentaires. La façon de répartir ce poids entre les différentes valeurs élémentaire peut être variée. On peut imaginer répartir simplement ce poids de manière équitable entre toutes les valeurs élémentaires. On peut aussi définir une règle de répartition qui tiendrait compte d'un autre paramètre (fréquentation du lieu où la teneur en gaz est relevée, fréquentation à l'heure où on effectue le relevé...)

Finalement, cette approche nous paraît être une alternative intéressante à une agrégation préalable de la dimension avec des méthodes de type critère unique de synthèse (somme pondérée, méthode statistique de lissage ...).

En effet, cela permet de conserver le détail de l'information contenu dans les différentes valeurs ponctuelles par le biais du pouvoir de vote dont dispose alors chacune d'elle. Théoriquement, cela semble donner l'avantage d'un vote moins tranché et donc plus nuancé dans le sens où il sera rare que tout le poids accordé à l'objectif vote pour ou contre le surclassement. Le choix du jeu de poids ainsi que la valeur du paramètre λ de la majorité semblent alors moins sensible dès lors que l'on ajoute une dimension.

De plus, la possibilité de pondérer différemment les valeurs élémentaires en fonction d'un paramètre supplémentaire offre l'avantage dans notre cas appliqué à l'environnement de tenir compte des données concernant la cible, celle qui subit les nuisances dues aux transports.

Enfin, le pouvoir de veto éventuellement conféré à certaines de ces valeurs leur permet de s'opposer à elles seules à une majorité. En conséquence, contrairement aux méthodes de type critère unique de synthèse, cela permet d'éviter de noyer certaines valeurs exceptionnellement mauvaises dans un ensemble de bonnes valeurs. Pour la fonction d'alerte décrite en section V.1.3.2, cela semble être un avantage certain.

Cependant, une limite de cette méthode peut apparaître lorsqu'il existe une certaine dépendance entre les valeurs observées ponctuellement. Dans l'exemple de la dimension temporelle, il est reconnu que les séries chronologiques montrent parfois des composantes saisonnières. De tels phénomènes proscrivent parfois la considération des valeurs indépendamment de la date de leur observation. Dans ce genre de cas, les méthodes statistiques permettant la « dessaisonnalisation » des données semblent parfois être un traitement préalable assez bien adapté.

Finalement, la façon de répondre au problème de l'agrégation géographique et temporelle proposée est simple et mériterait d'être approfondie. Notons que [Chakhar

S., 2005] travaille actuellement de manière plus fine sur ce problème en vue d'une application aux problèmes d'aménagement des infrastructures linéaires et en particulier dans un contexte décisionnel de choix de corridors.

2.4. Lien avec Atmo

Remarquons qu'en :

- retenant comme famille de critère les quatre indicateurs qui composent l'indice Atmo,
- définissant tous les seuils de discrimination à zéro,
- n'accordant un pouvoir de veto à aucun critère,
- accordant n'importe quel jeu de poids non nuls aux critères,
- fixant λ à 1,
- et construisant les 9 profils comme limites des 10 valeurs de l'indice,

alors la procédure d'agrégation Max utilisée dans Atmo donne un résultat équivalent à celui de la procédure pessimiste d'Electre Tri.

En effet, si les critères ne sont pas dotés de veto, la condition nécessaire à l'établissement du surclassement revient à exiger uniquement que la coalition concordante soit supérieure ou égale au paramètre λ ici égal à 1. Cette même coalition concordante étant un nombre compris au sens large entre 0 et 1, cela revient donc à exiger une coalition concordante à 1. Or cette coalition concordante est calculée par le rapport entre la somme des poids des critères votant pour le surclassement (ici ne pouvant pas être affaiblis par le cas d'une préférence faible car les seuils de discrimination sont nuls sur tous les critères) et la somme des poids de tous les critères. Pour obtenir une coalition concordante de 1 il faut alors que tous les critères votent pour le surclassement. Cela revient à dire que si au moins un critère (dont le poids n'est ici pas nul) s'oppose au surclassement alors le surclassement est refusé. La procédure Max d'Atmo nous donne la pire catégorie selon tous les polluants. C'est bien cette catégorie qui sera aussi le résultat de l'agrégation d'Electre Tri pessimiste car la procédure pessimiste affecte la situation à la meilleure catégorie dont le profil limite inférieur est surclassé globalement par la situation (section V.3.3.2). Cette catégorie sera la meilleure catégorie pour laquelle tous les critères voteront dans le sens du surclassement de son profil limite inférieur. En effet, les catégories meilleures que celle-ci ne pourront en effet pas être acceptées car au moins un critère (celui à l'origine du Max d'Atmo) s'opposera alors au surclassement et la coalition concordante sera alors strictement inférieure à 1.

Bien sur, une telle modélisation semble assez rigide par rapport aux possibilités offertes par les méthodes de type Electre. Ainsi, il pourrait être intéressant d'améliorer l'indice Atmo en introduisant par exemple des seuils de discriminations non nuls ne serait-ce que pour :

- prendre en compte la mauvaise connaissance des phénomènes,
- éviter les problèmes de sauts lors de l'atteinte des valeurs limites des catégories,
- prendre en compte l'imprécision des mesures ou prévisions.

Sans aller jusque là, il est pertinent de constater que nos orientations de modélisation offrent la possibilité de reproduire ce que réalise Atmo. Elles permettent de généraliser la méthode de calcul de cet indice. Finalement, Electre Tri peut être considéré comme une extension naturelle d'Atmo.

3. Mise en œuvre

Rappelons que notre travail s'insère dans le contexte du projet PIE (Introduction générale) et qu'en conséquence, les experts nécessaires pour contribuer à chacun des domaines environnementaux dont il est question dans le projet n'ont été que partiellement identifiés du fait de l'état d'avancement du projet. Certains domaines sont donc momentanément tenus à l'écart du champ du projet, même s'ils doivent faire partie, à terme, des préoccupations environnementales disponibles au sein de l'outil. Afin d'illustrer l'aide à l'évaluation que nous proposons, nous avons délibérément choisi de jouer le rôle des experts en collaboration avec certains experts internes à l'Inrets.

Nous ne prétendons pas présenter une modélisation rigoureuse ni exhaustive d'un point de vue environnemental. Nous allons simplement tenter de présenter la modélisation en aide à l'évaluation qu'il nous semble intéressant de mener pour permettre une agrégation multicritère. Le but de cette mise en œuvre est double. D'une part, nous souhaitons présenter les étapes de modélisation en recensant différents cas de figure que l'on est amené à rencontrer lors de cette modélisation et mettre en avant certaines difficultés et les manières possibles de les contourner. D'autre part, le résultat de cette modélisation sera utilisé pour illustrer la méthode d'aide à l'évaluation dans un prototype dont il sera question dans le chapitre VI.

En référence à la problématique que nous avons précédemment retenue (section V.1.2), nous envisageons donc le résultat de l'agrégation comme une affectation de la situation à une catégorie.

Pour cela, les différentes étapes sont la modélisation des concepts suivants :

- critère et famille de critère,
- catégories,
- seuils de discrimination,
- seuils de veto,
- poids et majorité requise.

Tout d'abord, nous allons tenter de construire des critères et de mettre chacun d'eux en relation avec un objectif parmi ceux de plus bas niveau de la hiérarchie d'objectifs, résultat obtenu dans le chapitre précédent. L'étape suivante sera la construction des situations fictives qui délimiteront les classes ou catégories qui constitueront les catégories finales de notre thermomètre. Pour chacun de ces critères, nous tenterons ensuite de déterminer les différents seuils (de discrimination et de veto). Puis nous traiterons de la pondération des critères. A cette occasion, nous fixerons la majorité requise, concept nécessaire à l'agrégation.

Enfin, à titre d'exemple, nous avons choisi le milieu urbain comme périmètre géographique.

3.1. Critères et famille de critères

Pour plusieurs raisons nous ne prétendons pas, dans ce travail, trouver un critère pour chaque objectif de plus bas niveau.

D'une part, le niveau d'expertise et d'avancée des travaux de recherche n'est pas le même pour chaque thématique. Pour certaines thématiques, aucun indicateur ou critère n'est d'ailleurs disponible. Si nous faisons référence à la classification DPSIR de l'OCDE introduite en section I.2.1, pour certaines thématiques, il existe de bons indicateurs concernant la « pression » exercée par les transports et/ou l'« état » de l'environnement, mais aucun concernant l'impact, c'est-à-dire ce qui nous intéresse (cf. section I.2.2).

D'autre part, les choix à faire lors de la modélisation sont conditionnés par la méthode retenue, dans notre cas, la méthode de type Electre Tri. Si pour certaines thématiques, il existe de nombreux travaux d'experts traitant de l'impact des transports sur l'environnement, encore faut-il être capable de traduire ces informations dans le langage de modélisation d'Electre (seuils, catégorie...). Cette traduction n'est pas toujours directe et nous ne possédons pas d'interlocuteur, expert, pour chaque thématique. Cependant, quand il semblera possible de le faire de manière relativement cohérente, nous jouerons donc le rôle des experts simplement dans le but de révéler la démarche à adopter, les questions à se poser au cours de la modélisation et les difficultés à contourner.

Les critères que nous souhaitons retenir doivent être autant que possible des indicateurs d'impact. En effet, nous voulons évaluer l'impact des transports sur l'environnement. Considérons la hiérarchie d'objectifs présentée ci-dessous qui est un extrait de la « synthèse réduite » que nous avons bâtie grâce aux résultats des interviews. Nous n'avons pas pris la hiérarchie entière pour les raisons évoquées précédemment mais nous proposons de faire le travail de construction des critères pour les objectifs de fin de plus bas niveau, ici numérotés et représentés en caractères gras.

Maîtriser l'environnement

A l'échelle planétaire

Conserver un environnement favorable à la vie humaine

O1 : Limiter l'effet de serre

A l'échelle locale

Concernant les milieux humains

Concernant la santé publique

Limiter les effets de la pollution de l'air

O2 : Des pics de pollutions

O3 : De la pollution de fond

O4 : Limiter les effets du bruit sur la santé

Concernant la qualité de vie

Limiter la gêne

O5 : Due aux bruits

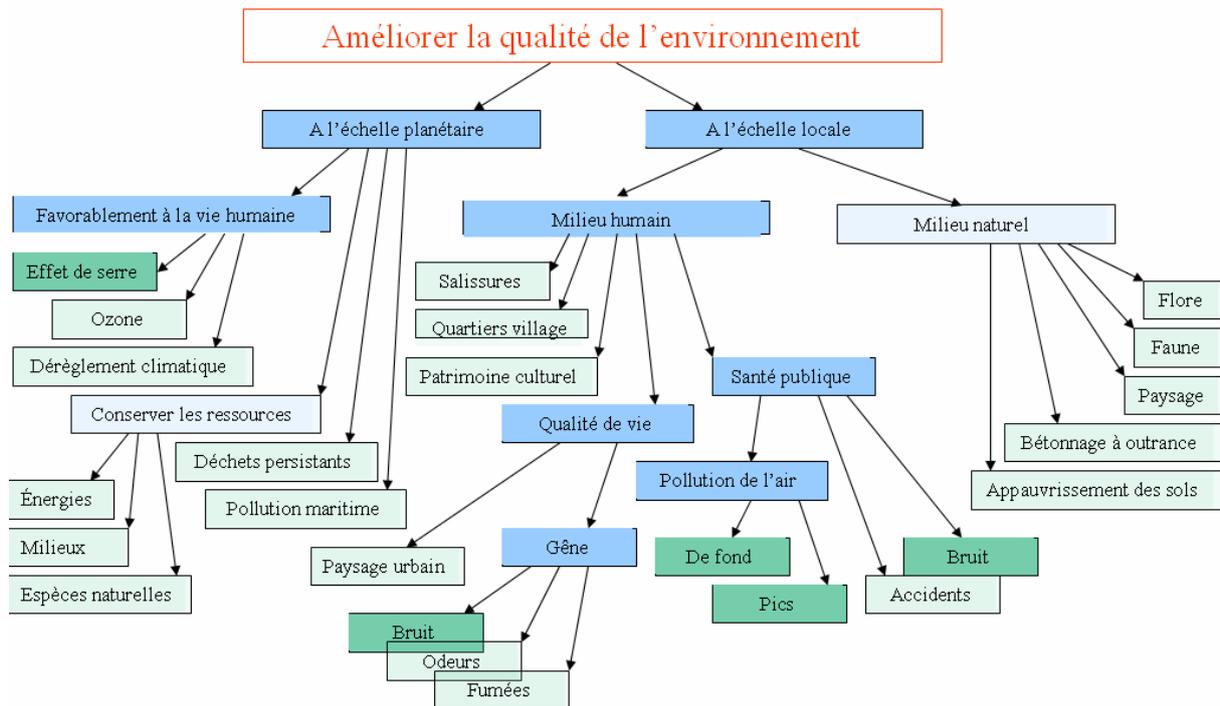


Schéma V.3.1 : « Hiérarchie d'objectifs retenue pour la modélisation »

Dans le schéma V.3.1, les objectifs retenus pour la modélisation sont replacés dans la hiérarchie « synthèse réduite » issue de la structuration des objectifs et obtenue en section II.3.3.

A chacun de ces objectifs, il faut associer un critère. Nous pensons qu'une première description du critère doit concerner la technique employée par l'expert pour construire le critère, à savoir la nature même des données qui le composent et éventuellement la règle de calcul utilisée pour transformer ces données. De plus, pour chaque critère il est nécessaire de décrire en français ce que représente exactement le critère et cela au regard de la signification de l'objectif qu'il est censé représenter. Cette description doit porter autant sur la nature même du phénomène que tente d'appréhender le critère mais aussi sur sa portée géographique et sa fenêtre temporelle d'observation. Elle tend notamment à justifier le taux de représentativité que l'expert doit ensuite attribuer au critère, mais aussi simplement à éclairer l'évaluant sur ce que va effectivement tenter de représenter le critère proposé.

3.1.1. Limiter l'effet de serre

Concernant l'objectif **O1** : « **Limiter l'effet de serre** », il serait idéal de caractériser l'ensemble des conséquences de l'effet de serre sur la planète. Cependant, même si ces conséquences sont bien réelles, elles restent difficiles à

cerner de façon rigoureuse. Une des conséquences assez bien observée est le réchauffement planétaire. L'objectif sous-jacent à O1 est en fait « limiter les différents impacts de l'effet de serre sur la planète ». Il est très difficile de mesurer précisément ces impacts (taille des chroniques, effets saisonniers, trop faible fréquence des relevés dans le passé...). Cependant, nous avons vu dans la section I.1.2.1 que le réchauffement climatique est corrélé à la concentration de carbone dans l'air. Une façon détournée d'appréhender cet impact est donc de s'intéresser au carbone et plus précisément aux différents gaz jouant aussi un rôle dans l'effet de serre. C'est ce que [Keeney R.L., 1992] appelle un « proxy-attribute », dans le sens où même si on ne sait pas appréhender l'objectif en lui-même, on sait qu'il existe un lien de cause à effet entre l'objectif O1 et ce qui implicitement fait l'objet de nos préoccupations, à savoir le réchauffement planétaire. Quand on est face à un tel cas, il vaut mieux tenter de tenir compte de l'atteinte d'un tel objectif de manière imparfaite que de l'occulter. Les cinq principaux gaz à effet de serre listés dans le protocole de Kyoto sont :

- Le méthane CH₄,
- Le protoxyde d'azote N₂O,
- Les halocarbures (CHC-11, HFC-23, CF₄, CFC...).

L'activité des transports émet principalement du CO₂ (près de 97%), du N₂O (2.8%) et du CH₄ (0.4%) depuis l'apparition des pots catalytiques [TERM, 2002]. De plus, le degré de connaissance du phénomène permet de traduire les quantités de N₂O et de CH₄ en équivalent CO₂ ou bien en potentiel de réchauffement global (GWP), grâce à une pondération qui dépend de la contribution relative de chacun des gaz au phénomène [Joumard R., 2000]. Le critère retenu pour représenter l'objectif « limiter l'effet de serre » pourrait donc être la « quantité de gaz à effet de serre émise en équivalent CO₂ ». Les méthodes comptabilisant les émissions de gaz en équivalent CO₂ sont relativement bien développées [SUMMA, 2004] et elles permettent de mettre en avant la contribution à l'effet de serre. Les émissions de gaz ne sont pas des valeurs relevées, mais des valeurs déterminées à partir des données concernant les parcs et trafics.

Pour l'échelle temporelle d'observation, il est commun pour cette donnée de retenir une valeur annuelle. Un avantage de ce choix est de supprimer les effets saisonniers qui se répètent tous les ans.

Concernant l'échelle géographique d'observation, les données sont souvent le résultat de l'étude du parc et du trafic au niveau national. Un premier critère pourrait donc être « quantité annuelle nationale émise en équivalent CO₂ ». Cependant, nous pensons intéressant dans notre application urbaine, sous réserve de disposer des données d'entrée, de permettre une étude locale de contribution à l'effet de serre. S'il est possible de déterminer les émissions sur un sous-ensemble du territoire (section II.2.1.1) il peut alors être intéressant de proposer un autre critère indiquant comment se positionne ce sous-ensemble géographique par rapport au reste de la nation en question. Pour cela, il faut alors rendre les quantités relatives pour les rendre comparables. On pourrait envisager de tenir compte de la surface du sous-ensemble géographique pour rendre relative cette valeur, cependant, nous pensons qu'il est plus intéressant de ramener cette valeur à l'habitant, qui est l'utilisateur des transports. Un biais possible à ce choix serait de défavoriser les zones où il y a un fort trafic et peu de population (passage d'une

autoroute en pleine campagne). En fait, il ne s'agit pas d'un biais, car les valeurs des émissions ne sont pas relevées mais calculées à partir de la connaissance du parc des habitants et non des véhicules de passage. Ainsi, si un Allemand sillonne le territoire français avec son véhicule, ses émissions seront comptabilisées en Allemagne et non en France. Cela ne présente pas de problème dans ce cas, puisqu'il s'agit de d'un impact global mais cela serait beaucoup plus gênant dès lors que l'on considère une nuisance locale.

Nous proposons donc pour un sous-ensemble géographique de calculer la « quantité annuelle émise en équivalent CO₂ par habitant » qu'il faudrait ensuite rapporter à la valeur nationale par habitant. Bien entendu, cela modifie la signification de l'objectif initial. Le calcul pour obtenir ce critère au niveau régional serait alors le ratio suivant :

$$\frac{\left(\frac{EmissionsLocales}{PopulationLocale} \right)}{\left(\frac{EmissionsNationales}{PopulationNationale} \right)}$$

Notons tout de même que si la connaissance du parc/trafic est uniquement de niveau national, alors cet indicateur n'est plus du tout pertinent car la détermination des émissions locales serait réalisée en considérant que la région est équipée et se comporte comme la nation (avec comme clé de répartition le nombre d'habitants) et le rapport ci-dessus prendrait systématiquement la valeur 1. Il faudrait donc avant tout étudier la faisabilité de la mise en œuvre de cet indicateur.

Pour l'objectif **O1** : « **limiter l'effet de serre** » nous retiendrons finalement les deux critères suivants qui nuancent chacun à leur façon la signification de O1 :

- **C11** : « **quantité annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂** »
- **C12** : « **émission annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ par habitant rapportée à la moyenne nationale** »

Le sens de préférence de ces deux critères sera inversé. On préférera en effet les valeurs faibles.

Dans ce cas, deux critères sont candidats pour représenter un objectif. Cela vient du fait que le sens de l'objectif O1 peut être précisé. En effet, au niveau d'une agglomération on peut vouloir limiter la contribution absolue à l'effet de serre, et cela revient à considérer le critère C11. Si, en revanche, on a pour objectif d'être peu contribuant à l'effet de serre par rapport au reste de la nation, il faut alors retenir le critère C12. Rien n'empêche a priori de considérer les deux objectifs en même temps et de retenir les deux critères, même s'il existe une dépendance entre eux.

3.1.2. Limiter les effets sur la santé

Concernant la santé publique, trois objectifs sont retenus : **O2** : « limiter les effets des pics de pollution sur la santé », **O3** : « limiter les effets de la pollution de fond sur la santé » et **O4** : « limiter les effets du bruit sur la santé ».

Les objectifs O2 et O3 concernent les polluants dans l'air. Plusieurs polluants ont des impacts sur la santé et ce sont ces impacts que l'on cherche à cerner. Nous avons tout d'abord retenu le CO car il existe un travail sérieux qui tente de rechercher le lien entre la teneur en CO dans l'air et les conséquences sur la santé des personnes exposées. Dans son rapport, [Maurin M., 1981] montre le lien qui existe entre la teneur en CO dans l'air et la durée d'exposition d'une part et la teneur en CO dans le sang de la personne exposée d'autre part. De plus, il y a une correspondance entre cette dernière et les effets sur la santé. Ce cas est donc très intéressant et nous verrons notamment dans la construction des classes comment exploiter cette information. Nous avons donc choisi de traiter ce cas à titre d'exemple même si les progrès technologiques ont fortement diminué le problème du CO des véhicules particuliers. Un critère pourrait donc être la teneur en CO dans l'air (exprimée en ppm) qui contribuerait à mettre en exergue le danger des pics d'un certain type de pollution sur la santé.

De son côté, en terme de santé publique, l'indice Atmo considère quatre autres polluants [ADEME, 2000] :

- les particules,
- le dioxyde de soufre : SO₂,
- le dioxyde d'azote : NO₂,
- l'ozone : O₃.

Remarquons que ces quatre polluants n'ont pas été choisis comme provenant des transports, mais comme étant présent dans l'air urbain et dangereux à court terme pour la santé notamment pour les personnes à risque (enfants en bas âges, personnes âgées, asthmatiques...). Ainsi les transports ne sont pas responsables des teneurs en O₃ et ne le sont plus pour les teneurs en SO₂ grâce aux progrès technologiques et à l'évolution des normes d'émissions. Le parc automobile est bien moins polluant depuis l'apparition des pots catalytiques. Il reste néanmoins le NO₂ et les particules. L'avantage d'Atmo est que le lien entre teneur et dangerosité pour la santé a été établi. Ainsi, à chaque teneur, et pour chacun de ces polluants, il existe un niveau de dangerosité sur une échelle ordinaire dont le niveau le plus fin est à dix catégories. Nous reviendrons sur ce point lors de la construction des catégories. D'autres polluants qui ne sont pas présents dans Atmo sont issus des transports comme les hydrocarbures, mais il n'existe pas de correspondance entre leur teneur dans l'air et leur dangerosité sur la santé. De ce fait, nous ne les traiterons pas dans ce travail même s'ils mériteraient de l'être.

Remarquons que contrairement au CO₂, le CO, le NO₂ et les particules ne sont pas mesurées en terme de quantités émises mais en terme de quantités présentes dans l'air (teneurs). Ceci s'explique par la différence de nature entre les conséquences de la pollution en CO₂ (effet de serre, global) et de ces polluants (effet sur la santé lorsque l'air est respiré, local).

Pour les teneurs en particules et NO₂, Atmo résout le problème de l'agrégation temporelle et géographique en utilisant une règle d'agrégation à partir d'un réseau de relevé de teneurs permettant de déterminer le matin par prévision statistique la valeur de son indice pour la journée.

Nous retiendrons donc les trois critères suivants pour représenter l'objectif O2 :

- C21 : « teneur en CO en ppm »
- C22 : « teneur Atmo en NO₂ en µg/m³ »
- C23 : « teneur Atmo en particules en µg/m³ »

en précisant que pour le critère concernant le CO, le problème de l'agrégation temporelle puis géographique n'est pas résolu. Une façon de le traiter est d'utiliser le principe décrit en section V.2.3.

Notons maintenant qu'il y a une différence majeure entre l'objectif O2 d'une part et les objectifs O3 et O4 d'autre part. En effet, les conséquences des pics de pollutions s'observent de façon quasi-instantanée tandis que celles de la pollution de fond s'observent sur une échelle de temps plus grande comme les mois ou les années. Le bruit ne nuit pas à la santé sur la courte durée même s'il provoque de la gêne (la gêne sera prise en compte dans l'objectif O5). L'impact du bruit sur la santé s'observe donc sur le moyen ou long terme tout comme l'impact de la pollution de fond.

Il serait intéressant pour répondre aux exigences des objectifs O3 et O4 de mener une étude sur l'effet à moyen ou long terme sur la santé d'une exposition répétée à des niveaux de bruit et de polluants pour tenter d'établir, un peu comme Atmo l'a fait sur le court terme, une échelle de gravité des expositions répétées. Il se peut, bien sur, qu'aucune conséquence sur la santé ne soit observée suite à l'exposition répétée d'un niveau de pollution (ou niveau de bruit) de dangerosité moyenne sur la santé. Il se peut au contraire, que certains polluants n'aient aucune conséquence à court terme sur la santé mais uniquement à moyen ou long terme.

A défaut de disposer du résultat de telles études et dans notre contexte d'application méthodologique, concernant la pollution de l'air, nous choisissons de considérer qu'une gravité moyenne à court terme peut devenir plus importante si elle est répétée trop fréquemment. Ainsi, un critère pourrait être le « nombre de jours de l'année pour lesquels le niveau de dangerosité moyenne est dépassé ». De même pour le bruit, un critère pourrait alors être le « nombre de jours de l'année pour lesquels le niveau de bruit de gêne moyenne est dépassé ». Même si nous ne disposons pas de la compétence pour juger d'une telle représentativité, cet exemple nous intéresse et nous allons le traiter. En effet, il s'agit ici d'utiliser ce que nous avons proposé en section V.2.3 pour faire face au problème de l'agrégation temporelle de l'information (comment à partir de valeurs ponctuelles essayer de rendre compte du phénomène sur une période couvrant plusieurs observations). Nous pouvons de cette manière annualiser les critères journaliers pour obtenir finalement les critères suivants :

Pour l'objectif O3 : « limiter les effets de la pollution à long terme »

- C31 : « teneur en CO en ppm annualisée »
- C32 : « teneur Atmo en NO₂ en µg/m³ annualisée »
- C33 : « teneur Atmo en particules en µg/m³ annualisée »

Pour l'objectif O4 : « limiter les effets du bruit à long terme » :

- C41 : « indice de gêne due au bruit annualisé »

Chacun de ces critères annuels est en fait un ensemble de critères journaliers de même caractéristiques (échelle, seuils de discrimination, ...). Ainsi, nous proposons de multiplier le nombre de critères. Si par exemple, nous disposons de 365 relevés journaliers (un par jour) du niveau de bruit, alors chacun de ces relevés sera un critère. La pondération de chaque critère sera alors $1/365^{\text{ème}}$ du poids accordé à l'objectif O4, si l'on considère que chaque relevé a autant d'importance que les autres. De même pour les critères d'O3.

L'indice Atmo nous fournit directement un résultat concernant toute la ville et agrégeant toutes les mesures (moyenne des moyennes journalières, moyenne des maxima horaires, Cf. section I.2.4.4). Ainsi, les critères C22, C23, C32 et C33 issus d'Atmo ont déjà une portée géographique de dimension urbaine. Cependant, pour les critères C21, C31, C41 et C51 la question de l'agrégation géographique reste posée. Par exemple pour le critère C51, si on dispose de 2 appareils permettant de mesurer le niveau de bruit de jour (Leq 8h-20h dB(A)) dans 2 lieux d'une ville, il faut déterminer le poids accordé à chaque mesure de telle sorte que la somme de ces 2 poids soit égale au poids accordé à C51, c'est-à-dire 0,0875.

Si on considère que les appareils de mesure sont placés dans des lieux de même importance, on peut alors répartir le poids du critère équitablement entre les différentes mesures. Si, en revanche, on considère que certains appareils de mesure sont situés dans des lieux plus fréquentés que d'autres (là où la cible exposée au bruit est plus grande) on peut alors apporter plus d'importance aux niveaux de bruit relevés par ces appareils que par les autres. Il s'agit pour l'expert en bruit de trouver une clé de répartition qui symbolise l'importance du phénomène. Cette clé peut être fixe, mais on peut aussi imaginer qu'elle soit issue de relevés de fréquentation des lieux où sont situés les appareils de mesure.

Remarquons que certains critères, comme l'exemple de l'indice de bruit annualisé, peuvent nécessiter à la fois une agrégation géographique et une agrégation temporelle. Cela ne pose a priori pas de problème de combiner à la fois une première répartition du poids du critère entre les différents appareils de mesure, puis le poids de chaque appareil de mesure entre les différentes valeurs relevées dans l'année par cet appareil.

Tous ces critères varient aussi en sens inverse des préférences, c'est-à-dire que l'on préfère les valeurs les plus faibles.

3.1.3. Limiter la gêne due au bruit

Le dernier objectif retenu est **O5 : « Limiter la gêne due au bruit »**. Si l'impact du bruit sur la santé à long terme n'a pas fait l'objet d'études très précises, en revanche, la littérature est bien plus riche concernant la gêne. Plusieurs indices (Lden, Lnight, Leq 6h-22h, Nyctemere 24h...) sont construits pour déterminer un niveau de bruit sur une certaine plage horaire (journée, nuit). Cependant, la recherche d'une relation 'fonctionnelle' entre « exposition à un niveau de bruit » et « gêne ressentie » (ou, plus précisément, exprimée) est assez difficile. Notons les travaux d'Adams et Messick [Maurin, 2003] qui utilisent une démarche de

mesurage à partir des intervalles successifs, pour exploiter les résultats d'une enquête nationale sur les nuisances. A l'origine, l'enquête proposait quatre catégories aux sondés pour exprimer leur gêne. En parallèle, des mesures de niveau de bruit (l'indice de bruit utilisé était le Leq de 8h à 20h) ont été réalisées en façade des personnes interrogées. Le résultat est une courbe montrant l'évolution de la gêne, définie cette fois en huit catégories, en fonction du niveau de bruit. C'est typiquement le genre de relation entre Etat et Impact (section I.2.1) qu'il convient de considérer. Nous avons donc choisi d'exploiter cela dans la suite de notre travail et en conséquence, le critère que nous retenons pour l'objectif O5 : « Limiter la gêne due au bruit » est :

- C51 : « Indice de bruit de jour Leq 8h – 20h, dBA ».

Pour le problème de l'agrégation temporelle et/ou géographique de ce critère, nous préconisons d'utiliser le principe énoncé en section V.2.3. Ainsi, il y aura autant de critères C51 que de relevés réalisés simultanément à des endroits différents de la ville. Chacun d'eux aura les mêmes caractéristiques (échelle, seuils, catégories). Le poids k_i attribué au critère C51 se répartira entre chacun d'eux, de façon équitable. En fonction du nombre de relevés que l'on effectue sur la période d'observation, il est aussi possible d'augmenter encore le nombre de critères selon le même principe.

3.1.4. Critères retenus

Nous avons finalement retenu les critères suivants :

Pour l'objectif O1 : « limiter la contribution à l'effet de serre » :

- C11 : « quantité annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ »
- C12 : « émission annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ par habitant rapportée à la moyenne nationale »

Pour l'objectif O2 : « limiter les effets des pics de pollution sur la santé » :

- C21 : « teneur en CO en ppm »
- C22 : « teneur Atmo en NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ »
- C23 : « teneur Atmo en particules en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ »

Pour l'objectif O3 : « limiter les effets de la pollution à long terme » :

- C31 : « teneur en CO en ppm annualisée »
- C32 : « teneur Atmo en NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annualisée »
- C33 : « teneur Atmo en particules en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annualisée »

Pour l'objectif O4 : « limiter les effets du bruit à long terme » :

- C41 : « indice de gêne due au bruit annualisé »

Pour l'objectif O5 : « limiter la gêne due au bruit » :

- C51 : « Indice de bruit de jour Leq 8h – 20h, dBA ».

Remarquons que les critères suivants sont les critères annualisés :

- C31 : « teneur en CO en ppm annualisée »
- C32 : « teneur Atmo en NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annualisée »

- C33 : « teneur Atmo en particules en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annualisée »
- C41 : « indice de gêne due au bruit annualisé »

A ce titre, ils ne font pas l'objet à eux seuls de construction de seuils ni de catégories car ils seront le résultat d'une agrégation temporelle de critères dont les seuils et catégories seront déjà construits (C21, C22, C23 et C51). Nous renvoyons le lecteur à la section V.2.3.

3.2. Catégories

Ici, on s'intéresse à deux situations fictives que l'on va appeler profil d1 et profil d2, définies comme dans le tableau VI.3.2.

	Particules	SO ₂	NO ₂	O ₃
d1	40	160	140	105
d2	80	300	200	180
	en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			

Tableau V.3.2 : « Exemple de construction de trois catégories avec deux profils limites »

En se reportant au tableau I.2.4.4 de l'indice Atmo on remarque que le profil d1 (respectivement le profil d2) a pour concentration en différents polluants les valeurs délimitant la situation verte et la situation orange (resp. la situation orange et la situation rouge). Ainsi, deux situations fictives définissent trois catégories. Nous appellerons finalement ces deux situations fictives, « profils limites » en référence au terme utilisé dans la méthode Electre Tri et présenté en section IV.3.3.1. On appellera pour la même raison « profil inférieur d'une catégorie » (resp. « profil supérieur d'une catégorie ») le profil limite qui définit cette catégorie inférieurement (resp. supérieurement). Pour exemple, la catégorie « orange » a pour profil supérieur d1 et pour profil inférieur d2.

Finalement, k profils limites définissent k+1 catégories. Pour que la modélisation soit cohérente, si on ordonne les profils limites du meilleur au moins bon, alors localement à chaque critère, les valeurs prises par les profils limites doivent aussi être ordonnées au sens large de la meilleure à la moins bonne.

L'indice Atmo a finalement été construit à partir de trois découpages dont le degré de précision est différent. Le premier, le plus fin, est construit grâce à neuf profils limites b_1, b_2, \dots, b_9 . Le second grâce à cinq profils limites que nous noterons c_1, c_2, \dots, c_5 et la troisième grâce à deux profils limites d_1, d_2 , tels que présentés dans le tableau V.3.2. On y voit les inclusions des catégories (les valeurs d'indices 1 et 2 sont incluses dans le qualificatif « très bon » lui-même inclus dans la couleur « vert »). On y voit aussi les correspondances entre valeurs limites comme par exemple : $b_4 = c_2 = d_1$

Indice	Qualificatif	Couleur
1	Très bon	Vert
<i>b1</i>		
2		
<i>b2</i>	<i>c1</i>	
3	Bon	
<i>b3</i>		
4		
<i>b4</i>	<i>c2</i>	<i>d1</i>
5	Moyen	Orange
<i>b5</i>	<i>c3</i>	
6	Médiocre	
<i>b6</i>		
7		
<i>b7</i>	<i>c4</i>	<i>d2</i>
8	Mauvais	Rouge
<i>b8</i>		
9		
<i>b9</i>	<i>c5</i>	
10	Très mauvais	

Tableau V.3.2 : « Inclusions des catégories et correspondances entre profils limites »

Dans la suite, pour illustrer nos exemples, nous retiendrons le jeu des neufs profils limites b_1, b_2, \dots, b_9 définissant dix catégories (de 1 à 10) telles que la catégorie 1 est meilleure que la catégorie 2 qui elle-même est meilleure que 3 et ainsi de suite.

Pour chacun des critères retenus il s'agit donc maintenant de déterminer les profils limites des catégories.

Les valeurs retenues à but illustratif dans cette application sont arbitraires mais ne nous semblent pas déraisonnables (et cette remarque est aussi valable pour les valeurs de seuils en section V.3.3 et V.3.4).

A cette occasion, on peut discuter la signification de chaque catégorie afin de justifier les valeurs des profils limites retenus.

3.2.1. Emissions de gaz à effet de serre

Concernant le critère C11: « quantité annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ », nous souhaitons illustrer une construction des catégories à partir d'une norme. La norme de Kyoto a fixé aux différents pays comme objectif pour l'année 2010, un retour au niveau d'émission de l'année 1990. Une façon assez naturelle de traduire cela au niveau d'une ville est de considérer le même objectif

mais restreint à une ville et aux émissions dues aux transports. Cela sous-entend que l'objectif national pourra être atteint dès lors que toutes les villes du pays et toutes les autres sources d'émission consentiront au même effort.

De plus, on peut étendre cette norme à tous les gaz à effet de serre, et non se contenter de comptabiliser le CO₂.

La valeur « quantité émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ en 1990 », que nous noterons $C11_{1990}$ servira donc de référence pour construire les catégories. Une quantité d'émission inférieure ou égale à cette valeur de référence rend alors compte d'une bonne situation, c'est-à-dire une situation qui respecte la norme de Kyoto. Par conséquent, on peut fixer la valeur limite entre les catégories « vert » et « orange » de la sorte :

- $b_4 = C11_{1990}$

Une très bonne situation peut alors être d'émettre annuellement 5% de moins que cette valeur de référence. Alors :

- $b_2 = 0,95.C11_{1990}$

Pour distinguer les catégories 1 et 2 puis les catégories 3 et 4 on peut alors fixer par exemple :

- $b_1 = 0,925.C11_{1990}$
- $b_3 = 0,975.C11_{1990}$

Concernant les situations où l'on dépasse le niveau de l'année 1990, on peut tout d'abord considérer qu'un dépassement de plus de 3% conduit à juger la situation mauvaise et qu'un dépassement de plus de 7% est une situation très mauvaise. Ainsi :

- $b_7 = 1,03.C11_{1990}$
- $b_9 = 1,07.C11_{1990}$

Positionnons ensuite b_8 au milieu de b_7 et b_9 :

- $b_8 = 1,05.C11_{1990}$

De la même façon b_5 et b_6 partageront l'intervalle $[b_4 ; b_7]$ en trois parties ayant la même étendue :

- $b_5 = 1,01.C11_{1990}$
- $b_6 = 1,02.C11_{1990}$

Remarquons qu'une transformation du critère C11 en « quantité annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ rapporté à la quantité de 1990 » peut jouer le même rôle que C11. Dans ce cas, les valeurs des profils limites auraient été : $\{0,925 ; 0,95... 1,07\}$

Le critère C12 : « émission annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ par habitant rapportée à la moyenne nationale » permet d'appréhender la contribution d'une ville à l'effet de serre relativement non pas à une norme, mais à

la moyenne nationale. On peut considérer qu'une bonne ville est une ville qui contribue autant ou moins que la moyenne nationale. En conséquence, $b_4 = 1$.

En suivant le même raisonnement que pour le critère C11, on peut obtenir les profils limites suivants : {0,925 ; 0,95 ; 0,975 ; 1 ; 1,01 ; 1,02 ; 1,03 ; 1,05 ; 1,07}.

Notons cependant qu'il n'y a pas de raison particulière à suivre le même raisonnement sémantique pour ces deux critères.

3.2.2. Teneur en CO

Concernant le critère C21 : « Teneur en CO en ppm », les effets sur la santé dus à l'exposition au CO sont relativement bien connus [Maurin M., 1981]. Ces effets dépendent du taux dans l'air respiré ainsi que de la durée d'exposition à ce taux. Notons cependant qu'après environ 10 heures d'exposition à un même taux, les effets n'évoluent plus.

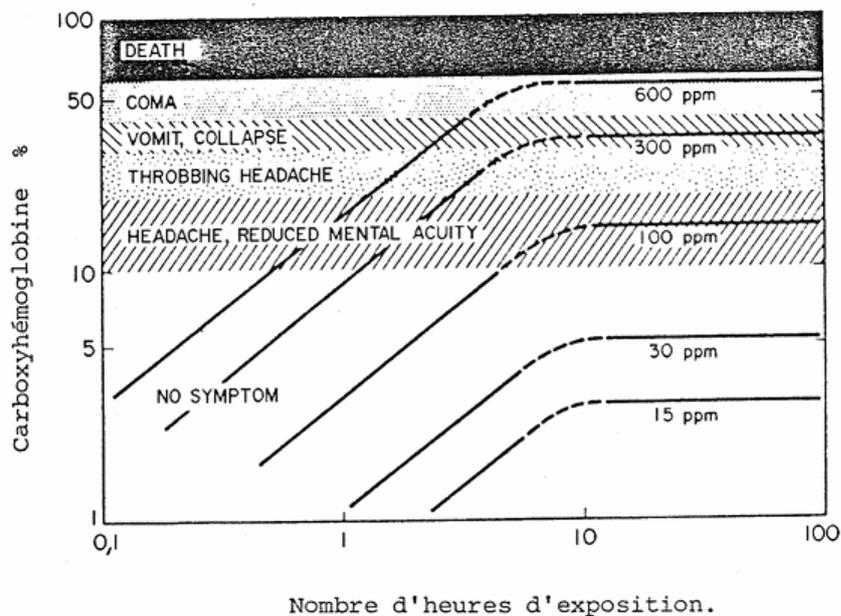


Schéma V.3.2.1 : « Lien entre l'exposition au CO et les effets sur la santé »

En exploitant le schéma V.3.2.1 cité dans [Maurin M., 1981] nous pouvons donc établir les tranches suivantes pour de longues expositions (près de 10 heures) :

- pas de danger pour les expositions à des taux inférieurs à 60 ppm,
- maux de tête et baisse de l'acuité mentale pour des taux compris entre 60 et 120 ppm,
- forte amplification du phénomène entre 120 et 250,
- vomissement et évanouissent entre 250 et 350 ppm,
- coma pour des taux au-delà de 350 ppm,
- mort au-delà de 600 ppm.

Ces valeurs sont un peu approximatives car elles sont issues de lectures graphiques, cependant, elle reflètent bien l'évolution du phénomène en fonction du

de la teneur en CO dans l'air. Les approximations géographiques ont été réalisées de manière pessimiste, c'est-à-dire que les valeurs ont été arrondies par défaut.

Concernant la signification des catégories concernant la teneur en CO dans l'air, nous pensons que les trois derniers états peuvent être qualifiés de très mauvais. Autrement dit, à partir de l'état de vomissement et de perte de connaissance, la situation est très mauvaise.

On peut suggérer les valeurs limites des catégories suivantes :

- très bon, teneur entre 0 et 10 ppm,
- bon, teneur entre 10 et 25 ppm,
- moyen, teneur entre 25 et 45 ppm,
- médiocre, teneur entre 45 et 70 ppm,
- mauvais, teneur entre 70 et 120 ppm,
- très mauvais, teneur au-delà de 120 ppm.

Ainsi, pour définir ces six catégories sur le critère C31 : « teneur en CO en ppm », cinq profils limites sont nécessaires :

- $c_1 = 10$ ppm,
- $c_2 = 25$ ppm,
- $c_3 = 45$ ppm,
- $c_4 = 70$ ppm,
- $c_5 = 120$ ppm.

3.2.3. Teneur en NO2 et en particules

Concernant maintenant les critères C32 : « teneur Atmo en NO2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ » et C23 : « teneur Atmo en particules en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ », la correspondance entre la teneur et l'impact sur la santé est établie directement dans la construction de l'indice Atmo. En effet, ces valeurs limites ont été choisies pour rendre compte du degré de dangerosité de la teneur dans l'air. Les experts ayant fixé ces normes ont pris soin d'établir une correspondance entre la dangerosité des divers polluants. Ainsi, le niveau 3 pour les particules est sensiblement équivalent au niveau 3 du NO2 en terme d'impact sur la santé. De plus, nous nous sommes inspirés d'Atmo dont sont issues ces valeurs limites pour définir nos catégories. Nous retiendrons donc les dix catégories définies par les neuf profils limites présentés dans le tableau V.3.2.2.

	C22 : Particules	C23 : NO ₂
b1	10	30
b2	20	55
b3	30	85
b4	40	110
b5	50	135
b6	60	165
b7	80	200
b8	100	275
b9	125	400

Tableau V.3.2.2 : « Valeurs limites pour les particules et le NO₂ »

3.2.4. Niveau de bruit

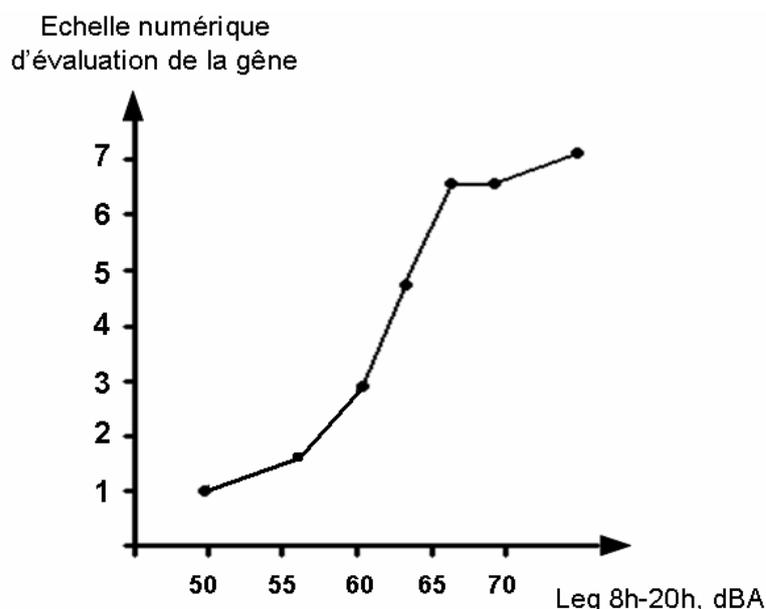


Schéma V.3.2.3 : « Lien entre l'exposition au bruit et la gêne ressentie »

Il nous reste à construire les catégories du critère C51 : « indice de bruit de jour Leq 8h – 20h, dBA ». Pour cela, on peut utiliser la figure V.3.2.3 qui établit la correspondance entre le niveau de bruit de jour Leq 8h – 20h mesuré en façade de personnes interrogées et la valeur de la gêne exprimée (une numérisation qui résulte des intervalles successifs d'Adams et Messick [Maurin, 2003]). Le niveau de bruit est en abscisse et va de 50 dB(A) à plus de 70 dB(A). Il y a sept valeurs d'intervalles en ordonnée. Ce ne sont cependant pas les catégories proposées comme réponse lors de l'enquête mais bien des intervalles construits empiriquement en fonction de la dispersion des réponses, selon la méthode des intervalles successifs. Autrement dit, ces intervalles nous montrent bien l'évolution de la gêne. A la vue de ce graphique, on voit bien qu'il y a trois plages acoustiques sur lesquelles la gêne évolue de manière différente. La première phase

montre une évolution croissante mais lente de la gêne pour une exposition à un niveau de bruit inférieur à environ 56 décibels A (noté dB(A)). A partir de cette valeur, la gêne augmente de façon rapide et cela jusqu'à approximativement 66 dB(A). Enfin, une dernière phase de saturation de la gêne est perceptible pour les valeurs supérieures à 66 dB(A). Il semble donc que l'expression de la gêne par les sondés nous procure assez naturellement trois catégories. Une première catégorie où la gêne est faible et croît lentement, une seconde où la gêne croît rapidement et enfin une catégorie où la gêne est à son paroxysme. Les deux valeurs retenues par lecture graphique pour délimiter ces trois catégories sont donc les profils limites suivants :

- d_1 : 56 dB(A),
- d_2 : 66 dB(A).

La signification de la première catégorie sera alors une situation « verte » (de très bon à bon au sens Atmo), celui de la seconde sera une situation « orange » (de moyen à médiocre) et enfin la dernière sera la situation rouge (de mauvais à très mauvais).

3.3. Seuils de discrimination

Bien souvent, pour les échelles qualitatives ordinales, chaque échelon se distingue en terme de préférences. Dans ce cas, le seuil d'indifférence est nul et le seuil de préférence vaut 1 (si tant est que l'échelle est recodée numériquement par pas de 1 comme expliqué en section IV.3.1.2).

Si chaque échelon ne se distingue pas forcément en terme de préférences, il s'agit alors pour un échelon de compter le nombre d'échelons supplémentaires :

- maximum ne permettant pas de distinguer deux situations au sens des préférences (on obtient alors la valeur du seuil d'indifférence pour l'échelon en question),
- minimum à partir duquel on commence à préférer nettement une situation par rapport à une autre (on obtient la valeur du seuil de préférence pour ce même échelon).

Si le nombre de profils limites (qui doit être fini) n'est pas trop important, on peut répéter ce travail pour chacun d'eux. Sinon, on peut réaliser ce travail en haut puis en bas de l'échelle ordinale pour constater si l'évolution de ces seuils le long de l'échelle est constante, linéaire, ou d'une manière générale est une fonction du niveau de l'échelle.

Pour une échelle numérique, il s'agit ici pour les experts de déterminer les valeurs des seuils en fonction :

- de la précision des données qui entrent dans la construction du critère,
- de l'importance (en terme de préférences) que l'on accorde aux écarts de valeurs le long de l'échelle du critère (caractère plus subjectif que le premier).

En tenant compte de ces deux points, et afin de déterminer les valeurs de ces seuils, il est possible de se poser les questions suivantes, pour un niveau de l'échelle :

- jusqu'à quel écart peut-on considérer qu'il n'est pas pertinent de discerner deux situations en terme de préférences ? (on obtient alors une valeur pour le seuil d'indifférence pour le niveau de l'échelle en question)
- à partir de quel écart sur l'échelle est-il raisonnable de commencer à préférer nettement une situation par rapport à une autre ? (on obtient une valeur pour le seuil de préférence pour le niveau de l'échelle en question)

On doit répéter ce travail en plusieurs points de l'échelle continue pour essayer de conclure sur la nature de chaque seuil. A savoir, si l'évolution de ces seuils le long de l'échelle est constante, linéaire, ou autre fonction du niveau de l'échelle.

3.3.1. Emissions de gaz à effet de serre

Concernant les critères C11, nous proposons de fixer le seuil d'indifférence à 0,3% de $C11_{1990}$, soit :

- $q = 0,003.C11_{1990}$.

Le seuil de préférence peut être à 0,5% de $C11_{1990}$ soit :

- $p = 0,005.C11_{1990}$.

Le critère C12 étant lui-même une valeur relative, on peut fixer de la même manière le seuil d'indifférence à 0,003 et le seuil de préférence à 0,005.

Ces seuils sont fixes. Ils ne dépendent pas du niveau de l'échelle auquel on se situe. Le caractère relatif de ces échelles (relative à la valeur référence de 1990 ou à la valeur référence moyenne nationale) tend à justifier ce choix. En effet, quelque soit la quantité émise, un écart de 0,5% semble pouvoir générer une préférence.

3.3.2. Teneur en CO

Les six catégories définies pour ce critère ne sont pas de même étendue (10 ppm pour la première, 50 ppm pour la cinquième). D'ailleurs l'étendue des catégories augmente avec les teneurs. Pour cette raison mais aussi pour le caractère progressif de l'évolution des conséquences sur la santé nous optons ici pour des seuils (préférence et indifférence) variables. Nous pensons qu'il est raisonnable de fixer le seuil d'indifférence à 5% de la teneur et le seuil de préférence à 10% de la teneur. Autrement dit, on est indifférent entre 10 et 10,5 ppm en revanche on préfère 10 ppm à 11 ppm. De même, on est indifférent entre une teneur de 120 et une teneur jusqu'à 126 ppm, mais on préfère nettement une teneur de 120 à une teneur de 132 ppm. Ces seuils permettent aussi de rendre compte de l'approximation faite lors de la lecture graphique pour fixer les valeurs des profils limites.

Nous rappelons que le travail de définition des catégories et des seuils est bien entendu du ressort d'experts (ici de la santé). Nous ne prétendons donc pas avoir fixé ces valeurs de façon la plus précise, la plus juste, ni la plus objective. Ce que nous avons fait est à titre d'illustration.

3.3.3. Teneur en NO₂ et en particules

Nous n'avons pas le niveau d'expertise permettant de définir à partir de combien de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de différence nous commençons à préférer une situation par rapport à une autre. Cela semble dépendre de là où l'on se situe sur l'échelle mais aussi de la précision et de la fiabilité des mesures. Nous allons tout de même introduire les seuils de préférence et d'indifférence pour ces deux critères ne serait-ce que pour pallier les effets de sauts. En effet, entre 9,5 et 10,5 μg de particules par m^3 d'air, AMTO estime que la situation est meilleure d'une catégorie. Cependant il ne fait pas la différence entre 10,5 et 19,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Comme nous l'avons fait précédemment pour le CO, nous proposons de définir (de manière arbitraire mais non déraisonnable) les seuils d'indifférence de ces deux polluants à 5% et les seuils de préférence à 10% de la teneur mesurée. Ainsi ces seuils sont variables au long de l'échelle du critère et tentent de limiter les effets de sauts dus aux découpages des échelles en catégories.

3.3.4. Niveau de bruit

Concernant les seuils d'indifférence et de préférence, nous allons tenter de les déterminer toujours en exploitant la courbe V.3.2.3. Même si on ne connaît pas la signification du niveau de gêne pour chaque valeur en ordonnée on voit assez bien pour chaque phase de la courbe, de combien il faut augmenter l'exposition (en dB(A)) pour augmenter la gêne de façon sensible (d'un échelon de gêne par exemple). Cela nous permet alors de déterminer le seuil qui nous fait distinguer une situation à une autre donc finalement préférer une situation à une autre. On peut déterminer ces valeurs et obtenir ainsi nos seuils de préférence le long de l'échelle. Ainsi, avant la valeur 56 dB(A), il faut augmenter le niveau de bruit de 6 dB(A) pour augmenter la gêne d'un échelon. Nous proposons donc de retenir un seuil de préférence de 6 dB(A) pour les valeurs inférieures à 56 dB(A). Entre 56 et 66 dB(A), une augmentation de 2 dB(A) suffit à augmenter la gêne d'un échelon. Nous retiendrons cette valeur comme seuil de préférence. Enfin, au-delà de 66 dB(A) la courbe est tellement faiblement croissante (saturation de la gêne) que même 7 dB(A) d'augmentation ne permet pas de franchir un échelon de gêne. Pour ces raisons nous proposons de retenir 8 dB(A) comme seuil de préférence. Les seuils d'indifférence doivent eux aussi être déterminés au regard de cette courbe. Fixer par exemple un seuil d'indifférence à 0 reviendrait à modéliser le fait qu'un individu est sensible (du point de vue de la gêne) à la moindre augmentation du niveau de bruit. Ceci n'est bien sûr pas très réaliste. Notons que certains scientifiques dans ce domaine s'accordent à dire informellement que le flou de l'audition est fixé à environ trois décibels c'est-à-dire que l'oreille humaine n'est pas capable de distinguer une variation de niveau de bruit inférieure ou égale à trois décibels. Cela n'implique cependant pas que cette même variation de trois décibels n'entraîne pas une variation de la gêne ressentie. Nous proposons à titre d'exemple de fixer les seuils d'indifférence de telle sorte qu'un individu est indifférent entre deux situations qui ne se distinguent que par moins d'un demi échelon de gêne. Ainsi, en considérant l'évolution comme quasiment linéaire sur chacune des trois phases identifiées précédemment, cela revient à fixer les seuils d'indifférence comme moitié des valeurs des seuils de préférence, c'est-à-dire 3 dB(A) en dessous de 56 dB(A), 1 dB(A) entre 56 et 66 dB(A) et 4 dB(A) au-delà de 66 dB(A).

3.4. Seuils de veto

Le principe d'un seuil de veto est de conférer à un critère, le pouvoir de s'opposer à lui seul au surclassement quelque soit le poids qu'on lui a accordé. Dans le cadre d'Electre Tri, cela revient à donner au critère le pouvoir de s'opposer à l'affectation d'une situation à une catégorie. Dans notre application, il s'agit de modéliser une fonction d'alerte par le biais de ce seuil.

Par exemple, même si la situation est « très bonne » sur tous les critères sauf sur la teneur en CO où elle est « mauvaise », alors on peut conférer un pouvoir de veto au critère CO pour qu'il s'oppose à l'affectation globale de la situation dans la catégorie « très bonne », « bonne », voire « moyenne ». En fixant le seuil de veto à 60 (b7-b2) sur ce critère, une teneur de 110 empêcherait d'affecter globalement la situation à la catégorie « moyenne », « bonne » ou « très bonne » car quelles que soient les performances de la situation sur les autres critères pour les profils limites inférieurs de ces trois catégories on vérifie alors la condition de veto. En effet :

- $110 - 10 > 60$,
- $110 - 20 > 60$,
- $110 - 45 > 60$.

En revanche, le critère CO ne s'opposera pas à l'affectation de la situation aux autres catégories, comme par exemple la catégorie « médiocre », même si du point de vue CO la situation est « mauvaise » avec une teneur de 110. Nous proposons de conserver la valeur 60 pour seuil de veto sur le critère C21 : « teneur en CO » pour plusieurs raisons. D'une part, parce que les effets du CO sur la santé peuvent être catastrophiques, contrairement aux nuisances de gênes. D'autre part, la valeur 60 permet pour une teneur de 120 (situation très mauvaise) d'empêcher l'affectation globale de la situation à la catégorie « vert », et même « moyen ». Pour des teneurs encore plus élevées et à partir de 130 ppm, la situation sera affectée à « rouge ». Pour des teneurs en dessous de 70 ppm, ce veto ne jouera plus aucun rôle. Il permettra de couvrir une fonction d'alerte concernant la dangerosité due à la présence trop importante de CO dans l'air (situation rouge).

Pour les mêmes raisons, nous proposons d'introduire un seuil de veto pour les deux polluants d'Atmo que sont les particules et le NO₂. Pour les particules nous retiendrons la valeur 70 (R7-R1) et pour le NO₂ la valeur 170 (R7-R1).

Nous ne souhaitons pas introduire de seuil de veto concernant la gêne due au bruit car il ne nous semble pas aussi crucial d'alerter en cas de pic de bruit qu'en cas de pic de pollution sensible.

Pour les critères annuels (ou annualisés à partir d'un ensemble de critères journaliers), nous ne souhaitons pas non plus donner de pouvoir de veto compte tenu de leur échelle temporelle d'observation. Nous souhaitons en effet réserver la fonction d'alerte (modélisée grâce au veto) pour les critères dont les valeurs peuvent être mesurées fréquemment.

Couleur	Vert						d1	Orange					d2	Rouge					
	Très bon		c1		Bon		c2	Moyen	c3		Médiocre		c4	Mauvais		c5	Très mauvais		
	1	b1	2	b2	3	b3			4	b4	5	b5		6	b6			7	b7
C11: Quantité annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO2 rapportée à la quantité de 1990 (norme de Kyoto)																			
bi	0,92				0,97		1		1,1		1,2		1,3		1,5		1,7		
	5		0,95		5		1		1,1		1,2		1,3		1,5		1,7		
	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
q	3		3		3		3		3		3		3		3		3		
	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
p	5		5		5		5		5		5		5		5		5		
v	-		-		-		-		-		-		-		-		-		
C12: Quantité annuelle émise de gaz à effet de serre en équivalent CO2 par habitant rapportée à la moyenne nationale																			
bi	0,92				0,97		1		1,1		1,2		1,3		1,5		1,7		
	5		0,95		5		1		1,1		1,2		1,3		1,5		1,7		
	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
q	3		3		3		3		3		3		3		3		3		
	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
p	5		5		5		5		5		5		5		5		5		
v	-		-		-		-		-		-		-		-		-		
C21: Teneur en CO en ppm																			
ci	-		10		-		25		45		-		70		-		120		
q (5%)	-		0,5		-		1,25		2,25		-		3,5		-		6		
p (10%)	-		1		-		2,5		4,5		-		7		-		12		
v	-		60		-		60		60		-		60		-		60		
C22 : teneur en particules en ppm																			
bi	10		20		30		40		50		60		80		100		125		
q (5%)	0,5		1		1,5		2		2,5		3		4		5		6,25		
p (10%)	1		2		3		4		5		6		8		10		12,5		
v	70		70		70		70		70		70		70		70		70		
C22 : Teneur en NO2 en ppm																			
bi	30		55		85		110		135		165		200		275		400		
q (5%)	1,5		2,75		4,25		5,5		6,75		8,25		10		13,8		20		
p (10%)	3		5,5		8,5		11		13,5		16,5		20		27,5		40		
v	120		120		120		120		120		120		120		120		120		
C51 : Indice de bruit de jour Leq 8h-20h, dB(A)																			
di	-		-		-		56		-		-		66		-		-		
q	-		-		-		3		-		-		1		-		-		
p	-		-		-		6		-		-		2		-		-		



Tableau V.3 : « Récapitulatif des valeurs des profils limites et des seuils »

3.5. Poids et majorité requise

Pour cette application, jouons tout d’abord le rôle de l’évaluant, qui doit pondérer les objectifs en fonction de son propre système de valeurs. Il a pour cela toute liberté et en conséquence, n’a pas forcément à justifier ses choix. Nous allons donc en faire de même et fixer un jeu de poids e_i pour tous les objectifs de la hiérarchie obtenue dans la partie III.3.3 de la manière décrite en section IV.2.2.1, c’est-à-dire en raisonnant tout d’abord pour chaque nœud d’objectif, chaque objectif décomposable en sous-objectifs. On obtient le tableau « Poids n_i » qui figure en annexe. Après normalisation de ces poids à chaque nœud de la hiérarchie, on obtient alors le jeu des poids e_i proposés dans le tableau en annexe « Poids e_i ». Enfin, dans le tableau de l’annexe « Poids p_i » où les poids des objectifs de plus bas niveau sont représentés en caractères gras, on obtient les poids p_i (en pourcentage pour une meilleure lisibilité) après propagation des poids (section V.2.2.1).

On vérifie alors ici que :

- le poids d’un objectif décomposable vaut la somme des poids des sous-objectifs qui le décomposent,
- la somme des poids de tous les objectifs de plus bas niveau (non décomposables) vaut 1.

Les experts doivent ensuite fixer les poids l_i . Ces poids seront fixés à 0 s’il n’est pas possible de trouver au moins un critère permettant d’appréhender au moins en partie l’atteinte de l’objectif en question. Les valeurs l_i ne sont pas ici justifiées étant donné que nous jouons volontairement le rôle des experts sans en avoir la compétence. On obtient enfin les poids k_i , qui entreront dans la procédure d’agrégation.

Maîtriser l’environnement		l_i	$k_i = p_i \cdot l_i$
A l’échelle planétaire			
Conserver un environnement favorable à la vie humaine		100,00%	5,00%
5,0% Limiter l’effet de serre			
A l’échelle locale			
Concernant les milieux humains			
Concernant la santé publique			
Limiter les effets de la pollution de l’air			
8,750% Des pics de pollutions		100,00%	8,75%
4,375% De la pollution de fond		70,00%	3,06%
17,50% Limiter les effets du bruit sur la santé		30,00%	5,25%
Concernant la qualité de vie			
Limiter la gêne			
9,000% Due aux bruits		100,00%	9,00%
		Total :	31,06%
Taux de participation :		44,63%	
Taux de représentativité des participants :		69,61%	

Tableau V.3.5 : « Poids, taux de participation et de représentativité »

Dans le cadre de notre application, nous allons fixer λ à 0,75 ce qui est assez sévère. Nous prendrons cette même valeur pour tous les niveaux de la hiérarchie. Il semble cependant intéressant, dans une version finale de l'outil, de laisser la possibilité de faire varier λ et de voir les conséquences sur le résultat de l'évaluation.

3.6. Procédure d'agrégation multicritère

Nous avons vu dans la section IV.4 que choisir entre la procédure optimiste et la procédure pessimiste d'Electre Tri [Roy B., Bouyssou D., 1993] revient à arbitrer le cas de l'incomparabilité. Nous optons dans notre mise en œuvre pour la procédure pessimiste qui est la plus prudente.

Conclusion

D'un point de vue théorique, nous avons dans ce chapitre essayé de faire ressortir l'intérêt de distinguer l'activité d'aide à l'évaluation de celle d'aide à la décision tout en soulignant la complémentarité de ces deux processus. De plus, nous avons proposé une problématique spécifique d'aide à l'évaluation qui est un mélange des problématiques de tri et de la description, problématiques classiques en aide à la décision. Celle-ci, fondée sur le parcours de l'arbre d'objectifs issu de la structuration réalisée en chapitre III, offre l'avantage d'alterner agrégation et désagrégation de l'information.

Ensuite, nous avons souhaité rendre cette approche opérationnelle en vue de la mise en place d'un outil d'aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement. A cette occasion, nous avons réalisé des choix méthodologiques en essayant de prendre en compte les spécificités des problèmes rencontrés dans le domaine de l'environnement et des transports.

Enfin, nous avons joué le rôle de l'évaluateur et de l'expert pour une mise en œuvre simplifiée, qui a cependant pour mérite d'illustrer notre travail, mais aussi d'essayer de montrer l'esprit dans lequel il nous semble bon de mener une telle modélisation, de soulever certains problèmes que peuvent être amenés à rencontrer les acteurs de la modélisation et de proposer certaines façons de contourner ces problèmes.

Nous proposons, dans le dernier chapitre, d'orienter notre travail vers les spécifications fonctionnelles d'un outil d'aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement et d'illustrer ces spécifications grâce à un prototype.

Chapitre VI : Spécifications fonctionnelles de l'outil

Introduction

Ce dernier chapitre a pour but de décrire ce que pourrait être un outil d'aide à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement dans l'optique de faciliter, d'instrumenter une mise en œuvre de l'approche proposée tout au long des chapitres précédents.

Dans la première section (VI.1), nous allons envisager plusieurs modes d'utilisation de l'outil et cela au regard des différents acteurs pouvant être amenés à l'utiliser.

Puis, nous nous intéresserons aux spécifications fonctionnelles d'un tel outil. Ces spécifications reflètent, en général, les attentes des utilisateurs en terme de fonctions disponibles. Il s'agit d'un cahier des charges habituellement rédigé par la maîtrise d'ouvrage du projet informatique. Cependant, le projet de recherche dans lequel s'insère ce travail n'ayant pas encore tranché à propos de l'utilisation finale d'un tel outil, nous ne souhaitons pas détailler ici ces spécifications. En revanche, nous proposons de décrire, sous forme de processus, les fonctions incontournables pour une éventuelle mise en œuvre de notre démarche. Cela fera l'objet de la section VI.2.

En section VI.3, nous proposons une modélisation possible des données, compatible avec les spécifications fonctionnelles en question. Ce travail est dans la pratique réalisé par la maîtrise d'œuvre d'un projet informatique, en forte concertation avec la maîtrise d'ouvrage ou ses représentants. Nous insisterons ici sur les données nécessaires à l'agrégation. Nous évoquerons à cette occasion, les possibilités d'un éventuel lien avec un système d'information géographique (SIG).

La section VI.4 sera consacrée à la description du fonctionnement du moteur d'agrégation qui apparaît comme assez central dans notre approche.

A partir de cela, nous avons développé un prototype ne couvrant pas toutes les fonctions imaginées initialement, mais illustrant ce que pourrait être un Système Informatique d'Aide à l'Evaluation (en référence aux Systèmes Informatiques d'Aide à la Décision) permettant l'agrégation de l'information dans le domaine de l'environnement et des transports. Ce prototype sera présenté en section VI.5 à l'aide de divers scénarii.

1. Modes d'utilisations et acteurs

La navigation dans l'outil pourrait s'organiser autour de sept processus :

- définition du système évalué,
- définition de la structure des objectifs,
- sélection et pondération des objectifs,
- définition des critères,
- définition des catégories,
- évaluation des performances,
- consultation des résultats.

Ces processus reprennent les cinq étapes du processus d'aide à l'évaluation proposée en section II.3.2. D'autre part, pour tenir compte des choix méthodologiques réalisés à titre d'illustration dans le chapitre V, ont été ajoutés le processus de « sélection et pondération des objectifs » nécessaire à la mise en place de la procédure agrégative, et celui de la « définition des catégories » afin de répondre à la problématique décrite en section V.1.2.

Etant donné que le contexte d'utilisation du type d'outil dont il est question dans ce travail n'est pas parfaitement cadré (cf. Introduction générale), il paraît important d'envisager plusieurs façons d'insérer l'outil dans un processus d'aide multicritère à l'évaluation. En effet, le contexte conditionne fortement la nature des acteurs entrant en jeu ainsi que leurs rôles respectifs dans le processus. Cela conditionne en conséquence les fonctions auxquelles ils doivent avoir accès.

Parmi les catégories d'acteurs du processus d'aide à l'évaluation (section III.3.1), écartons d'une part l'évalué. En effet, dans ce contexte, c'est l'environnement qui est évalué et donc il ne s'agit pas de personnes, même si certains aspects environnementaux (comme la gêne) peuvent être ressentis par des acteurs à proprement dit. Ces derniers n'interviendront qu'indirectement dans le processus d'aide à l'évaluation (par exemple par l'intermédiaire de sondages) mais ne seront pas amenés à utiliser l'outil. D'autre part, l'homme d'étude est l'acteur chargé d'organiser le processus d'aide à l'évaluation et d'accompagner les autres acteurs tout au long de celui-ci. A ce titre, il peut intervenir dans toutes les étapes en tant que support aux autres acteurs mais ne se substituera pas à eux. Concernant les personnes complètement extérieures, elles ne seront pas amenées à utiliser directement l'outil, même si elles pourront indirectement consulter des résultats d'évaluations. Il reste finalement deux grandes familles d'acteurs susceptibles d'utiliser l'outil : l'évaluant et les experts.

Si le rôle joué par ces deux types d'acteurs tout au long du processus d'aide à l'évaluation a été identifié, il n'en demeure pas moins que les personnes susceptibles de prendre ces rôles ne seront pas forcément les mêmes en fonction de ce que l'on souhaite faire avec l'outil. Trois sortes de contextes de mise en œuvre d'un tel outil peuvent être envisagées à titre d'illustration :

- indicateur environnemental global : construire un indicateur global concernant les transports dont la vocation est de qualifier la situation environnementale d'une ville, d'une région ou d'un pays afin de comparer différentes villes, régions ou pays, afin de communiquer.
- démocratie participative au niveau de l'agglomération : disposer d'un outil permettant d'appréhender la situation environnementale en support à la mise en place et au suivi

d'une politique de transports au niveau d'une agglomération dans un contexte de démocratie participative (élus, public et acteurs économiques),

- suivi local et personnalisé : disposer d'un outil de suivi afin que l'utilisateur soit à même de se forger une opinion personnelle concernant l'impact des transports sur l'environnement d'un sous-ensemble géographique.

Certains des sept processus pourront ne pas être disponibles en fonction de ce à quoi est destiné l'outil. En effet, si l'on souhaite, par exemple, construire un indicateur environnemental global permettant la comparaison de villes (l'exemple de l'indice Atmo si on restreint l'environnement à la qualité sanitaire de l'air), il ne faut pas permettre aux responsables des différentes agglomérations de modifier les valeurs limites des catégories. Si tel était le cas, une même valeur de l'indicateur n'aurait pas la même signification d'une ville à l'autre.

Les fonctions non disponibles (donc ne nécessitant pas de développement informatique) pourront être remplacées par une phase de paramétrage préalable à l'utilisation de l'outil, comme cela se fait pour un progiciel. Un tel paramétrage n'est pas censé être fréquemment modifié, cependant on peut envisager de le faire évoluer si nécessaire, notamment si certaines normes évoluent ou lors de l'acquisition de nouvelles connaissances concernant les phénomènes environnementaux...

A titre d'illustration, nous proposons trois modes d'utilisation allant du plus permissif au plus restrictif :

- ouvert, pour un « suivi local et personnalisé »
- semi-ouvert, pour une « démocratie participative au niveau de l'agglomération »
- figé, pour un « indicateur environnemental global ».

Chaque mode d'utilisation implique alors différents niveaux de disponibilité des fonctions. Le tableau VII.1.a propose des combinaisons et rappelle quels sont les acteurs concernés par le processus en question.

Processus	Modes d'utilisation			Acteurs
	Ouvert	Semi-ouvert	Figé	
Définition du système évalué	Disponible	Disponible	Disponible	Evaluateur
Définition de la structure d'objectifs	Disponible	Non disponible	Non disponible	Evaluateur et experts
Sélection et pondération des objectifs	Disponible	Disponible	Non disponible	Evaluateur
Définition des critères	Disponible	Non disponible	Non disponible	Experts
Définition des catégories	Disponible	Non disponible	Non disponible	Experts
Evaluation des performances	Disponible	Disponible	Disponible	Automatisé/Experts
Consultation des résultats	Disponible	Disponible	Disponible	Evaluateur

Tableau VII.1.a : « Disponibilité des processus, modes d'utilisation, acteurs »

Bien entendu, les personnes qui joueront le rôle de l'évaluateur ne seront pas les mêmes si on souhaite construire un indicateur global ou si on souhaite disposer d'un outil pour un suivi local et personnalisé. Il en est de même pour le rôle des experts qui ne sera pas représenté par les mêmes personnes selon le contexte. Le tableau VII.1.b illustre comment le mode d'utilisation permet d'adapter l'aide à l'évaluation aux trois contextes que nous avons proposés et donne un exemple de personnes pour chaque catégorie d'acteurs.

Contexte	Evaluateur	Experts	Mode d'utilisation
Indicateur environnemental global	Collège d'experts, vision globale	Collège international d'experts, par thématique	Figé
Démocratie participative au niveau de l'agglomération	Elus, public, acteurs économiques	Collège national d'experts, par thématique	Semi-ouvert
Suivi local et personnalisé	Un élu	Conseillers techniques de l'élu	Ouvert

Tableau VII.1.b : « Trois contextes illustratifs »

Commentons les tableaux VII.1.a et VII.1.b. Pour le contexte « indicateur environnemental global », en mode figé, l'évaluateur pourra être un collège d'experts ayant une vision globale des problèmes environnementaux liés à l'activité des transports. En revanche, le rôle de l'expert pourra être endossé par un ensemble de personnes chacune spécialisée dans une thématique environnementale. Dans ce contexte, les experts et l'évaluateur contribueront chacun au paramétrage de l'outil en définissant le référentiel servant à l'évaluation (objectifs, poids, critères, seuils, ...). Le mode d'utilisation figé semble alors convenir le mieux pour ce genre d'outil, afin de ne pas permettre aux utilisateurs de modifier tout ou partie de ce référentiel. Avec un référentiel (objectifs, poids, critères, catégories, seuils...) invariant (ou

variant peu et peu souvent), les comparaisons de situations auront davantage de signification. On peut par exemple imaginer pour ces faibles variations, de mettre en ligne sur Internet, des mises à jour à télécharger. Ainsi, mis en œuvre dans une ville, cet outil permet la définition du système évalué, la saisie des performances et la consultation des résultats. Les utilisateurs pourront finalement être très peu experts en environnement, l'expertise étant déjà incluse dans l'outil par le biais de divers paramètres. De plus, pour ces mêmes raisons, ce genre d'outil pourrait être mis à la disposition de personnes non familiarisées avec la modélisation multicritère. Ainsi, l'homme d'étude interviendra principalement dans la phase de paramétrage avec l'expert et l'évaluant.

Au contraire, dans le cadre d'une « démocratie participative au niveau de l'agglomération », en mode semi-ouvert, il est souhaitable de laisser plus de liberté aux utilisateurs. Seuls les processus de « définition de la structure d'objectifs », de « définition des critères » et de « définition des catégories » ne seront pas disponibles : ils feront l'objet d'un paramétrage préalable (tableau VII.1.a). Ces paramètres seront fixés par l'expert qui pourra, dans ce cas, être un collègue d'experts spécialisés dans les différentes thématiques environnementales. En mode semi-ouvert, en plus des processus de « définition du système évalué » de « saisie des performances » et de « consultation des résultats », les utilisateurs pourront donc « sélectionner et pondérer les objectifs » à leur disposition dans la hiérarchie. Ainsi, la concertation et la communication autour des objectifs retenus et de leurs poids pourront avoir lieu en mettant en scène les différents protagonistes jouant le rôle de l'évaluant qui pourront en l'occurrence être les élus, le public et les acteurs économiques (ceux de la démocratie participative, cf. Introduction générale). La concertation et la communication pourront s'appuyer sur les résultats de l'évaluation de la situation en question. Les utilisateurs auront donc une certaine liberté pour faire varier le référentiel de l'évaluation (objectifs et poids), sans pour autant avoir de connaissances d'experts ni être trop familiarisés avec la modélisation multicritère (pas besoin de savoir construire un critère, définir une catégorie, déterminer les valeurs des seuils). La maîtrise de la « méthode des cartes » (méthode manuelle) semble cependant requise pour permettre la pondération. Ainsi, l'homme d'étude aura un rôle non négligeable lors de l'utilisation de l'outil dans ce contexte.

Enfin, pour un suivi local et personnalisé, le dernier mode proposé (mode ouvert), laisse libre les utilisateurs de définir le référentiel de l'évaluation (objectifs, critères, seuils, poids, catégories...) à leur guise. Les résultats produits par un tel outil d'aide à l'évaluation n'engagent donc qu'eux. Une bonne connaissance des thématiques est alors requise pour les personnes jouant le rôle de l'expert, comme par exemple les conseillers techniques d'un élu. L'homme d'étude doit de plus superviser toutes les phases de la modélisation multicritère qui sont alors des fonctions disponibles dans l'outil. L'évaluant, l'élu est de son côté parfaitement libre de créer ses propres objectifs. En définitive, un tel mode d'utilisation d'outil n'est pas destiné à la communication mais est plutôt le support au suivi personnalisé d'une situation par un élu.

Précisons que nous avons proposé ces trois modes d'utilisation sans prétendre être exhaustifs mais bien pour illustrer notre approche. Compte tenu du contexte de ce travail, notamment concernant l'avancement du projet de recherche dans lequel il s'insère (Introduction générale), le mode d'utilisation de l'outil ainsi que le profil des futurs utilisateurs restent en effet mal définis.

2. Spécifications fonctionnelles

Cette section est dédiée à la description fonctionnelle des sept processus de navigation proposés en section précédente. Pour cela, nous allons passer en revue les fonctions informatiques (il ne s'agit pas, ici, des trois fonctions de l'aide à l'évaluation) qui pourront être mises en œuvre pour une application dans le domaine de l'environnement et des transports.

L'outil doit être spécifié afin de servir de support au processus d'aide à l'évaluation. La description fonctionnelle d'un tel outil ne couvre pas la globalité du processus d'aide à l'évaluation (section II.3.2) mais uniquement sa partie informatisée. A titre d'exemple, ce n'est pas la façon de déterminer un jeu de poids qui sera décrite ici (méthode manuelle décrite en section IV.3.4.2 et complétée en section V.2.2) mais la fonction informatique qu'il faut prévoir pour saisir ces poids.

L'ordre dans lequel les processus ont été introduits (et dans lequel ils vont être décrits) respecte ce qui semble être les pré-requis raisonnables (Cf. schéma VI.2). Par exemple, la « définition des catégories » nécessite que les critères aient eux-mêmes été préalablement définis. Cependant, la « définition du système évalué » peut être envisagée à tout moment et pas seulement qu'en premier lieu. Notamment lors de la consultation des résultats, il doit être possible de permettre à l'utilisateur de changer le système évalué. Ainsi, l'ordre de déroulement de ces processus n'est pas figé et nous renvoyons le lecteur au schéma II.3.3 qui présente le processus d'aide à l'évaluation dans sa globalité.

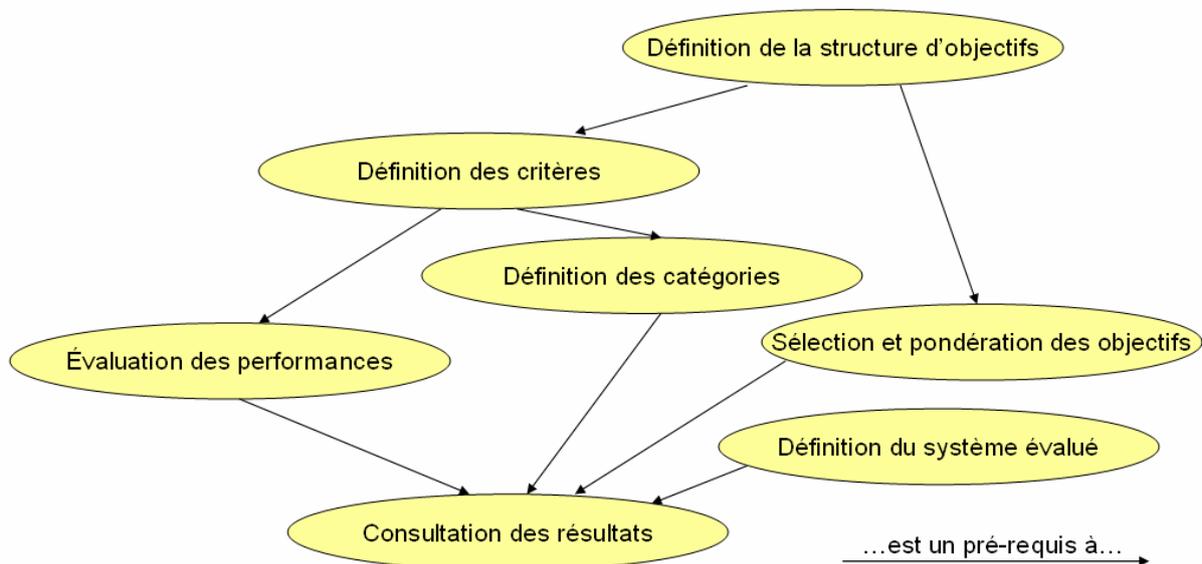


Schéma VI.2 : « Les processus et les pré-requis »

Le terme général d'« utilisateur » sera employé pour faire référence à la ou les personnes amenées à utiliser l'outil, cependant il ne sera pas précisé à ce niveau de quel acteur il s'agit au sens du processus d'aide à l'évaluation. Le rôle des acteurs a déjà été développé dans la section II.3.2 et comme nous l'avons vu en section VI.1, tous les acteurs ne participeront pas à tous les processus notamment en fonction du mode d'utilisation de l'outil dont il sera question.

2.1. Processus définition du système évalué

Ce processus n'a pas de pré-requis. Dans le contexte de l'environnement et des transports, le système évalué est « une situation environnementale ». Cette situation évoluant au cours du temps, il faut donc, pour définir le système évalué, sélectionner :

- le périmètre géographique de la situation environnementale qui fait l'objet de l'évaluation,
- la fenêtre temporelle d'observation de cette situation.

2.1.1. Fonction sélection du périmètre géographique

Il s'agit pour cette fonction de permettre à l'utilisateur de sélectionner l'ensemble géographique sur lequel va porter l'évaluation. On peut imaginer pour cela de mettre à la disposition de l'utilisateur une cartographie numérique. Le choix du périmètre géographique pourra se faire en sélectionnant ou désélectionnant des zones prédécoupées. Imaginons, par exemple, de griser les zones non sélectionnées et de colorer les zones sélectionnées, par simple clic. Le visuel de cette coloration permet de montrer tout de suite la zone sur quoi portera l'évaluation. Pour ce mode de navigation, une ou plusieurs partitions de la cartographie générale peuvent préexister dans l'outil. Ces partitions pourront différer par leurs échelles d'observations. Il semble notamment intéressant de construire des partitions à l'échelle de la ville (quartiers par quartiers) à l'échelle de la région ou à l'échelle nationale. Si la navigation commence en offrant la cartographie la plus générale (nationale par exemple), l'utilisateur peut choisir de colorer une zone toute entière (exemple : une région). Il peut aussi choisir d'entrer dans la zone pour avoir plus de détail. Une fois entré dans la zone en question, l'utilisateur visualise alors le partitionnement de cette zone. Il peut aussi ici, choisir d'activer ou désactiver des sous-zones de cette zone (des villes ou des espaces naturels pour une région sélectionnée, des quartiers pour une ville sélectionnée). En permettant ensuite à l'utilisateur de revenir à souhait au niveau national, régional ou urbain, il pourra alors combiner plusieurs zones pour étendre le périmètre géographique concerné par l'évaluation. Finalement, la cartographie globale présentera un récapitulatif du périmètre retenu par la coloration de toutes les zones et sous-zones sélectionnées.

2.1.2. Fonction sélection de la fenêtre temporelle d'étude

Une seconde fonction concerne le choix de la fenêtre temporelle d'étude. L'utilisateur doit pour cela choisir deux dates :

- la date du début de la période d'observation,
- la date de fin de la période.

Si l'utilisateur souhaite évaluer la situation uniquement à une date précise et non sur un intervalle de temps, il lui suffit alors de saisir une seule date.

2.2. Processus définition de la structure d'objectifs : arbre générique

Le processus « définition de la structure d'objectifs » doit permettre à l'utilisateur de créer informatiquement un « arbre générique » d'objectifs au sens de la section III.3. Il n'y a pas de pré-requis à ce processus.

Rappelons que l'utilisateur sera amené à manipuler deux arbres :

- l'arbre générique : premier arbre d'objectif, complet, issu du « processus définition de la structure d'objectifs », qui sert à la construction du second,
- l'arbre sélectionné : « inclus » (au sens de la section III.3.4) dans l'arbre générique et issu du processus « sélection et pondération des objectifs » (section suivante VI.2.2.1). Il servira finalement de référentiel à l'évaluation.

Ce processus commence donc à la position racine (section III.1.2.5) de l'arbre générique, qui est l'objectif de plus haut niveau. Si la définition de la structure d'objectifs n'a jamais été réalisée, cet unique objectif racine est aussi feuille. L'utilisateur doit ensuite pouvoir alterner les deux fonctions suivantes.

2.2.1. Fonction décomposition d'un objectif en sous-objectif

Pour construire l'arbre générique, l'utilisateur doit pouvoir décomposer s'il le souhaite, une feuille de cet arbre en sous-objectifs pour permettre de modéliser le principe de décomposition des objectifs décrits en section III.1.2.5. S'il choisit cela, l'outil doit alors se positionner au niveau de cette feuille (qui par conséquence perd sa qualité de feuille) et permettre la « fonction ajout et suppression de sous-objectifs » à cet objectif devenu décomposable.

Les objectifs non décomposables formeront l'ensemble des feuilles de l'arbre des objectifs, c'est-à-dire les objectifs de plus bas niveau.

2.2.2. Fonction ajout et suppression de sous-objectifs

Au niveau de chaque objectif décomposable de l'arbre, l'utilisateur doit pouvoir visualiser l'ensemble des sous-objectifs qui lui sont directement rattachés. Il peut alors choisir de supprimer un de ces sous-objectifs. Dans ce cas, il s'agit de supprimer le sous-objectif en question ainsi que tous ses sous-objectifs. Si tous les sous-objectifs d'un objectif sont supprimés, celui-ci redevient feuille de l'arbre.

L'utilisateur peut aussi choisir d'ajouter à un objectif décomposable autant de sous-objectifs qu'il veut. Chaque objectif ainsi créé est donc une feuille de l'arbre. Chacun doit faire l'objet d'une description précise, dans un langage compréhensible du grand public. On peut imaginer plusieurs niveaux de précision (ou de vulgarisation) de ces définitions afin de faciliter la communication, la transparence et la bonne compréhension. Par exemple, un premier niveau de

description de l'objectif pourrait se contenter de le présenter brièvement (quelques mots) alors qu'un second niveau plus fin pourrait entrer dans les détails (quelques phrases). Le niveau résumé peut être utile à l'évaluant comme pense-bête tandis que la description plus fine peut servir aux experts pour mieux cerner ce qu'ils ont à représenter par un critère.

2.3. Processus sélection et pondération des objectifs : arbre sélectionné

Un pré-requis à ce processus est d'avoir préalablement réalisé la « définition de la structure d'objectifs » aboutissant à l'arbre générique (section précédente VII.2.2). Il est alors question pour l'utilisateur de décliner dans l'outil son propre système de valeurs, c'est-à-dire ce qui importe pour lui dans le suivi environnemental d'une situation relativement aux transports. Pour cela, il utilise l'arbre générique, à partir duquel il doit pouvoir sélectionner et pondérer les objectifs disponibles. C'est cela qui servira finalement de référentiel à l'évaluation, qui se fera relativement à l'ensemble des objectifs sélectionnés et pondérés.

2.3.1. Fonction sélection des objectifs

Pour cela, l'utilisateur doit décliner ce qu'il entend être des objectifs concernant l'état d'une situation. Il doit donc créer sa propre hiérarchie d'objectifs allant des objectifs les plus généraux aux objectifs les plus précis et fins. L'outil mettra donc à sa disposition une liste d'items candidats à être un des objectifs les plus généraux. Les intitulés doivent être simples. La définition plus précise peut apparaître notamment grâce à des « info-bulles ». L'utilisateur peut choisir d'activer ou de désactiver tout ou partie des objectifs proposés à ce premier niveau. En se positionnant sur l'objectif, il verra apparaître alors la liste des objectifs qui décomposent cet objectif très global. Il pourra alors choisir (par exemple grâce à une liste d'items à « glisser » dans la hiérarchie) pour chacun des objectifs généraux activés par l'utilisateur dans une liste de séparateurs (section IV.3.1.2). Par exemple, l'objectif général « effet sur la santé », peut avoir comme séparateur « court terme/long terme ». En choisissant de « glisser » ce séparateur sur l'objectif, l'utilisateur va faire apparaître deux nouveaux fils au nœud choisi. Il décompose en fait un objectif général en deux sous-objectifs (dans notre exemple, l'objectif « effet sur la santé » sera décomposé en deux sous-objectifs « effet à court terme sur la santé » et « effet à long terme sur la santé »).

Les feuilles de l'arbre des objectifs seront distinguées par leurs représentations graphiques dans la hiérarchie et de plus, on ne doit pas pouvoir les décomposer en faisant glisser un séparateur sémantique dessus. Elles seront cependant toutes activables ou désactivables. Elles seront rattachées chacune à un objectif plus général.

2.3.2. Fonction pondération des objectifs

Il est ensuite nécessaire de prendre en compte l'importance relative qu'accordent les utilisateurs aux différents objectifs concernant l'état de l'environnement. Cette pondération servira à permettre les éventuelles agrégations multicritères. Pour cela, l'outil devra offrir à l'utilisateur la possibilité d'attribuer à chaque nœud de l'arbre des poids à chacun des sous-objectifs du nœud en question. En même temps que la valeur de ces poids, l'utilisateur doit pouvoir saisir la valeur du paramètre λ de la majorité requise (cf. section V.3.1.3), paramètre nécessaire pour une agrégation souhaitée à ce niveau de la hiérarchie.

2.4. Processus définition des critères

2.4.1. Fonction construction d'un critère

La première fonction de ce processus doit permettre de construire un critère. A cet effet, l'utilisateur doit pouvoir décrire le critère précisément tant dans la façon dont il est construit que concernant le point de vue qu'il représente. D'autre part, il doit indiquer le caractère croissant ou décroissant de l'échelle du critère. Concernant les seuils, nous pensons qu'il est préférable de les associer directement aux différentes valeurs des profils limites. Cela permet notamment de traiter le problème des seuils variables.

Enfin, l'utilisateur doit pouvoir préciser la portée temporelle du critère. Il s'agit de la saisie de la durée (nombre de jours, de mois ou d'années) correspondant à la fenêtre temporelle que couvre l'information contenue dans le critère en question.

2.4.2. Fonction affectation et désaffectation d'un critère à un objectif

La seconde fonction est de permettre l'affectation à chaque objectif feuille d'un critère préalablement construit. Le pré-requis à cette fonction est d'avoir préalablement défini la structure d'objectifs et d'avoir construit les critères.

Alors, en se positionnant sur un objectif feuille pour lequel aucun critère n'a encore été affecté, l'utilisateur doit pouvoir visualiser l'ensemble des critères disponibles (pas encore affectés à un objectif feuille) ainsi que leur description précise (saisie lors de la construction du critère). Lors de cette association, l'utilisateur doit aussi pouvoir fixer la valeur du coefficient de représentativité dont il est question en section VI.2.2.2.

D'autre part, en se positionnant sur un objectif feuille pour lequel un critère a déjà été affecté, l'utilisateur doit pouvoir désaffecter le critère en question.

2.5. Processus définition des catégories

En pré-requis à ce processus, il est nécessaire d'avoir défini les critères.

2.5.1. Fonction saisie des valeurs limites sur un critère

Pour chaque critère, l'utilisateur doit fixer les valeurs limites définissant les catégories. Pour notre application, nous avons retenu dix catégories comme celles d'Atmo ce qui conduit à définir neuf valeurs limites pour ces catégories. Cela nécessite préalablement que la sémantique de chacune de ces dix catégories soit décrite de façon relativement fine (section V.2.1).

Cependant, ces dix catégories ne sont pas nécessaires pour chaque critère (Cf. schéma V.3 où plusieurs critères ont moins de neuf profils limites) : il doit aussi être possible de définir moins de neuf valeurs limites.

Pour cela, l'utilisateur doit pouvoir visualiser les dix catégories ordonnées (et leur description). En conséquence, pour chacune des neuf premières catégories et pour un critère donné, l'utilisateur doit pouvoir fixer (éventuellement) la valeur limite inférieure de cette catégorie sur l'échelle du critère en question. Pour un critère donné, il faut au moins que l'utilisateur fixe une valeur limite, sans quoi le critère ne pourra pas être pris en compte dans l'agrégation.

2.5.2. Fonction définition des seuils

Sur un critère, pour chacune des valeurs limites fixées dans la fonction précédente, il doit être possible de fixer les valeurs des seuils (tels que définis en sections IV.1.3 et IV.3.1.2) :

- d'indifférence,
- de préférence,
- de veto.

Cette façon de fixer les seuils permet de traiter à la fois le cas des seuils fixes (même valeur du seuil pour tous les profils limites) et celui des seuils variables (valeur du seuil pouvant dépendre du profil limite).

2.6. Processus évaluation des performances

En pré-requis à ce processus, il faut avoir défini les critères.

2.6.1. Fonction saisie d'une performance

L'utilisateur doit pouvoir saisir la performance d'une zone géographique sur un critère. Pour cela, l'utilisateur choisira un critère et une zone géographique (celle dont provient la performance à saisir) puis saisira la performance ainsi que la date à laquelle cette performance a été observée. Si cette saisie est la première pour un couple donné (critère, zone géographique), la fonction définit alors un « évaluateur » (section II.1.3.6), c'est-à-dire une nouvelle source d'information à

laquelle on peut donner un nom (exemple : appareil de mesure du niveau de bruit de la zone nord de la ville de Lyon).

2.6.2. Fonction saisie d'une valeur servant de clé de répartition

L'utilisateur doit aussi, pour les critères qui font l'objet d'une agrégation temporelle et/ou géographique saisir la donnée servant de clé de répartition temporelle et/ou géographique (Cf. section V.2.3). Si aucune donnée n'est pressentie pour servir de clé de répartition, on peut alors attribuer la valeur par défaut 1. Cela revient à considérer toutes les performances comme ayant la même importance dans la procédure d'agrégation indépendamment du lieu et de la date à laquelle elles sont observées.

2.7. Processus consultation des résultats

Ce dernier processus nécessite la réalisation de tous les autres.

Suite à cela, l'utilisateur pourra, pour un nœud de la hiérarchie, pour un objectif donné, consulter le résultat sous forme de cartes colorées (couleurs différentes selon le résultat de l'évaluation). Une interaction entre l'utilisateur et l'outil devrait permettre de modifier facilement les différentes options et d'en visualiser rapidement les effets sur les résultats.

Une autre façon d'envisager la consultation des résultats est de permettre à l'utilisateur, pour un périmètre géographique et une fenêtre temporelle d'observation fixés (section VI.2.1), de parcourir l'arbre sélectionné d'objectifs (issu de la section VI.2.3) et de visualiser le résultat de l'évaluation objectif par objectif. Il pourra ainsi consulter le résultat des évaluations de manière agrégée, ou au contraire détaillée.

Cette seconde façon d'envisager la consultation des résultats sera illustrée par différents scénarii d'utilisation du prototype en section VI.5.

3. Modèles de données

Cette section présente une façon de modéliser les données nécessaires à alimenter les processus décrits précédemment en utilisant les concepts de la méthode Merise [Tardieu H., 2000]. Merise est avant tout une démarche de construction de système d'information. Elle a pour originalité de distinguer tout au long de la modélisation, ce qui relève des données de ce qui relève des traitements. Or, nous ne souhaitons pas en dire plus que dans la section précédente concernant les traitements (ce que nous avons nommé les processus et les fonctions).

Cette section présente donc un Modèle Conceptuel de Données (MCD) et le Modèle Logique de Données (MLD) que l'on peut en déduire. Ces deux modèles incluent le minimum des données nécessaires à la mise en œuvre de notre démarche, dans un contexte d'aide à l'évaluation dans le domaine de l'environnement et des transports avec un souci d'agrégation de l'information.

Enfin, nous envisagerons de la compatibilité de ces modèles de données avec un Système d'Information Géographique ou SIG.

3.1. Modèle conceptuel de données

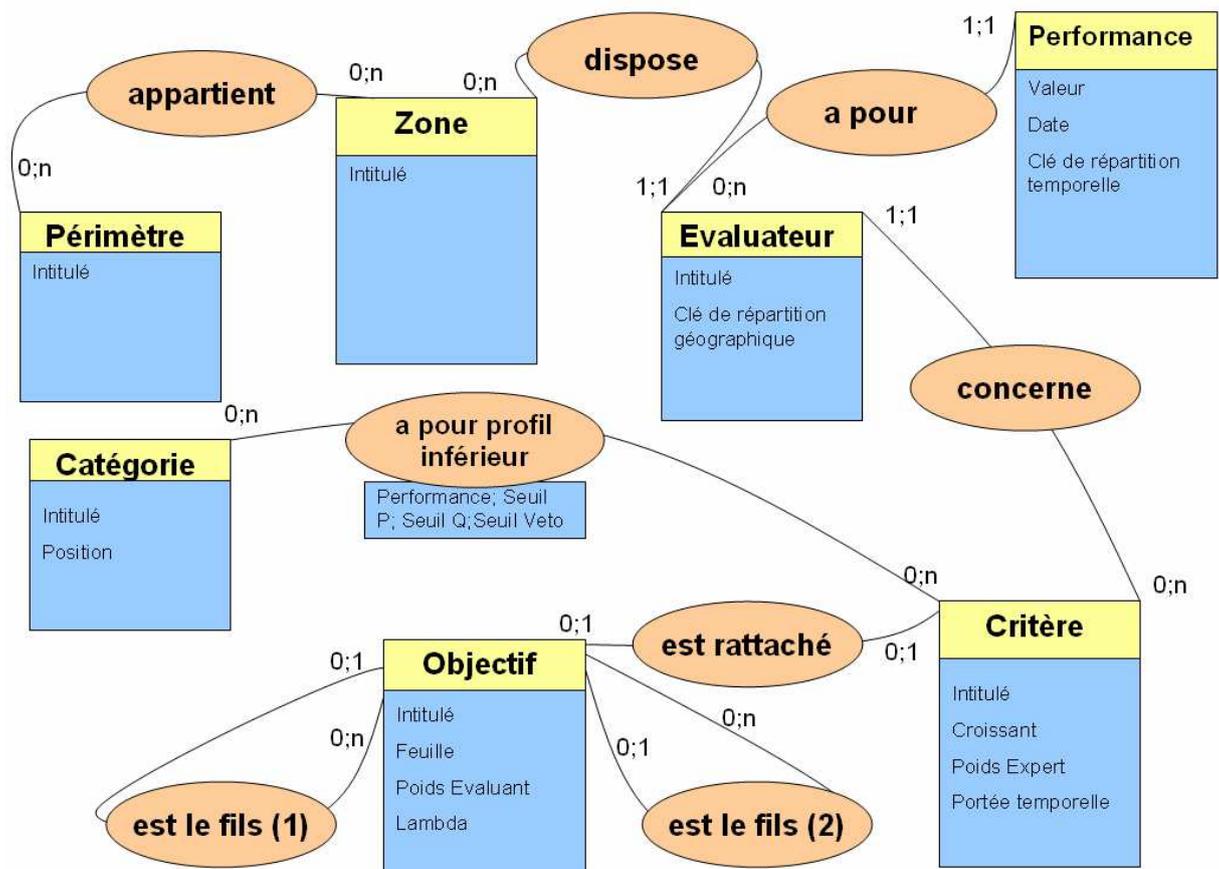


Schéma VI.3.1 : « Modèle Conceptuel de Données et cardinalités »

Le schéma VI.3.1 présente le Modèle Conceptuel de Données ou MCD. Ce genre de représentation s'appelle aussi modèle « Entités – Associations » (ou, « Entités – Relations » dans les ouvrages plus anciens) car cela fait apparaître les liens qui existent entre différentes entités grâce à des associations.

Les entités peuvent être décrites de la sorte :

- collection de propriétés, dont on peut identifier sans ambiguïté chaque occurrence, grâce à une propriété particulière : l'identifiant. A chaque valeur de cet identifiant correspond une seule occurrence,
- pour chaque occurrence, il faut que toutes les propriétés prennent une valeur et une seule.

Les associations de la sorte :

- objet permettant d'associer deux ou plusieurs entités, et dont chaque occurrence est identifiée par la concaténation des identifiants des entités concernées. L'association n'existe qu'en fonction des entités qu'elle relie,
- comme pour l'entité, à chaque valeur de cet identifiant concaténé, correspond une occurrence et une seule, de l'association,
- chaque occurrence de l'association relie une et une seule occurrence de chaque entité participant à cette association.

Les cardinalités sont les couples de valeurs qui apparaissent sur le MCD (schéma VI.3.1). Chaque couple de valeurs informe sur le nombre minimal et maximal d'occurrences de l'association pour une occurrence de l'entité donnée. Ces deux valeurs sont représentées à côté de l'entité en question. Une cardinalité minimale peut être 0 ou 1. Une cardinalité maximale peut être 1 ou n.

Le MCD que nous proposons ici est compatible avec la description que nous avons faite des différents processus dans la section précédente. Nous allons maintenant passer en revue ce qu'il contient, c'est-à-dire :

- les entités,
- les associations,
- les cardinalités.

3.1.1. Entités

Nous avons identifié sept entités dans le Modèle Conceptuel de Données du schéma VI.3.1.

L'entité « Objectif » contient les informations concernant chaque objectif de la hiérarchie. Ainsi, elle informe sur l'objectif père de l'objectif en question, l'intitulé de l'objectif, sa profondeur dans l'arbre des objectifs, s'il s'agit d'une feuille ou non, le poids que lui accorde l'évaluant, le paramètre Lambda nécessaire pour l'agrégation multicritère de type Electre au niveau de cet objectif.

L'entité « Critère » contient son intitulé, son caractère croissant ou non, le poids que lui accorde l'expert (coefficient de représentativité) et sa portée temporelle.

L'entité « Catégorie » contient les informations concernant les différentes catégories dans lesquelles une situation peut être affectée. Elle renseigne sur l'intitulé de la catégorie ainsi que de sa position relativement aux autres catégories.

L'entité « Zone » contient l'ensemble des zones géographiques disponibles pour l'évaluation. L'information qu'elle contient est l'intitulé de la zone en question.

L'entité « Périmètre » décrit l'ensemble des périmètres construits par l'utilisateur. Elle contient l'intitulé du périmètre en question.

L'entité « Evalueur » contient les différents évaluateurs disponibles. Pour chacun d'eux, elle précise l'intitulé et la clé de répartition géographique que l'expert lui a éventuellement accordé.

L'entité « Performance » contient les valeurs des performances observées ainsi que la date de cette observation et l'éventuelle clé de répartition temporelle que l'expert a pu lui accorder.

3.1.2. Associations

L'association entre l'entité « Critère » et l'entité « Objectif » est nommée « est rattachée ». Elle permet de rattacher un critère à l'objectif qu'il est censé représenter. Elle ne contient aucune autre information.

L'association « est le fils (1) » entre l'entité « Objectif » et elle-même est dite réflexive. Elle permet par son existence de relier un objectif à l'objectif auquel il est rattaché dans la hiérarchie. Notons que cette relation est antisymétrique c'est-à-dire que si un objectif est le fils d'une autre, alors ce dernier ne peut pas être le fils de l'objectif en question.

Nous avons introduit une seconde relation de ce même type nommée « est le fils (2) ». En effet, nous avons vu en section VI.2.2 que dans l'outil doivent coexister deux arbres d'objectifs, l'arbre générique et l'arbre paramétré. Cette seconde relation « est le fils (2) » représentera l'arbre issu du « processus de sélection et pondération des objectifs » qui est inclus dans l'arbre représenté par la relation « est fils de (1) ». Cette relation d'inclusion entre arbres est telle que définie en section III.3.1.2.

L'association entre l'entité « Zone » et l'entité « Périmètre » permet de rendre compte de l'appartenance d'une zone géographique à un périmètre construit par l'utilisateur. Ainsi, l'existence de cette association provient de la sélection par l'utilisateur d'une zone dans son périmètre d'évaluation.

Enfin, l'association entre l'entité « Catégorie » et l'entité « Critère » est nommée « a pour profil inférieur ». Ainsi, une catégorie peut avoir un profil limite inférieur sur un critère. Cela nécessite alors de renseigner la performance du profil sur le critère en question, mais aussi des différentes valeurs des seuils (indifférence, préférence, veto) pour cette performance.

L'association entre l'entité « Zone » et l'entité « Evalueur » est nommée « dispose ». Elle signifie qu'une zone géographique peut disposer d'un évaluateur. Dans le cas où un même critère est disponible dans plusieurs zones géographiques, se pose le problème de l'agrégation temporelle de l'information. Pour cela, une clé de répartition doit pouvoir être introduite par l'utilisateur ou à défaut, permettre une répartition équitable entre toutes les zones géographiques.

La relation nommée « concerne » rend compte du fait qu'un « Evalueur » concerne un « Critère ».

Enfin, la dernière association nommée « a pour » signifie qu'un « Evalueur » peut donner lieu à une « Performance ».

3.1.3. Cardinalités

Dans notre contexte, chaque objectif n'est pas forcément relié à un critère (cas où l'objectif n'est pas une feuille par exemple) mais n'est pas relié à plus d'un critère, d'où la cardinalité (0;1). De même, chaque critère n'est pas forcément relié à un objectif (juste après sa création par exemple) mais est relié à au plus un objectif, d'où la seconde cardinalité (0;1).

Dans l'arbre des objectifs, un objectif ne peut être le fils que d'un seul objectif. Cependant, l'objectif racine de l'arbre n'est le fils d'aucun autre. D'où la première cardinalité (0;1). Cependant, un objectif peut n'avoir aucun objectif fils (cas où l'objectif est une feuille de l'arbre) ou bien plusieurs fils. Il en découle la seconde cardinalité (0;n).

Il en est quasiment de même pour les cardinalités de la relation « est le fils (2) ». La seule différence est que dans ce cas, il n'y a pas que la racine qui peut ne pas avoir de père, mais aussi tous les objectifs non retenus dans le « processus de sélection et de pondération des objectifs ». Les valeurs des cardinalités sont cependant identiques.

Certaines catégories n'ont pas forcément de profil limite sur certains critères, notamment dans le cas où l'utilisateur choisit de ne pas définir neuf profils limites mais moins. En revanche, une catégorie peut avoir des profils limites sur plusieurs critères, ainsi la cardinalité retenue est (0;n). Un critère, juste après sa création n'a pas encore de profils limites. Après construction des profils limites, il peut disposer de plusieurs profils limites d'où la cardinalité (0;n).

Certaines zones géographiques peuvent ne pas avoir été sélectionnées par un utilisateur ou au contraire avoir été sélectionnées par plusieurs utilisateurs pour contribuer à la définition de différents périmètres : d'où la cardinalité (0;n). De plus, un périmètre, juste après sa création n'a pas encore de zone. Cependant, après sa définition, il peut contenir plusieurs zones géographiques, d'où la cardinalité (0;n).

Une zone peut ne pas disposer d'évaluateur ou au contraire disposer de plusieurs évaluateurs : cardinalité (0;n). En revanche, un évaluateur est rattaché à une et une seule zone, d'où la cardinalité (1;1)

Pour un critère venant d'être créé, il peut ne pas exister encore d'évaluateur le concernant. Au contraire, un critère peut donner lieu à plusieurs évaluateurs (disponibles dans plusieurs zones différentes) : d'où la cardinalité (0;n).

Enfin, un évaluateur peut avoir aucune ou plusieurs performances, à des dates différentes : cardinalité (0;n). Cependant, une performance est rattachée à un et un seul évaluateur : cardinalité (1;1).

3.2. Modèle logique associé

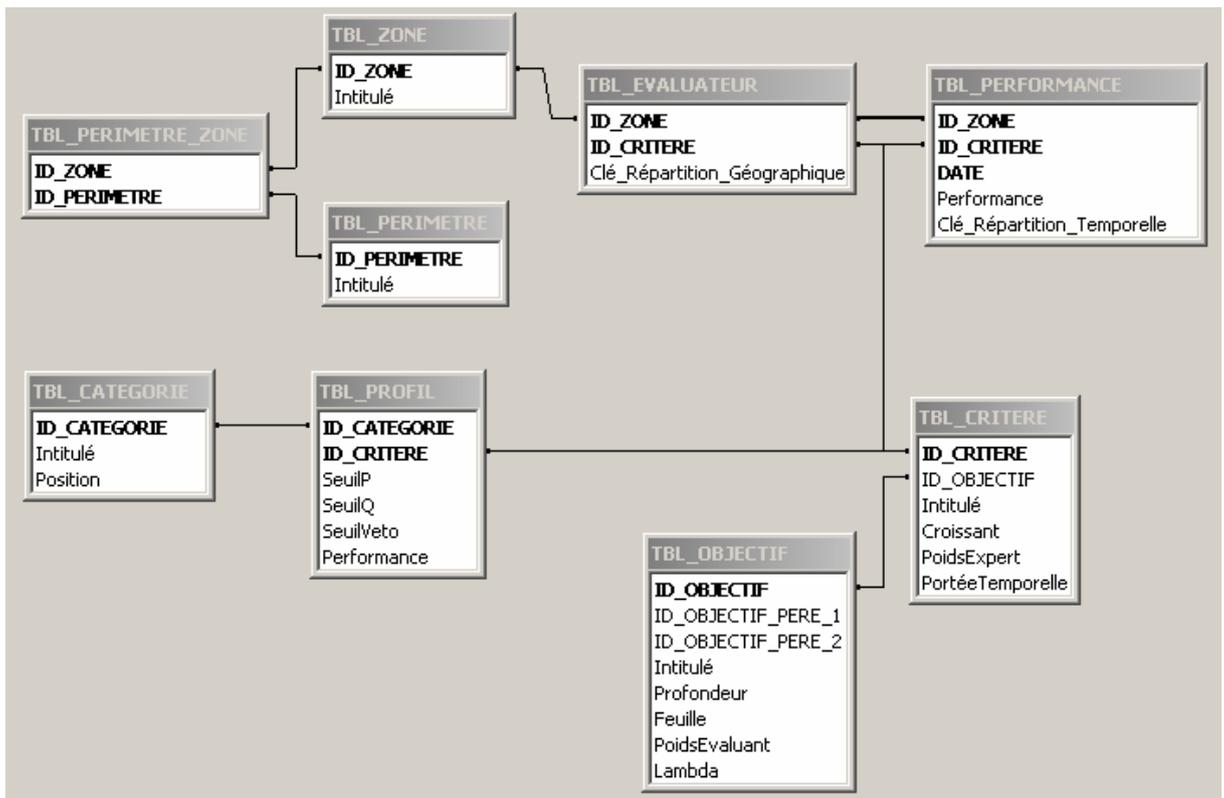


Schéma VI.2.2 : « Modèle Logique de Données »

Le schéma VI.3.2 présente le Modèle Logique de Données (MLD) qui traduit en tables le MDC proposé dans le schéma VI.2.1.

Toutes les entités présentes dans le MCD donnent lieu à des tables, cependant, les associations ne donnent pas systématiquement lieu à des tables. Cela est directement dû aux valeurs des cardinalités.

De manière générale, les règles de construction du MLD à partir du MCD sont les suivantes :

- les entités deviennent des tables,
- si l'une des cardinalités maximales est à 1 et l'autre à n, l'association disparaît et l'identifiant de l'entité marquée n vient s'ajouter à la liste des propriétés de l'entité marquée à 1,

- si toutes les cardinalités maximales sont à n , l'association se transforme en une table qui permettra la correspondance entre les enregistrements des tables reliées (tout en pouvant comporter ses propres propriétés).

Ainsi, une association ayant de part et d'autre d'elle-même des cardinalités (0;n) donne lieu à une table (cas des relations « appartient » et « a pour profil inférieur »). En revanche, l'association « est le fils » ne donne pas lieu à une table : dans ce cas, l'identifiant de l'objectif père (objectif du côté de la cardinalité marquée n) vient s'ajouter à la liste des propriétés de l'entité « Objectif » (même procédé pour les associations « dispose », « a pour » et « concerne »). Enfin, pour la relation « est rattaché », deux possibilités équivalentes sont offertes. Soit on ajoute l'identifiant de l'objectif dans l'entité « Critère » soit on ajoute l'identifiant du critère dans l'entité « Objectif ». Dans ce MLD, c'est la première possibilité qui a été retenue.

Notons que d'un point de vue logique, des champs nécessaires pour définir les clés ou identifiants ont été ajoutés dans les entités (champs commençant par « ID_ »). Dans le schéma VI.2.2, ce sont les champs représentés en caractère gras qui permettent de construire les clés de la table. Quand plusieurs champs sont en gras, c'est la combinaison de ces différents champs qui forme la clé de la table.

La suite de cette section présente la description des différentes tables et de leurs champs.

3.2.1. TBL_OBJECTIF

Cette première table contient l'ensemble des objectifs de l'arbre. L'identifiant de cette table est le champ ID_OBJECTIF qui est un nombre généré automatiquement lors de l'ajout d'une ligne à la table. Chaque ligne de la table contient les informations concernant un objectif. Celles-ci sont :

- ID_OBJECTIF_PERE : contient l'identifiant de l'objectif auquel est rattaché l'objectif en question.
- Intitulé : contient la description de l'objectif.
- Profondeur : la profondeur de l'objectif dans l'arbre. Cette information paraît redondante compte tenu du fait que l'on connaît le champ ID_OBJECTIF_PERE. Cependant, nous pensons qu'il n'est pas inutile de le renseigner notamment pour retrouver directement la racine de l'arbre (de profondeur 0) mais aussi pour effectuer certaines vérifications concernant les contraintes d'intégrité de la table.
- Feuille : de même que le champ précédant, il peut paraître redondant de stocker ce booléen (vrai quand l'objectif en question est une feuille), mais il semble grâce à lui, plus aisé de retrouver directement les feuilles de l'arbre.
- PoidsEvaluant : contient le poids affecté dans la « fonction pondération des objectifs ».
- Lambda : contient le paramètre de la majorité requise, fixé dans cette même fonction.

3.2.2. TBL_CRITERE

L'identifiant de cette table est le champ ID_CRITERE qui est un nombre généré automatiquement lors de l'ajout d'une ligne à la table. Les autres champs, pour chaque critère stocké dans cette table, sont :

- ID_OBJECTIF : contient l'identifiant de l'objectif (présent dans la table TBL_OBJECTIF) auquel le critère en question est rattaché. Si celui-ci n'est pas encore affecté à un objectif, ce champ est nul.
- Intitulé : contient la description du critère.
- Croissant : booléen à Vrai quand l'échelle du critère est croissante avec les préférences.
- PoidsExpert : contient le coefficient de représentativité fixé dans la « fonction affectation et désaffectation d'un critère à un objectif ». Si le critère n'est pas affecté (ou bien a été désaffecté), ce champ peut être fixé à 1 par défaut.
- PortéeTemporelle : ce champ contient la portée temporelle (en jours) du critère. Un critère annuel a pour exemple 365 comme valeur.

3.2.3. TBL_CATEGORIE

L'identifiant de cette table est le champ ID_CATEGORIE. Nous proposons dans notre application de ne pas faire varier le nombre maximum de catégories (section V.2.1). Cette table contient donc dix lignes, une pour chaque catégorie. Les autres champs de cette table sont :

- Intitulé : contient la description de la catégorie.
- Position : contient la position de la catégorie par rapport aux autres. Les positions vont de 1 (pour la meilleure catégorie) à 10 (pour la pire).

3.2.4. TBL_PROFIL

Cette table contient les informations liées à la fois à un critère et à une catégorie. A ce titre, elle a un identifiant composé des deux champs ID_CATEGORIE et ID_CRITERE. Les autres champs sont pour un critère donné et une catégorie donnée :

- SeuilP : contient la valeur du seuil de préférence sur l'échelle du critère en question pour le profil limite inférieur de la catégorie en question.
- SeuilQ : contient la valeur du seuil d'indifférence sur l'échelle du critère en question pour le profil limite inférieur de la catégorie en question.
- SeuilVeto : contient la valeur du seuil de veto sur l'échelle du critère en question pour le profil limite inférieur de la catégorie en question.
- Performance : contient la valeur du profil limite inférieur de la catégorie en question sur l'échelle du critère en question.

3.2.5. TBL_ZONE

L'identifiant de cette table est le champ ID_ZONE qui est un nombre généré automatiquement lors de l'ajout d'une ligne à la table. Cette table contient toutes les zones géographiques susceptibles d'être sélectionnées par l'utilisateur dans la

« fonction sélection du périmètre géographique ». L'autre champ de cette table, « Intitulé », contient la description de cette zone géographique.

3.2.6. TBL_PERIMETRE

Cette table contient les différents périmètres que l'utilisateur a défini dans la « fonction sélection du périmètre géographique » par sélection de plusieurs zones géographiques. L'identifiant de cette table est le champ ID_PERIMETRE qui est un nombre généré automatiquement lors de l'ajout d'une ligne à la table. L'autre champ de cette table, « Intitulé », contient la description de ce périmètre géographique.

3.2.7. TBL_PERIMETRE_ZONE

Cette table fait la jonction entre un périmètre (créé par l'utilisateur) et les différentes zones géographique que l'utilisateur a sélectionné pour entrer dans ce périmètre. A ce titre, l'identifiant de cette table est composé des champs ID_PERIMETRE et ID_ZONE. Aucune autre information n'est stockée dans cette table. Elle sert uniquement à représenter l'appartenance d'une zone géographique à un périmètre.

3.2.8. TBL_EVALUATEUR

L'identifiant de cette table est composé des deux champs ID_CRITERE et ID_ZONE. L'autre champ est, pour un critère et une zone donnés : Clé Répartition Géographique. Il s'agit de l'éventuelle clé de répartition géographique (pouvant être fixée elle aussi à 1 par défaut).

Ainsi, une même zone géographique ne peut pas disposer de plusieurs évaluateurs concernant le même critère. Si tel est le cas, il faut alors découper la zone en question en plusieurs. Cela revient à dire que le découpage en zone doit au moins être aussi fin que l'impose la présence d'évaluateur sur l'ensemble géographique. Si par exemple, deux appareils de mesure du niveau de bruit sont disponibles dans une même ville, alors cette ville doit au moins faire l'objet de deux zones distinctes.

3.2.9. TBL_PERFORMANCE

Chaque ligne de cette table contient la performance d'une zone donnée sur un critère donné à une date donnée. A ce titre, l'identifiant de cette table est composé des trois champs ID_CRITERE, ID_ZONE et DATE. Les autres champs sont, pour un critère, une zone et une date donnés :

- Performance : contient la valeur de la performance de la zone en question sur le critère en question à la date en question.
- Clé Répartition Temporelle : l'éventuelle clé de répartition temporelle (fixée à 1 par défaut).

3.3. Compatibilité avec un SIG

Les modèles de données (MCD et MLD) proposés ouvrent la possibilité d'une interaction avec le modèle de donnée d'un Système d'Information Géographique (SIG).

Les SIG sont bien souvent construits autour d'un modèle de données qui leur est propre mais dans lesquels les unités géographiques possèdent bien un identifiant. Ainsi, on peut avoir accès informatiquement à l'identifiant d'une zone à partir de la sélection géographique de celle-ci. A l'inverse, on peut visualiser la zone pour un identifiant donné.

Selon le SIG utilisé, il est possible ou pas :

- d'avoir accès en lecture et/ou en écriture à la table contenant les informations concernant les zones géographiques,
- de modifier la structure de la table contenant les zones géographiques.

Si les deux sont possibles, il suffit alors de construire la table zone à partir de la table du SIG à laquelle on peut rajouter les champs nécessaire à notre application, c'est-à-dire ceux de la table TBL_ZONE.

Si seul l'accès en lecture à cette table est disponible, il est alors possible de créer un lien entre le champ ID_ZONE de la table TBL_ZONE et le champ contenant l'identifiant de la zone dans la table du SIG.

Enfin, si le modèle de données du SIG est en mode propriétaire il semble difficile d'y intégrer le MLD proposé dans le schéma VI.2.2. Le lien entre outil d'aide à l'évaluation et SIG ne sera donc pas facilement réalisable.

Comme nous l'avons vu, l'utilisation de SIG semble intéressant pour les fonctions :

- sélection du périmètre géographique (section VI.2.1.1),
- consultation des résultats (section VI.2.7).

Dans le premier cas, il s'agit de regrouper des entités géographiques, des zones, pour construire un périmètre. Lors de la sélection des zones à inclure dans le périmètre, il s'agit alors de stocker l'identifiant de la zone au sens du SIG dans la table TBL_PERIMETRE_ZONE.

Dans le second cas, il s'agit de colorier chaque zone géographique d'une carte en fonction du résultat de sa propre évaluation.

4. Le moteur d'agrégation

Ici, le moteur d'agrégation est la procédure informatique qui permet d'évaluer un périmètre P prédéfini (un ensemble de zones géographiques sélectionnées par l'utilisateur) à n'importe quel nœud N de l'arbre paramétré d'objectif pour une fenêtre temporelle d'observation comprise au sens large entre les deux dates $D1$ et $D2$. Ces deux dates sont telles que $D1 \leq D2$, et le cas $D1 = D2$ correspond à la saisie d'une unique date dans la fonction sélection de la fenêtre temporelle d'observation. Nous allons décrire le fonctionnement de ce moteur d'agrégation.

Les données manipulées par le moteur sont d'abord lues dans les tables puis stockées dans des variables locales. Le moteur ne modifie pas les données de la base. Il se contente de retourner le résultat de l'évaluation, c'est-à-dire par exemple, l'identifiant de la catégorie dans laquelle est affectée la situation.

Un tel moteur peut aussi servir pour colorier une carte. En effet, si on fait appel à ce moteur successivement pour chacune des zones (à chaque appel, on réduit le périmètre P à une seule zone) et en admettant qu'un lien est établi avec le SIG, il est alors possible de colorier chaque zone de la carte selon le résultat de son évaluation.

4.1. Construction de la famille de critère

La première étape dans l'exécution de ce moteur est de construire la famille F des critères qui participeront à l'agrégation. Pour cela, le moteur doit tout d'abord rechercher dans la hiérarchie paramétrée d'objectifs, l'ensemble des objectifs appartenant à la descendance de N . La famille F sera alors initialisée à l'ensemble des critères :

- ayant été affectés à un des objectifs feuilles parmi tous les descendants de N ,
- et ayant au moins un profil limite.

Notons que d'un point de vue algorithmique, seul l'identifiant $ID_CRITERE$ doit être stocké par le moteur pour construire l'ensemble F dans un tableau.

4.2. Calcul des poids des critères

L'étape suivante est de calculer les poids des critères. Pour chaque critère de F , le moteur doit alors calculer le poids k_i tel que défini en section V.2.2.1. Pour cela, il prendra en compte tous les poids n_i des objectifs appartenant à la descendance de N ainsi que le poids l_i accordé au critère lui-même. La méthode de calcul est alors celle décrite en sections V.2.2.1 et V.2.2.2. Chaque critère de F dispose maintenant d'un poids.

A cette étape, pour chaque critère de la famille F , le moteur doit stocker deux informations : l'identifiant du critère et le poids de celui-ci.

4.3. Recherche des zones à évaluer

Le moteur doit ensuite rechercher l'ensemble Z des zones qui ont été sélectionnées par l'utilisateur lors de la définition du périmètre P qui fait l'objet de l'évaluation. Notons que seules les zones ayant au moins une performance sur un des critères c de F et pour lesquelles la date de la performance est comprise dans l'intervalle $[D1 - (\text{portée temporelle du critère } c) ; D2]$ seront retenus pour constituer l'ensemble Z .

Z peut être construit en stockant uniquement les identifiants des zones concernées, à savoir le champ ID_ZONE du MLD.

4.4. Recherche des performances

4.4.1. Dimension géographique

Pour chaque critère c de F posons n_g le nombre de zones de Z qui ont au moins une performance sur c (rappelons qu'une seule zone peut avoir plusieurs performances sur un même critère à des dates différentes). En conséquence de l'étape de la section VI.3.3, $n_g > 0$.

Si $n_g = 1$, alors une seule zone a au moins une performance sur c . Le moteur doit alors rattacher à c l'identifiant de la zone en question.

Si $n_g > 1$ cela signifie que plusieurs zones ont une performance sur c et qu'en conséquence, c fait l'objet d'une agrégation géographique. A cet effet, le moteur doit redéfinir F (section V.2.3). Notons Z' le sous-ensemble de Z composé des n zones ayant une performance sur c . F devient tout d'abord F privé de c . Le moteur doit pour chaque élément $z \in Z'$:

- ajouter à F un nouveau critère identique en tout point à c ,
- rattacher l'identifiant de z à ce nouveau critère,
- calculer le poids du nouveau critère : $k \times \frac{r}{\sum_{z'} CléRépartitionGéographique}$

avec k , l'ancien poids de c , et r , la clé de répartition géographique de z concernant le critère c . (Cf. section V.2.3)

Chaque critère de F est maintenant rattaché à une zone. Notons qu'une même zone peut cependant être rattachée à plusieurs critères.

Pour rattacher une zone à un critère, le moteur peut se contenter de stocker l'identifiant ID_ZONE pour chaque critère de la famille F .

Attirons l'attention sur le fait que par cette procédure, la famille F peut contenir plusieurs critères ayant même identifiant $ID_CRITERE$. En ce sens, l'identifiant au sens du MLD n'est plus un identifiant au sens de la famille de critère. A cet étape de la procédure, l'identifiant de la famille de critère F est alors le couple $(ID_CRITERE ; ID_ZONE)$.

4.4.2. Dimension temporelle

Pour chaque critère c de F , appelons z la zone rattachée à c . Posons maintenant n_t le nombre de performances de z sur c dont la date est appartenant à l'intervalle $[D1 - (\text{portée temporelle du critère } c); D2]$. En conséquence de l'étape décrite en section VI.3.4.1, $n_t > 0$.

Si $n_t = 1$, alors z a une seule performance sur c dans la fenêtre temporelle d'observation. Le moteur doit alors rattacher à c la valeur de la performance de la zone en question.

Si $n_t > 1$ cela signifie que z a plusieurs performances sur c dans la fenêtre temporelle d'observation et qu'en conséquence, c fait l'objet d'une agrégation temporelle. A cet effet, le moteur doit redéfinir à nouveau F (section V.2.3). Notons P l'ensemble des n performances de z sur c . F devient tout d'abord F privé de c . Le moteur doit pour chaque élément $p \in P$:

- ajouter à F un nouveau critère identique en tout point à c ,
- rattacher la valeur de la performance p à ce nouveau critère,
- calculer le poids du nouveau critère : $k \times \frac{r}{\sum_P \text{CléRépartitionTemporelle}}$

avec k , l'ancien poids de c , et r , la clé de répartition temporelle de p (Cf. section V.2.3).

En plus des informations précédentes (identifiant du critère, poids du critère, identifiant de la zone à laquelle il est rattaché), chaque critère de F est maintenant doté d'une performance.

4.5. Affectation du périmètre à une catégorie.

La dernière étape dans l'exécution du moteur d'agrégation est d'affecter le périmètre à une catégorie. A ce niveau de l'exécution, le moteur d'agrégation dispose de toutes les informations nécessaires pour réaliser l'affectation optimiste ou pessimiste de type Electre Tri décrite en section IV.4.

En effet, les étapes précédemment décrites ont permis, tout en prenant en compte les dimensions temporelles et géographiques :

- d'établir les poids de chaque critère,
- d'établir les performances du périmètre P sur la famille F de critères

De plus, le paramètre λ utilisé est celui fixé par l'utilisateur au niveau du nœud N . Les informations concernant les profils limites et catégories sont disponibles dans la base de données. L'accès à ces informations se fera bien entendu au regard des identifiants du critère ($ID_CRITERE$), de la zone (ID_ZONE) et de la catégorie ($ID_CATEGORIE$) dont il est question à chaque itération de la procédure pessimiste ou optimiste d'Electre Tri.

5. Prototype

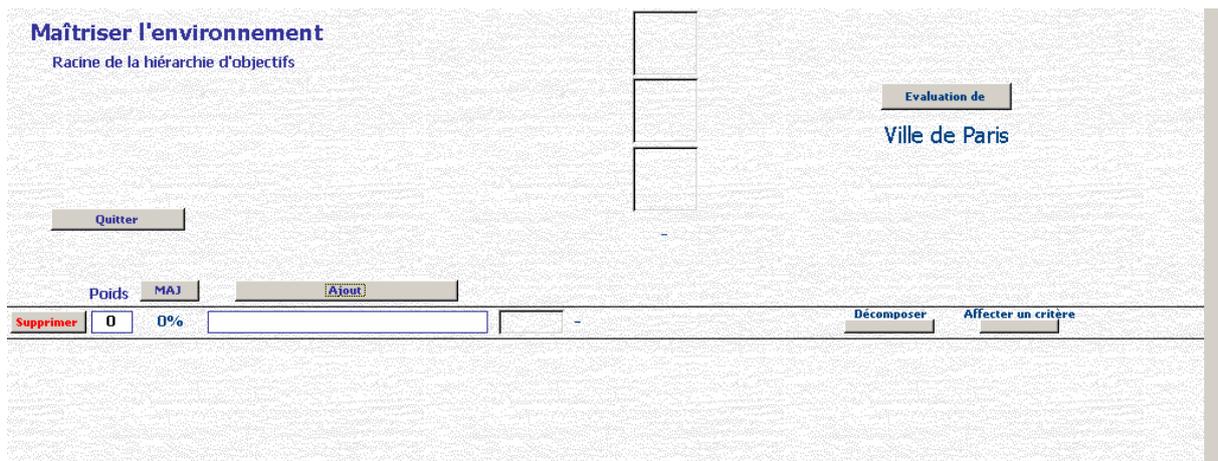
Pour concrétiser ces spécifications fonctionnelles, un prototype a été réalisé à titre d'exemple. Seules les fonctions suivantes ont été développées, à but illustratif :

- fonction décomposition d'un objectif en sous-objectifs,
- fonction ajout et suppression de sous-objectifs,
- fonction pondération des objectifs,
- fonction affectation et désaffectation d'un critère à un objectif,
- fonction consultation des résultats par le parcours de la hiérarchie d'objectifs.

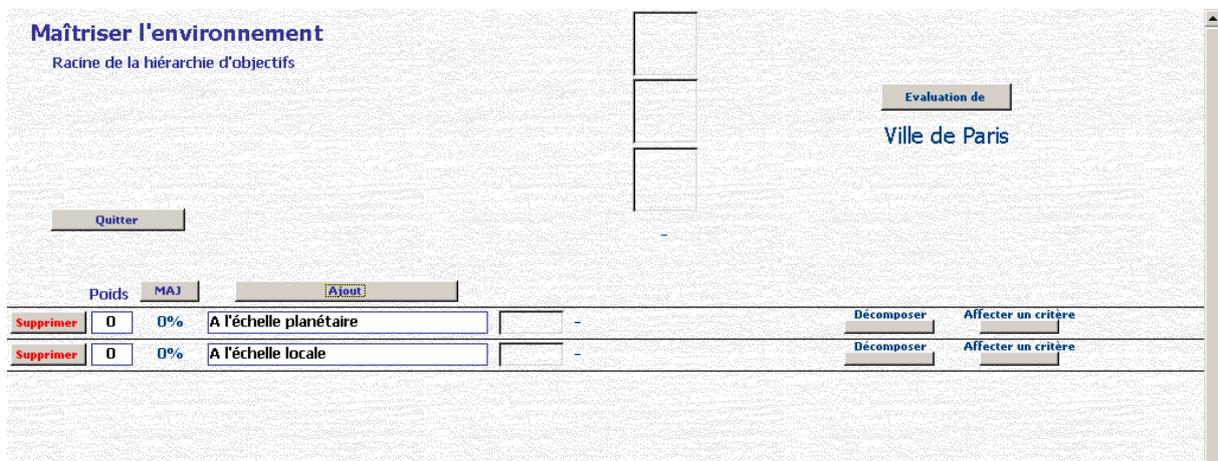
Le développement inclut la programmation du moteur d'agrégation qui suit les choix réalisés en section V.2. Les critères, catégories, seuils et autres paramètres sont ceux retenus dans la section V.3. Les données concernant les différentes villes et alimentant ce prototype ont été fixées arbitrairement. La procédure d'affectation utilisée est Electre Tri pessimiste.

Ce prototype est illustré à travers quatre scénarii fictifs d'utilisations.

5.1. Scénario 1 : Construction de la hiérarchie d'objectifs



Copie d'écran VI.5.1.a : « Racine de l'arbre »

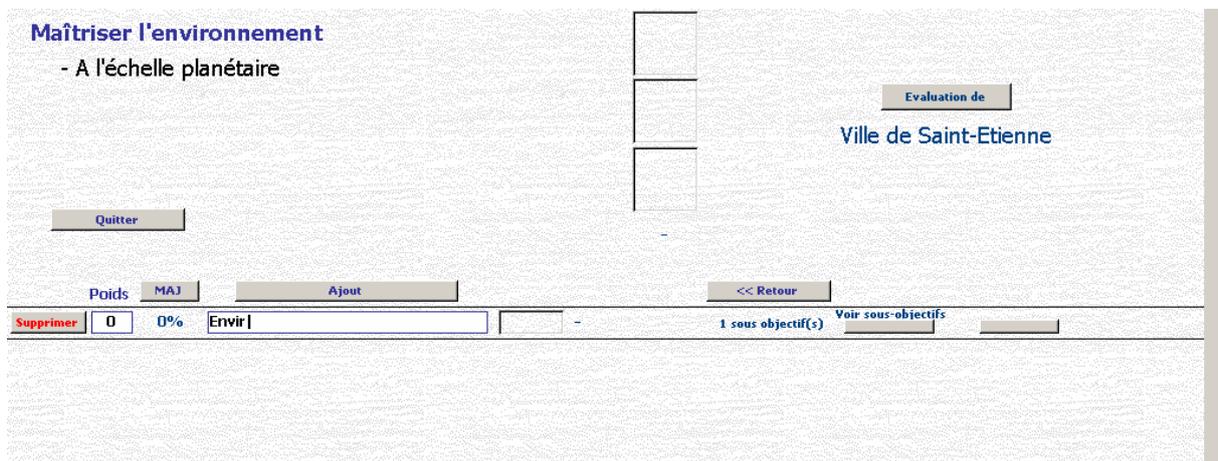


Copie d'écran VI.5.1.b : « Ajout d'un objectif puis saisie des intitulés »

La copie d'écran VI.5.1.a présente le prototype lorsque l'on démarre l'application à la racine de l'arbre : « Maîtriser l'environnement ». Un seul objectif apparaît ici, mais il n'a pas encore d'intitulé. Sur la même ligne et à gauche de celui-ci apparaît son poids (ici encore à 0) tandis qu'à droite est prévu un emplacement pour le résultat de l'évaluation de cet objectif.

Il s'agit tout d'abord de construire la hiérarchie d'objectifs. Si l'on veut baser notre modélisation sur la hiérarchie d'objectifs retenue dans le schéma V.3.1, il faut donc décomposer la racine en deux sous-objectifs « à l'échelle planétaire » et « à l'échelle locale ». En cliquant sur le bouton « Ajout » apparaît alors, une seconde ligne, un second objectif. Il s'agit de saisir les intitulés de ces deux objectifs. On obtient alors l'écran VI.5.1.b.

Pour décomposer l'objectif « à l'échelle planétaire », il suffit de cliquer sur le bouton « décomposer » apparaissant sur sa ligne sur l'écran VI.5.1.b. Alors, l'outil change de niveau dans l'arbre : écran VI.5.1.c. Il est positionné non plus à la racine, mais au niveau de l'objectif « à l'échelle planétaire ». On voit apparaître en haut à gauche de l'écran, le chemin allant de la racine à l'objectif où l'on se situe, c'est-à-dire ici : « Maîtriser l'environnement – A l'échelle planétaire ». De plus, un premier sous-objectif est rattaché à ce niveau, dont il faut saisir l'intitulé : « Environnement favorable à la vie humaine » pour continuer à construire la hiérarchie souhaitée. On peut bien entendu ajouter à n'importe quel niveau où l'on se situe des objectifs tel qu'on l'a fait au niveau de la racine.

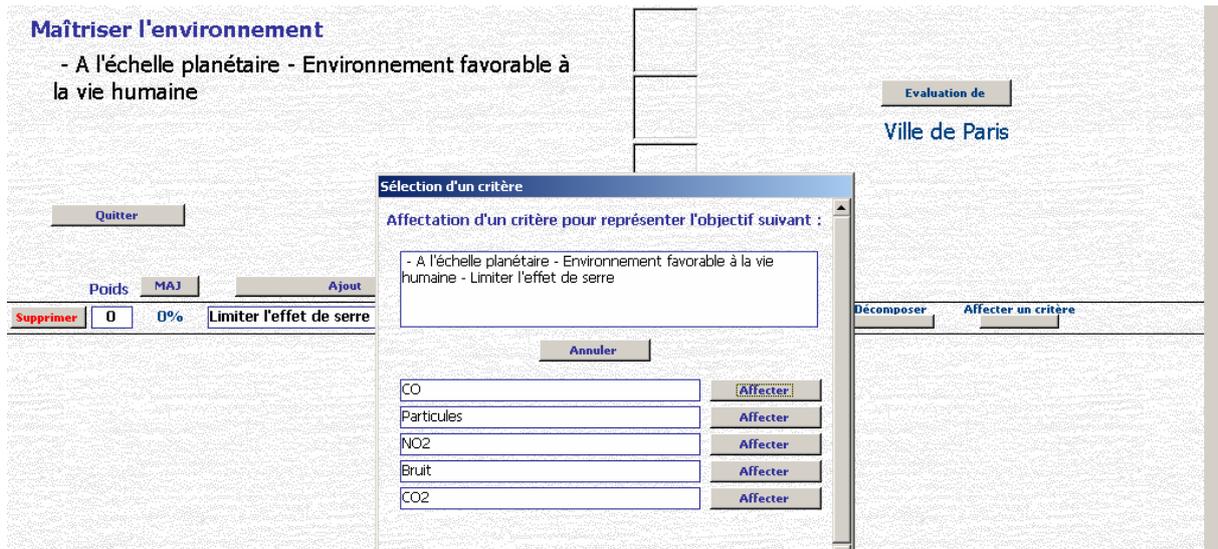


Copie d'écran VI.5.1.c : « Décomposer un objectif »

En répétant cette étape, on peut ainsi construire tout l'arbre d'objectifs. Pour remonter dans la hiérarchie, il suffit de cliquer sur le bouton « retour » et l'outil se positionne alors au niveau de l'objectif père de celui où l'on se situe.

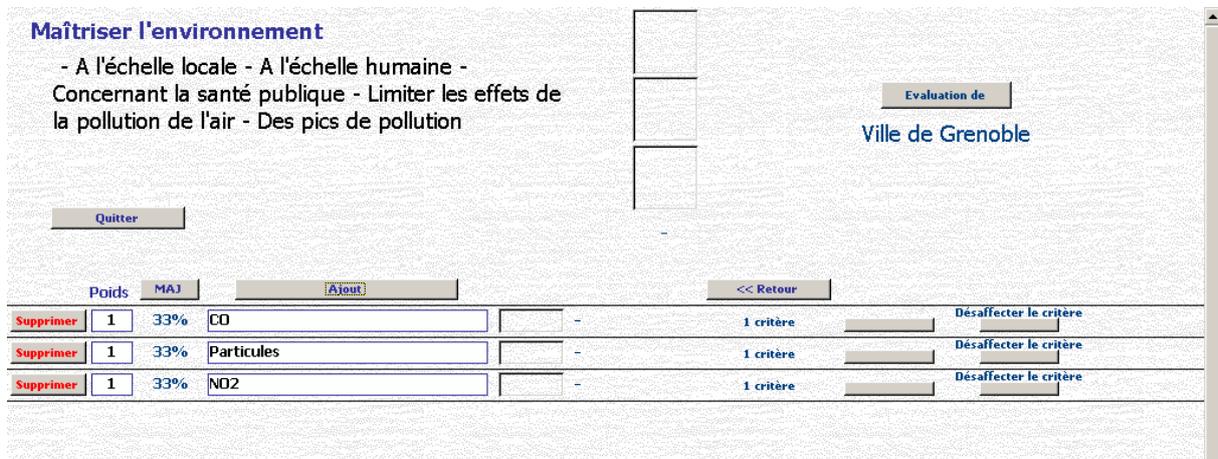
5.2. Scénario 2 : Sélection des critères et pondération par l'expert

Quand un objectif est une feuille, c'est-à-dire que l'on ne souhaite plus le décomposer, les experts doivent pouvoir lui affecter un critère. Pour cela, il faut cliquer sur le bouton « affecter un critère » sur la ligne de l'objectif en question. Apparaît alors une boîte de dialogue permettant de visualiser tous les critères disponibles (écran VI.5.2.a). Cela nécessite bien entendu que le critère ait déjà été construit par l'expert (définition des catégories, des seuils ...). Sur cet écran, l'expert en question va donc choisir d'affecter le critère « CO2 » pour représenter l'objectif « Limiter l'effet de serre ».



Copie d'écran VI.5.2.a : « Sélection d'un critère »

Dans certains cas, l'expert est amené à fixer lui-même certaines pondérations, quand celles-ci relèvent de son domaine d'expertise. Si tel est le cas, il doit alors saisir la valeur des poids des différents critères. Sur l'écran VI.5.2.b, il saisit les poids de 1 pour les trois polluants retenus pour représenter l'objectif concernant les pics de pollution. En cliquant sur le bouton MAJ (pour mise à jour), les poids relatifs sont calculés et apparaissent juste à côté des poids saisis.



Copie d'écran VI.5.2.b : « Pondération par les experts »

5.3. Scénario 3 : Pondération des objectifs par l'évaluant et choix d'un périmètre

De la même façon que les experts, l'évaluant peut lui aussi saisir les poids d'objectifs. Par exemple, pour tenir compte de l'importance relative qu'il accorde à la « santé publique » vis-à-vis de la « qualité de vie », il peut saisir les poids 5 et 3 (écran VI.5.3.a)

The screenshot shows the 'Maîtriser l'environnement' interface for 'Ville de Grenoble'. The main heading is 'Maîtriser l'environnement' with the subtitle '- A l'échelle locale - A l'échelle humaine'. There are buttons for 'Quitter', 'Ajout', and '<< Retour'. A table lists objectives with their weights and percentages:

	Poids	MAJ				
Supprimer	5	63%	Concernant la santé publique	-	1 sous objectif(s)	Voir sous-objets
Supprimer	3	38%	Concernant la qualité de vie	-	1 sous objectif(s)	Voir sous-objets

Copie d'écran VI.5.3.a : « Pondération d'objectifs »

Enfin, avant de consulter le résultat d'une évaluation, l'évaluant doit choisir un périmètre. On peut supposer que les plusieurs périmètres prédéfinis à partir d'un SIG pour couvrir plusieurs villes et leurs alentours sont disponibles dans l'outil. Ainsi, en cliquant sur le bouton « Evaluation de » on visualise une boîte de dialogue faisant apparaître les différents périmètres (ici villes) que l'on peut sélectionner.

The screenshot shows the 'Maîtriser l'environnement' interface for 'Ville de Grenoble' with a dialog box open. The dialog box is titled 'Sélection d'une situation' and contains the text 'Sélection de la situation à évaluer'. It lists four cities with 'Sélectionner' buttons next to them:

- Ville de Lyon
- Ville de Saint-Etienne
- Ville de Paris
- Ville de Grenoble

The background interface shows the heading 'Maîtriser l'environnement' with the subtitle 'Racine de la hiérarchie d'objectifs'. There are buttons for 'Quitter', 'Ajout', and 'Evaluation de'. A table lists objectives with their weights and percentages:

	Poids	MAJ				
Supprimer	0	0%	A l'échelle planétaire			Voir sous-objets
Supprimer	0	0%	A l'échelle locale			Voir sous-objets

Copie d'écran VI.5.3.b : « Choix d'une ville (d'un périmètre) »

5.4. Scénario 4 : Consultation des résultats par l'évaluant

Enfin, en mode consultation de résultats, l'évaluant peut visualiser plusieurs informations. Dans l'écran VI.5.4.a, le « feu tricolore » au centre de l'écran fait apparaître la couleur (rouge orange ou vert) étant le résultat de l'évaluation de la ville en question (ici Saint Etienne) pour l'objectif auquel on se situe (ici, racine : « Maîtriser l'environnement »). Juste en dessous de ce feu, on voit le détail de cette évaluation globale c'est-à-dire, la valeur de l'indice ainsi que le qualificatif (ici, 7 – Médiocre). Dans la partie inférieure de l'écran, on visualise la liste de l'ensemble des sous-objectifs (ici « A l'échelle planétaire » et « A l'échelle locale ») directement rattachés à l'objectif où l'on se situe (ici « Maîtriser l'environnement »). On peut aussi voir le résultat de l'évaluation de chacun de ces sous-objectifs, sur leur propre ligne.

Poids		MAJ	Ajout			
Supprimer	1	50%	A l'échelle planétaire	3 - Bon	1 sous objectif(s)	Voir sous-objectifs
Supprimer	1	50%	A l'échelle locale	8 - Mauvais	1 sous objectif(s)	Voir sous-objectifs

Copie d'écran VI.5.4.a : « Consultation des résultats »

L'utilisateur peut choisir alors de parcourir en profondeur l'arbre d'objectifs, notamment pour tenter de comprendre en détail l'évaluation « 8 – Mauvais » du sous-objectif « A l'échelle locale » en cliquant sur le bouton « Voir les sous-objectifs ».

Les écrans VI.5.4.b et VI.5.4.c montrent successivement un tel parcours en profondeur. A chaque étape on observe l'évaluation du niveau où l'on se situe ainsi que l'évaluation des sous-objectifs. En décomposant à chaque fois les objectifs en rouge on peut cerner la source de la mauvaise évaluation globale et rapidement arriver sur l'écran VI.5.4.d qui présente des objectifs non décomposables, c'est-à-dire des feuilles de l'arbre. On voit alors qu'un excès de particules dans l'air est à l'origine de la mauvaise évaluation globale.

Maîtriser l'environnement
- A l'échelle locale - A l'échelle humaine

8 - Mauvais

Evaluation de
Ville de Saint-Etienne

Quitter

	Poids	MAJ	Ajout		<< Retour		
Supprimer	5	63%	Concernant la santé publique	9 - Mauvais	1 sous objectif(s)	Voir sous-objectifs	
Supprimer	3	38%	Concernant la qualité de vie	1 - Très bon	1 sous objectif(s)	Voir sous-objectifs	

Copie d'écran VI.5.4.b : « Parcours en profondeur »

Maîtriser l'environnement
- A l'échelle locale - A l'échelle humaine -
Concernant la santé publique - Limiter les effets de
la pollution de l'air

9 - Mauvais

Evaluation de
Ville de Saint-Etienne

Quitter

	Poids	MAJ	Ajout		<< Retour		
Supprimer	1	100%	Des pics de pollution	9 - Mauvais	3 sous objectif(s)	Voir sous-objectifs	
Supprimer	0	0%	De la pollution de fond	-		Décomposer	Affecter un critère

Copie d'écran VI.5.4.c : « Parcours en profondeur »

Maîtriser l'environnement
- A l'échelle locale - A l'échelle humaine -
Concernant la santé publique - Limiter les effets de
la pollution de l'air - Des pics de pollution

9 - Mauvais

Evaluation de
Ville de Saint-Etienne

Quitter

	Poids	MAJ	Ajout		<< Retour		
Supprimer	1	33%	CO	5 - Moyen	1 critère	Désaffecter le critère	
Supprimer	1	33%	Particules	9 - Mauvais	1 critère	Désaffecter le critère	
Supprimer	1	33%	NO2	1 - Très bon	1 critère	Désaffecter le critère	

Copie d'écran VI.5.4.d : « Feuilles de l'arbres »

Conclusion

Ce dernier chapitre a tenté d'illustrer ce que pourrait être la mise en œuvre d'un outil d'aide à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement.

Trois modes d'utilisation ont été envisagés. Ils diffèrent selon le contexte dans lequel l'on souhaite utiliser un tel outil. Il paraît alors crucial de statuer sur ce point avant de choisir les orientations fonctionnelles nécessaires au développement tant cela est lié.

Cependant, nous avons proposé un modèle de données autour duquel on peut articuler un outil d'aide à l'évaluation tout en permettant l'agrégation de l'information. Une description assez précise du fonctionnement du moteur d'agrégation a été réalisée à cette occasion. Bien entendu, pour bâtir ce modèle nous nous sommes appuyés sur les choix méthodologiques réalisés dans le chapitre V.

Concernant l'articulation d'un tel outil avec les SIG, rien ne semble poser de réel problème dès lors que le modèle de données du SIG est ni fermé ni trop peu accessible.

Enfin, un prototype permet de se forger une idée du mode de navigation que l'on envisage, même si celui-ci a été fait à partir de données fictives.

Conclusion générale

Cette thèse tente de contribuer à la conception d'un outil informatique devant permettre d'aider les utilisateurs à évaluer, de manière globale, l'impact des transports sur l'environnement.

A cette occasion, nous avons été amené à utiliser des travaux existant dans le domaine « des transports et de l'environnement », mais aussi en « aide à la décision » tout en tentant de concrétiser nos résultats à des fins informatiques. Nous pensons que ce travail peut intéresser à la fois par ses aspects conceptuels et par les perspectives que ces derniers offrent dans le domaine des transports et l'environnement mais aussi par ses aspects applicatifs. Nous insisterons en conclusion sur les limites de ce travail tout en proposant certaines pistes pour des recherches futures.

Apports conceptuels

Une première analyse des travaux de recherche existants dans le domaine à la frontière entre les transports et l'environnement nous a amené à constater que la plupart de ceux tentant d'évaluer les impacts des transports sur l'environnement ne répondent que partiellement aux attentes d'instrumentalisation dont il est question dans cette thèse. En effet, soit les « paniers d'indicateurs » ne proposent pas l'agrégation de l'information, soit cette agrégation est réalisée dans un contexte particulier, pour un problème de décision précisément identifié.

Or, pour les raisons évoquées en introduction générale, nous ne souhaitons pas, ici, concevoir un outil dédié à un seul problème décisionnel, mais un outil permettant d'aider à évaluer une ou des situations. Il s'agissait alors d'utiliser certains concepts des méthodes d'aide multicritère à la décision pour tenter de proposer une aide à l'évaluation qui permette l'agrégation multicritère, c'est-à-dire, une « aide multicritère à l'évaluation ».

En analysant de plus près les manières dont les agrégations sont réalisées dans le cadre formel de l'« aide à la décision » nous avons constaté que les problématiques utilisées dans ce cadre diffèrent de la notre. Face à ce constat, nous avons donc tout d'abord tenté de cerner ce que peut être un « processus d'aide à l'évaluation » en introduisant certains concepts et en proposant une définition. Les étapes retenues, qui font intervenir différents acteurs, sont les suivantes :

- définir le système à évaluer,
- décliner un système de valeurs à travers des objectifs,
- sélectionner les critères mesurant l'atteinte des objectifs,
- évaluer les performances sur les critères,
- consulter les résultats de l'évaluation.

Nous avons recensé plusieurs objectifs à une « aide à l'évaluation » que nous avons choisi de résumer en trois grandes fonctions : concernant une situation donnée, il s'agit de faire son diagnostic, d'alerter sur son état et de suivre son évolution.

Nous avons ensuite voulu montrer en quoi l'activité d'« aide à l'évaluation » diffère ou se rapproche de l'« aide à la décision » mais surtout en quoi ces deux activités peuvent se compléter. En effet, dès lors que l'on est dans un contexte où les problèmes décisionnels multicritères se succèdent fréquemment, et notamment lorsqu'on est confronté à une série de processus de décision de nature différentes mais visant à l'atteinte d'un ensemble d'objectifs

communs, on peut être amené à vouloir s'appuyer sur un modèle d'aide à l'évaluation, ce qui n'exclut pas des utilisations ponctuelles de modèles d'aide à la décision. L'utilisation d'un modèle d'aide à l'évaluation s'avère alors utile à l'« aide à la décision » par le biais de ses fonctions (établir un diagnostic de la situation, d'alerter sur les dérives non souhaitées, suivre l'évolution de la situation) en permettant notamment d'identifier de nouveaux enjeux décisionnels, de faire ressortir les problèmes avec une perspective de veille ou simplement de suivre les conséquences d'une prise de décision après sa mise en œuvre.

Enfin, en vue de rendre possible une agrégation multicritère, nous avons proposé d'utiliser des concepts de l'« aide multicritère à la décision ». Mais, il fallait légèrement les adapter à notre contexte d'« aide à l'évaluation ». Nous avons notamment retenu une problématique qui est un mélange des problématiques de tri et de la description, classiques en aide à la décision. Celle-ci a l'intérêt de rendre possible l'agrégation à différents niveaux tout comme la présentation des résultats désagrégés.

Perspectives dans le domaine des transports et de l'environnement

D'une part, une d'aide à l'évaluation semble être particulièrement intéressante dans le domaine de l'environnement où il est crucial de faire le bilan puis maîtriser l'évolution de certains phénomènes nuisibles identifiés (diagnostic et évolution), d'alerter en cas de dérive (alerte) et, tout aussi important, d'identifier les nouvelles nuisances susceptibles d'émerger.

La perspective de l'utilisation d'une méthode permettant d'agrèger l'évaluation de l'état d'une situation environnementale dont les caractéristiques sont complexes et hétérogènes (nature, échelles de temps et d'espace) et cela en dehors d'un contexte décisionnel précisément identifié est en soi intéressante (Cf. Introduction générale).

De plus, en révélant certains problèmes, une aide à l'évaluation est susceptible de faire naître de nouveaux processus d'aide à la décision lorsqu'il devient important d'intervenir pour continuer à bien gérer la situation. La complémentarité entre « aide à l'évaluation » et « aide à la décision » trouve dans ce domaine un endroit de prédilection, tant ces problèmes sont vitaux pour l'homme et l'équilibre de planète.

Après une prise de décision dans le domaine des transports, après la fin d'un processus de décision, qu'il ait fait l'objet d'une aide ou pas, un outil d'aide à l'évaluation doit aussi permettre de suivre les conséquences effectives sur l'environnement de la ou les décisions en question.

D'autre part, si l'on souhaite s'orienter vers une démocratie participative (Cf. Introduction générale), ce qui semble être le cas concernant l'environnement et les transports, à la fois les élus ou responsables politiques, l'opinion publique et les représentants associatifs seront emmenés à essayer d'appréhender au mieux l'impact des transports sur l'environnement. Ces trois types d'acteurs seront donc, sinon les futurs utilisateurs directs des outils auxquels nous tentons de contribuer dans ce texte, au moins les consommateurs de résultats ou rendus fournis par ces outils. Or, chacun d'eux n'a pas forcément une culture d'experts dans le domaine de l'environnement et les transports. L'approche proposée est fondée sur les objectifs énoncés en langage courant et permet donc de faciliter leur compréhension. De plus, la problématique retenue permettant l'agrégation et la désagrégation des résultats de l'évaluation, semble être une façon intéressante de contribuer à la fois à la communication et le dialogue, à la concertation et à la recherche de consensus entre ces acteurs. En cela,

l'instrumentalisation qui peut en découler pourra faire partie intégrante des supports servant une démocratie participative.

Enfin, même restreint aux aspects environnementaux et à condition d'être utilisés conjointement à d'autres couvrant les aspects sociaux et économiques des transports, de tels outils pourront prétendre aider à répondre aux enjeux d'un développement durable des transports.

Apports applicatifs pour le projet PIE

En terme applicatif, les attentes exprimées dans cadre du projet PIE sont restées assez imprécises, mal cadrées et déconnectées d'un cas concret d'application. Même si cela peut paraître un peu déroutant, cela nous a cependant offert une plus grande liberté dans l'orientation de nos recherches.

La modélisation d'un système de valeurs à travers un arbre d'objectifs est à la base de notre approche en tant qu'une des premières étapes de l'aide à l'évaluation que nous avons retenue. Cela nous semble, en effet, être un moyen particulièrement intéressant de constituer le référentiel nécessaire à l'évaluation. Voilà pourquoi, à titre exploratoire, nous avons choisi de faire un travail de terrain en appliquant une méthode d'interview. Nous avons rencontré sept personnes ayant des responsabilités publiques dans le domaine des transports et de l'environnement et qui ont accepté de jouer le jeu de la structuration hiérarchique des objectifs dans le domaine de l'environnement et des transports au niveau urbain. Un premier but était, avant tout, de valider la méthode de structuration du système de valeurs car cette étude avait un caractère exploratoire. Il n'y avait pas véritablement de pression au cours de ces rencontres. Les interviewés ont facilement compris la consigne de départ. Notons que le fait notamment d'appréhender le système de valeurs des interviewés en dehors de tout contexte précis (pas de projet concret, mais exploration de considérations environnementales de façon générale) a permis d'obtenir des discours qui nous ont semblés assez libre de toute contraintes, pressions et autre facteurs susceptibles d'influencer les valeurs présentées. Nous avons synthétisé ces résultats d'entretiens dans une hiérarchie d'objectifs qui a servi de fondement à la suite de notre travail. Le but de cette application était finalement double.

Nous étions face à une demande d'outils permettant d'appréhender au mieux l'ensemble des impacts des transports sur l'environnement avec un souci d'agrégation de l'information. Se posait alors le problème du choix de la méthode d'agrégation. Or, parmi les deux grandes familles de méthodes d'agrégation existantes (en aide à la décision), la plus utilisée dans le domaine de l'environnement et des transports est l'agrégation en un critère unique de synthèse. Cette famille de méthode d'agrégation n'est pas celle qui présente le plus de souplesse même si les résultats qu'elles proposent sont séduisants. Les méthodes de type Electre semblent offrir plus de souplesse (présence d'incomparabilité, d'intransitivités, prise en compte de l'incertitude et de l'imprécision, limitation du phénomène de compensation) mais nécessitent en revanche de fixer un nombre important de paramètres. Elles paraissent donc plus compliquées à mettre en œuvre que les méthodes agrégeant en un critère unique, qui nécessitent « simplement » la construction des fonctions de transformation servant à convertir toutes les données sur une échelle unique. Cependant, il est illusoire de croire en cette simplicité si tant est que l'on souhaite faire une modélisation rigoureuse car la tâche de construction des fonctions permettant de tout ramener sur le critère de synthèse doit alors être extrêmement fine. De plus, nous pensons que séparer les étapes de modélisations en augmentant le nombre de paramètres (cas des méthodes de type Electre) peut simplifier la

tâche de modélisation même s'il paraît alors difficile pour des personnes non averties de bien comprendre et interpréter la signification de ces paramètres. Notons aussi que, dans un contexte d'aide à l'évaluation ou plusieurs acteurs sont amenés à participer à la modélisation avec différents rôles (expert ou évaluant), augmenter le nombre de paramètres peut alors permettre de bien séparer les rôles de chacun à condition de bien identifier « qui doit faire quoi ». Un travail d'accompagnement de ces acteurs par des personnes averties (« hommes d'études ») peut alors s'avérer nécessaire.

Pour illustrer notre approche, nous avons tenté de décrire la mise en œuvre la fonction permettant le diagnostic d'une situation environnementale ainsi que la fonction d'alerte. Appréhender l'évolution de la situation par le biais d'une analyse tendancielle a été écarté faute de temps, même si cela semble très intéressant.

Nous avons finalement opté pour l'utilisation la méthode Electre Tri pour illustrer notre démarche. Afin rendre concret notre travail, nous avons joué le rôle de l'évaluant et des experts pour une mise en œuvre assez simpliste mais qui tente de montrer l'esprit dans lequel il semble bon de mener une telle modélisation, de soulever certains problèmes que peuvent être amenés à rencontrer les acteurs de la modélisation et de proposer certaines façon de contourner ces problèmes. A ce titre, nous avons fait une série de choix qui sont tout à fait discutables. Mais, pour essayer de rendre concret notre travail, nous avons préféré prendre des options de modélisation et ainsi aller jusqu'à la phase de spécification fonctionnelle d'un outil avec prototypage. Il faut bien noter cependant, que beaucoup de ces d'options ont été prises à défaut d'interlocuteurs (experts concernés, futurs utilisateurs), d'informations (cas concret d'application, données réelles) ou simplement de temps, et qu'en conséquence, elles n'ont pas d'autres prétentions que d'illustrer comment faire ces choix de modélisation. Cependant, malgré ces prises de positions, l'approche proposée laisse une complète compatibilité avec l'utilisation conjointe d'autres méthodes agrégatives.

Enfin, le dernier chapitre a tenté de présenter ce que pourrait être la mise en œuvre d'un outil d'aide à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement. Trois modes d'utilisation (offrant plus ou moins de souplesse aux acteurs) d'un tel outil ont été envisagés et différents selon le contexte dans lequel on souhaite utiliser un tel outil. Nous avons proposé un modèle de données autour duquel on peut articuler un outil d'aide à l'évaluation tout en permettant l'agrégation retenue. Une description assez précise du fonctionnement du moteur d'agrégation a été réalisée à cette occasion. Concernant l'articulation d'un tel outil avec les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), rien ne semble poser de réel problème dès lors que le modèle de données du SIG n'est ni fermé ni trop peu accessible. Enfin, un prototype permet de se forger une idée du mode de navigation que l'on envisage, même si celui-ci a été fait à partir de données fictives.

Les limites et pistes de recherches

Au cours de ce travail, nous avons à plusieurs reprises été amené à faire des choix. Tout d'abord concernant le référentiel de valeurs servant à l'évaluation, nous avons volontairement restreint l'exploration des objectifs aux objectifs dits de « fin » ou de « but ». Or, il peut sembler intéressant d'élargir la démarche à l'exploration des objectifs dits de « moyens » afin de permettre l'évaluation d'une situation par rapport aux moyens mis en œuvre pour tenter de l'améliorer, notamment quand celle-ci est mauvaise.

De plus, du fait des options prises, la fonction de « suivi de l'évolution » de l'aide à l'évaluation n'a pas été développée. Une première piste de recherche est donc l'aide à l'évaluation en vue de l'analyse tendancielle, c'est-à-dire en vue d'évaluer l'évolution qui s'est opérée entre deux situations, qui, si le laps de temps les séparant est assez court, peuvent être relativement proches l'une de l'autre, relativement « indifférentes ». Or, on peut vouloir, même dans ce cas, se forger une idée sur la direction que prend l'évolution de la situation. Plus généralement, aider à évaluer pour comparer deux situations peut entrer dans le cadre de l'aide à la décision dès lors que les deux situations à comparer sont deux situations futures, envisagées comme résultats de deux actions potentielles clairement identifiées. Cependant, on peut aussi vouloir comparer deux situations réelles, actuelles, comme par exemple deux métropoles européennes.

Une autre piste, qui peut être vue comme à la frontière des deux précédentes, est d'aider à évaluer a posteriori l'efficacité des moyens mis en œuvre pour améliorer la situation.

Nous avons travaillé sur des arbres d'objectifs, et notamment réaliser des unions. Nous pensons qu'une piste de recherche peut être d'imaginer des procédures opérant sur plusieurs arbres d'objectifs pour par exemple les synthétiser, en faire l'union, vérifier la compatibilité de plusieurs jeux de valeurs, etc. Cela pourrait notamment aider un décideur à intégrer d'autres valeurs à son propre système.

Le domaine de l'environnement et des transports, qui a servi à illustrer notre démarche, a beaucoup de spécificités, et en particulier il permet de soulever le problème théorique de l'agrégation temporelle et géographique de l'information. Nous avons traité ce point par une simple prise de position, mais nous sommes bien conscient que ce problème est à part entière l'objet d'un travail de recherche difficile.

Cette thèse tente de contribuer au projet de recherche PIE dont les enjeux sont d'aboutir à un outil concret. Au fur et à mesure que l'orientation du projet va se dessiner, il serait bon de reprendre un à un nos choix méthodologiques et prises de positions réalisés à titre d'illustration, pour adapter cette approche aux différentes attentes (fonctionnelles et autres) des bailleurs du projet.

Pour rendre véritablement opérationnelle une telle approche, un travail pourrait être d'aller à la rencontre des experts des différentes thématiques environnementales afin de réaliser un recueil d'informations pour construire les critères. On pourrait à l'occasion, en profiter pour compléter la hiérarchie d'objectifs notamment dans la ou les branches qui concernent l'expert en question. En parallèle de cette tâche, il serait intéressant de recueillir aussi les données issues de l'observation de situations réelles. Ainsi, une première application d'un outil fonctionnant avec des données réelles pourrait être développée.

Nous pensons, plus généralement, que l'« aide à l'évaluation » peut être un champ de recherche très intéressant dans l'avenir tant il n'a pas fait l'objet de beaucoup de travaux, et tant les domaines dans lesquels on peut pressentir des applications sont nombreux, notamment dans le suivi de politiques, dans le contrôle de gestion, dans le domaine de l'environnement non restreint aux problèmes dus aux transports, etc.

Dans cette optique, la proximité entre l'activité d'« aide à la décision » (qui a déjà donné lieu à beaucoup de travaux) et l'activité d'« aide à l'évaluation » fait naturellement naître une piste de recherche intéressante : quels peuvent être les liens, les bases communes (paramètres,

données ...), entre un modèles d'aide à l'évaluation et un modèle d'aide à la décision pris dans un même contexte ? Quand et comment, dans la pratique, peut-on passer de l'un à l'autre et inversement ?

Telles sont quelques voies de recherches qui nous semblent intéressantes à explorer à l'issu de ce travail.

Bibliographie

- Abernot Y., 1996, Les méthodes d'évaluation scolaire, Dunod, Paris.
- ADEME, 2000, ATMO 2000, Directive de 10 janvier 2000, Ministère de l'environnement, Paris.
- AEE, 2000, Document de synthèse, TERM 2000, Est-ce la bonne route ?, Copenhague.
- AIPCR, 1999, Méthodes d'évaluation économiques des projets routiers dans les pays de l'AIPCR, Comité C9.
- Angel M., 1998, La nature a-t-elle un prix ?, Ecole des Mines, Paris.
- Berge C., 1970, Graphes et hypergraphes, Dunod Université N°604.
- Berthet V., 2002, Le développement durable : une éthique pour agir, Dialogue pour la terre, Livre blanc, Millénaire3, Août, Lyon.
- Boiteux M., 2001, Transports : choix des investissements et coût des nuisances, Commissariat Général du Plan, Paris.
- Boulmier J.M., Grapin A., Rousseaux P., 2000, Bilan matière-énergie de la filière de traitement des véhicules hors d'usage (VHU), Science et technique du déchet, n°17, p25-33.
- Brans J.P., Mareschal B., Vincke P., 1984, PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis, Brans J.P. Ed, conférence IFORS'84, Washington, USA.
- Brodhag C., Davoine P., 2000, Evaluation rationalité et développement durable, AGORA 21, Saint-Étienne.
- Brown L.R., Flavin C., French H., 2001, State of the world 2001, Worldwatch Institute, Washington.
- Cardinet J., 1992, L'objectivité de l'évaluation, Formation et technologies – Revue européenne des professionnels de la formation, n°0, p17-26.
- CERTU, 2001, Observatoire des Plans de Déplacement Urbains : de la méthode aux indicateurs, Dossiers du CERTU, Lyon.
- Chakhar S. 2005, Aide multicritère à la décision spatio-temporelle : application au problème d'aménagement des infrastructures linéaires, thèse en cours, Lamsade, Université Paris IX Dauphine.
- ONU, 1992, Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, Agenda 21, Rio de Janeiro.

- Cohen de Lara M., Dron D., 1997, Evaluation économique et environnementale dans les décisions publiques, Rapport Officiel, Documentation Française, Paris.
- Damart S., David A., Roy B., 2001, Comment organiser et structurer le processus de décision pour favoriser la concertation entre parties prenantes et accroître la légitimité de la décision ?, Lamsade, Université Paris IX Dauphine, Paris.
- De Ketele J.M., Gerard F.M., Roegiers X., 1997, L'évaluation et l'observation scolaire : deux démarches complémentaires, Education – Revue de diffusion des savoirs en éducation, n°12, p33-37.
- De Landsheere, 1979, Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation, Presse Universitaire de France, Paris.
- Didier M., 1991, Utilité et valeur de l'information géographique, Economica, Paris.
- Doumpos M., Zopounidis C., 2002, On the development of an outranking relation for ordinal classification problems: an experimental investigation of a new methodology, Optimisation Methods and Software, n°17(2), p293-317.
- Echard S., 1992, Tableau de bord : danger !, ESF éditeurs, Paris.
- European Commission, 1995, Report of the Commission on Goals Governance: Our Goal Neighbourhood, Oxford University Press, Oxford.
- Faucheux S., 2001, Gouvernance I : Gouvernance et développement durable, coll. Economie & Ecologie, Helbing & Lichtenhahn, Bâle.
- Garcia J., Colosio J., Jamet P., 2001, Les indices de la qualité de l'air, Ecole des Mines de Paris, Paris.
- Gastaut G., Maugard A., Agard J. & al, 1970, Rationalisation des choix budgétaires, Monographies de Recherche Opérationnelle, Dunod, Paris.
- Gérard J.M., 2002, L'indispensable subjectivité de l'évaluation, Antipodes, n°156, p26-34.
- Jacquet-Lagrèze E., Siskos J., 1982, Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making: the UTA methods, vol. 10, n° 2, European Journal of Operational Research, n°10(2), p 151-164.
- Jacquet-Lagrèze E., 1995, An application of the UTA discriminant model for the evaluation of R&D projects, p203-211, in P.M. Pardalos, Y. Siskos, and C. Zopounidis, *Advances in Multicriteria Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Joumard R., 1999, Méthode d'estimation des émissions de polluants : état de l'art européen, Inrets, Bron.
- Joumard R., 2000, Vers un indicateur de la pollution de l'air ?, Séminaire Prospective et Indicateurs de l'Environnement, 29 juin, Inrets, Bron.

- Joumard R., Lamure C., Lambert J., Tripiana F., 1995, Politiques de transport et qualité de l'air dans les agglomérations, Inrets, Bron.
- Kauffman A., 1977, Introduction à la théorie des sous-ensembles flous, 2^{ème} édition, Masson, Paris.
- Keeney R.L, Raiffa H., 1976, Decision with multiple objectives: preference and value tradeoffs, Wiley, New-York.
- Keeney R.L., 1992, Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking, Harvard University Press, Cambridge.
- Lambert J., Matheron J., 1994, Les méthodes quantitatives d'évaluation de l'impact sur l'environnement des programmes et projets de transport terrestre, rapport Inrets, Bron.
- Lambert J., Lamure C., 1996, Rapport d'étude, Evaluation monétaire des impacts des transports sur l'environnement, Inrets – Setra, Bron.
- Lamure C., 1993, La prise en compte des effets externes négatifs du trafic routier, RGRA, n°706.
- Leroy M., 1998, Le tableau de bord au service de l'entreprise, Edition d'Organisation, Paris.
- Levine P., Pomerol J.-C., 1989, Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts, Hermès, Paris.
- Lopez Garcia R., 2000, Méthodes de construction des indicateurs de pollution atmosphérique et de développement, Inrets, Bron.
- Maurin M., 1979, Effet de coupure et morcellement de l'espace naturel, Irt – Cerne, Bron.
- Maurin M., 1981, Modélisation de la réponse physiologique à l'exposition au monoxyde de carbone, Convention d'étude, décembre, Inrets, Bron.
- Maurin M., 1999, L'impact visuel et le calcul de l'angle solide, Inrets, Bron.
- Maurin M., 2000 a, L'agrégation des indicateurs de l'environnement, quelques premières réflexions, Inrets, Bron.
- Maurin M., 2000 b, Les indices et indicateurs acoustiques d'impact sur l'environnement, Inrets, Bron.
- Maurin M., 2003, Réflexions à propos des relations numériques entre le bruit des transports et la gêne exprimée, Recherche Transports Sécurité n° 78, p63-77.
- Mavroulidou M., 2002, A qualitative systems approach to modelling traffic-generated pollution for strategic transport planning, University of Surrey, Guildford.

- Maystre L.Y., Pictet J., Simos J., 1994, Méthode multicritère ELECTRE, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Meyronneinc J.P., 1998, Le transport face à l'environnement, Celse, Paris.
- Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999, Mémento de statistiques des transports – Résultats 1999, Direction des Affaires Economiques et Internationales, Paris.
- Moussa Naoufel, 2001, Aide multicritère à l'évaluation qualitative par inférence de modèles de tri ordinal sur une hiérarchie de critères – Application pour la conception d'un système européen de cotation de PME technologiques innovantes, thèse, Lamsade, Université Paris IX Dauphine.
- Mousseau V., Sloviski R., 1998, Inferring an Electre Tri model from assignments examples, *Journal of Global Optimization*, n°12 (2), p157-174.
- Mousseau V., Sloviski R., Zielniewicz P., 2000, A user-oriented implement of Electre Tri method integrating preference elicitation support, *Computers and Operations Research*, n°27(7-8), p757-777.
- Nicolas F., 1997, Indicateurs d'état et de pression pour une évaluation globale de la pollution, Inrets, Bron.
- Noizet G., Caverny J.P., 1978, La psychologie de l'évaluation scolaire, Presse Universitaire Française, Paris.
- Papon F., 2004, La tranposition de la mobilité : de la marche à la voiture, Séminaire PIE-Inrets, 13 et 14 décembre, Arcueil, p47-50.
- Pujol P., 2000, Prospective et Indicateurs d'impact des transports sur l'Environnement : outils d'évaluation et d'aide à la décision - Enquête utilisateur, Inrets, Bron.
- RESPECT, 2000, manuel d'utilisation, Un tableau de bord environnemental pour les collectivités locales, CNFPT, Paris.
- Rodrigues C., 2002, Analyse et synthèse bibliographique des différents systèmes d'indicateurs environnement et transports, Inrets, Bron.
- Rousval B., 2003, Outil d'évaluation pour la mesure de l'impact des transports sur l'environnement, actes n° 93, Inrets, Bron.
- Roy B., 1968, Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode Electre), *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, n°8, p57-75.
- Roy B., 1985, Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica, Paris.
- Roy B., Bouyssou D., 1993, Aide multicritère à la décision : méthodes et cas, Economica, Paris.

- Roy B., Figueira J, 2001, Determining the weights of criteria in the Electre type methods with a revised Simos' procedure, *European Journal of Operational Research*, n°139, p317-326.
- Shärlig A., 1985, Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère, Collection Diriger l'Entreprise, n° 1, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Shärlig A., 1996, Pratiquer Electre et Prométhée, Collection Diriger l'Entreprise, n° 11, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- SUMMA, 2004, Operationalising sustainable transport and mobility: system diagram and indicators, *Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment*, deliverable D3 version 1.1, <http://www.summa-eu.org/>.
- Tardieu H., 2000, La méthode Merise, Edition d'Organisation, Paris.
- Van den Hove S., 2001, Approche participative pour la gouvernance en matière de développement durable : une analyse en termes d'effets, dans *Gouvernance I : Gouvernance et développement durable*, Economie & Ecologie, Helbing & Lichtenhahn, Bâle.
- Vial M., 1999, Modèle et logique de l'évaluation, colloque international, *Ethique et qualité dans l'évaluation*, 25-26 octobre, Université de Reims Pol'èvalue, Reims.
- Voynet D., 1999, Circulaire de la ministre de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement aux Préfets des Régions, 11 mai.
- WHO, 2000, Environment health indicators: development of a methodology for the WHO European region, World Health Organization, Interim report.
- Yu W., 1992, Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri : concepts, méthodes et application, thèse de doctorat, Université Paris Dauphine, Paris.
- Zopounidis C, Doumpos M, 1999, A multicriteria decision aid methodology for sorting decision problems: the case of financial distress, *Computational Economics*, n°14(3), p197-218.
- Zopounidis C, Doumpos M, 2000, PREFDIS: a multicriteria decision support system for sorting decision problems, *European Journal of Operational Research*, n° 27(7-8), p779-797.
- Zopounidis C, Doumpos M, 2002, Multicriteria classification and sorting methods: A literature review, *European Journal of Operational Research*, n° 138, p229-246.

Annexes

Interview 1 :

Maîtriser l'environnement

Préserver l'avenir de la planète :

Ses ressources naturelles

Sols

Eaux

Espèces

Energies

En terme de consommation

En terme de production de déchets

Son patrimoine humain

Concernant le patrimoine historique

Concernant le patrimoine culturel

Améliorer la situation de la planète

Pollution à l'échelle globale

Concernant la pollution :

Réchauffement planétaire

Dérèglement climatique

Couche d'ozone

A l'échelle locale

Concernant le milieu naturel

Les végétaux

Protéger

Préserver

Les animaux

Protéger

Préserver

Le paysage

Concernant la société humaine

Protéger les bâtis

Habitat

Patrimoine

Limiter les effets sur la santé

Pour les population à risque

Pour les zones à forte densité

Limiter la gêne

Due aux bruits

Nocturnes

Pics

Interview 2 :

Maîtriser l'environnement

Améliorer l'environnement d'aujourd'hui

Améliorer la santé publique

La santé routière

Pour les usagers

Pour les non usagers

Les effets de la pollution sur la santé

Pour les populations à risque

Pour le reste de la population

Améliorer la qualité de la vie urbaine

En limitant la gêne

Liée au bruit

Liée aux odeurs

Liée aux fumées

En facilitant les transports

En commun

Individuels

En conservant les bâtis

Améliorer la situation planétaire

Du point de vue des pollutions maritimes

Accidentelles

Frauduleuses

Du point de vue des déchets

Du point de vue des consommations d'énergies

Du point de vue du réchauffement planétaire

Préserver l'environnement futur

Préserver le patrimoine

Ses monuments

Ses espaces naturels

Ses paysages

Eviter les conséquences irréversibles

Disparition d'espèces naturelles

Animales

Végétales

Interview 3 :

Maîtriser l'environnement

Pour les générations futures

En préserver les ressources naturelles

Du point de vue des déchets

Du point de vue de la couche d'ozone

Du point de vue des énergies

Réparer les dégâts humains

Dégâts sur la qualité de l'air

Dégâts dus aux bétonnages à outrance

Dégâts culturels

Civilisation automobile

Déplacements inutiles

Individualisme

Dégâts humains

Pillage des peuples

Guerres pétrolières

Pour la génération actuelle

Limiter l'effet de serre

Limiter les effets de la dégradation de la qualité de l'air

Sur les êtres humains

Concernant la santé

Concernant la gêne

Sur la nature

Concernant les eaux

Concernant les sols

Concernant la faune et la flore

Sur les bâtis (saleté)

Limiter la gêne due aux bruits

Bruits ajoutés à d'autre

Bruits de fond

Améliorer les transports

Améliorer leur sécurité

Améliorer les transports en commun

Répondre aux besoins des habitants / lieu de travail

Améliorer la régularité

Améliorer la fréquence

Améliorer l'information

Concernant le temps d'attente

Les horaires

Les retards

Améliorer le confort

Intérieur

De circulation

Pour les personnes à mobilité réduite

Améliorer le paysage

Faciliter les intermodalités

Améliorer les prix par rapport aux transports individuels

Prix de revient pour l'utilisateur

Part de la collectivité

Interview 4 :

Maîtriser l'environnement

Préserver la planète

Du point de vue des ressources naturelles

En énergies

En tant que valeurs

En tant que ressources

Du point de vue des paysages

Urbains

Non urbains

Du point de vue de l'effet de serre

limiter les effets sur la santé

Dus à la pollution de l'air

De fond

Bronchiolite à répétition

Asthme

Dus au bruit

Stress

De l'insécurité routière

Morts

Blessés graves

Assurer une justice sociale face à ces effets sur la santé

Améliorer la qualité de vie

limiter les nuisances dues aux odeurs

limiter les nuisances dues aux fumées

Noires

Blanches

limiter les nuisances sonores

Bruits de fond

Dues aux piétons

Dues à la circulation

Pics

Dus aux motos

Dus aux klaxons

limiter les nuisances visuelles

limiter l'individualisme

Eviter la hausse des prix du foncier

Offrir de l'art dans la rue

Améliorer les transports

Démocratiser l'offre

Vis à vie des personnes âgées

Vis à vis des enfants pour leurs trajets scolaires

Faciliter l'accès physique

Simplifier les correspondances intermodales

Améliorer la convivialité des transports

Interview 5 :

Maîtriser l'environnement

En ville

Améliorer la qualité de vie

En rendant les villes agréables

Favoriser les modes doux

Périodes sans voitures

Espaces verts

Améliorer les services des transports

Améliorer l'articulation intermodale

Irriguer les banlieues pauvres

Améliorer les relations interurbaines

Améliorer les transports

Préserver le patrimoine historique

Améliorer la santé publique

Faciliter l'accès aux soins

Diminuer les effets de la pollution de l'air sur la santé

Améliorer la sécurité des transports

Global

Pollution globale

Eviter la prolifération de grandes pandémies

Pauvreté

Interview 6 :

Maîtriser l'environnement

D'un point de vue global

- Assurer la survie de l'humanité dans sa majorité

- Préserver la couche d'ozone

- Eviter les changements climatiques

- Eviter les extinctions d'espèces

- Eviter les extinctions de milieux naturels

- Limiter l'appauvrissement des sols

D'un point de vue qualité de vie urbaine

Par rapport au bruit

- Respecter les recommandations gouvernementales

 - Le jour

 - La nuit

- Limiter la gêne

 - Bruit du trafic routier

 - Bruit du trafic aérien

- Communiquer sur les cartes de bruit

Liée aux espaces verts

- Verdures

- Ombres

- Diversité animale

- Corridors écologiques

Liée aux paysages

- Limiter les espaces publicitaires

- Limiter les chantiers

Liée aux transports

- Faciliter la circulation individuelle

 - En vélo

 - A pied

Du point de vue de la santé

- Maladies respiratoires chroniques dus à la pollution de fond

 - Personnes à risques

 - Autre

- Maladies dues aux pics de pollution

 - Morts

 - Hospitalisations

Interview 7 :

Maîtriser l'environnement

Au niveau national

A moyen ou long terme

Concernant l'aménagement du territoire

faciliter les flux

entre pôles (gares, aéroports, ports)

entre zones habitations et zones d'emploi

A court terme

Améliorer la santé

Due au pics de pollution

Adapter les moyens d'intervention par rapport au besoin

Au niveau urbain

A moyen ou long terme

Respecter l'aménagement de la ville

Equilibre entre zone d'emploi et de logement

Respecter les quartiers « villages »

Respecter l'accessibilité des zones d'emploi

Par rapport aux sens uniques

Par rapport aux parking

Faciliter la logistique des livraisons

Préserver les quartiers verts

Disponibilité des transports en commun par rapport aux besoins

Améliorer les temps de transports en terme de débit du réseau

Améliorer l'accessibilité des transports

Favoriser de nouveaux moyens de déplacement

Rollers

Tapis roulants

A court terme

Limiter les effets de la pollution de l'air sur la santé

Limiter les accidents

Limiter la pollution sonore

Métros aériens

Gares

Trafic

Annonces

Fêtes, musiques

Ateliers clandestins

Améliorer la propreté

Synthèse :

Maîtriser l'environnement

A l'échelle planétaire

Conserver un environnement favorable à la vie humaine

 limiter l'effet de serre

 limiter le dérèglement climatique

 protéger la couche d'ozone

 éviter la prolifération de grandes pandémies

 éviter le pillage des peuples

 éviter les guerres pétrolières

Conserver les ressources naturelles

 limiter l'extinction d'espèces naturelles

 animales

 végétales

 limiter l'extinction de milieux naturels

 limiter les consommations d'énergies

 en tant que valeurs

 en tant que ressources

 limiter la pollution maritime

 accidentelle

 frauduleuse

 limiter la production de déchets persistants

 limiter la pauvreté

A l'échelle locale

 Concernant les milieux naturels

 limiter l'appauvrissement des sols

 protéger la faune

 protéger la flore

 préserver les paysages

 limiter les bétonnages à outrance

 Concernant les milieux humains

 Concernant la santé publique

 limiter les effets de la pollution de l'air

 des pics de pollutions

 sur les populations à risque

 limiter le nombre de mort

 limiter les hospitalisations

 sur les populations autres

 limiter le nombre de mort

 limiter les hospitalisations

 de la pollution de fond

 limiter les maladies respiratoires chroniques

 bronchiolites à répétition

 asthme

 limiter les effets des accidents

 pour les usagers

 limiter le nombre de morts

 limiter le nombre de blessés

 pour les non-usagers

 limiter le nombre de morts

Limiter le nombre de blessés
Limiter les effets du bruit sur la santé
 Stress
Faciliter l'accès aux soins

Concernant la qualité de vie

 Limiter la gêne

 Due aux bruits

 Nocturne

 Bruits de fond

 Dus au trafic

 Dus aux piétons

 Fêtes, musiques

 Travaux clandestins

 Pics de bruit

 Annonces dans les gares

 Motos

 Klaxons

 Trafic aérien

 Fêtes, musiques

 Travaux clandestins

 Diurne

 Bruits de fond

 Dus au trafic

 Dus aux piétons

 Fêtes, musiques

 Travaux clandestins

 Pics de bruit

 Annonces dans les gares

 Motos

 Klaxons

 Trafic aérien

 Fêtes, musiques

 Travaux clandestins

 Dues aux fumées

 Noires

 Blanches

 Dues aux odeurs

Favoriser les espaces verts

 Verdure

 Ombres

 Diversité de la faune

 Corridors écologiques

Améliorer le paysage urbain

 Limiter les espaces publicitaires

 Limiter les chantiers

Eviter les hausses de prix du foncier

Offrir de l'art dans la rue

Concernant la qualité des transports

- Faciliter la circulation individuelle
 - A pied
 - A vélo
 - En rollers
 - Tapis roulants
- Faciliter l'accès aux transports en commun
- Améliorer le service des transports en commun
 - Répondre au besoin des habitants
 - Améliorer la régularité
 - Améliorer la fréquence
 - Améliorer l'information
 - Concernant le temps d'attente
 - Les horaires
 - Les retards éventuels
- Faciliter les correspondances intermodales
- Améliorer la convivialité des transports
- Améliorer le confort
 - Intérieur
 - De circulation
 - Pour les personnes à mobilité réduite
- Démocratiser l'offre
 - Vis à vis des personnes âgées
 - Vis à vis des enfants pour leurs trajets scolaires
- Améliorer le prix par rapport aux transports individuels
 - Prix de revient pour l'utilisateur
 - Prix pour la collectivité
- Faciliter les flux
 - Entre pôles (gares, aéroports, ports)
 - Entre zones d'habitation et zones d'emploi
- Préserver le patrimoine culturel
 - Les bâtis
 - Les monuments
 - Limiter la culture automobile
 - Déplacements inutiles
 - Individualisme
- Respecter les quartiers « villages »
- Préserver les habitats des salissures

Synthèse réduite :

Maîtriser l'environnement

A l'échelle planétaire

- Conserver un environnement favorable à la vie humaine

 - limiter l'effet de serre

 - limiter le dérèglement climatique

 - protéger la couche d'ozone

 - éviter la prolifération de grandes pandémies

 - éviter le pillage des peuples

 - éviter les guerres pétrolières

- Conserver les ressources naturelles

 - limiter l'extinction d'espèces naturelles

 - limiter l'extinction de milieux naturels

 - limiter les consommations d'énergies

 - limiter la pollution maritime

- limiter la production de déchets persistants

- limiter la pauvreté

A l'échelle locale

- Concernant les milieux naturels

 - limiter l'appauvrissement des sols

 - protéger la faune

 - protéger la flore

 - préserver les paysages

 - limiter les bétonnages à outrance

- Concernant les milieux humains

 - Concernant la santé publique

 - limiter les effets de la pollution de l'air

 - Des pics de pollutions

 - De la pollution de fond

 - limiter les effets des accidents

 - limiter les effets du bruit sur la santé

 - faciliter l'accès aux soins

 - Concernant la qualité de vie

 - limiter la gêne

 - Due aux bruits

 - Dues aux fumées

 - Dues aux odeurs

 - Favoriser les espaces verts

 - Améliorer le paysage urbain

 - Éviter les hausses de prix du foncier

 - Offrir de l'art dans la rue

 - Concernant la qualité des transports

 - faciliter la circulation individuelle

 - faciliter l'accès aux transports en commun

 - Améliorer le service des transports en commun

 - faciliter les flux

 - Préserver le patrimoine culturel

 - Respecter les quartiers « villages »

 - Préserver les habitats des salissures

Poids ni

Maîtriser l'environnement

2 A l'échelle planétaire

5 Conserver un environnement favorable à la vie humaine

- 1 Limiter l'effet de serre
- 2 Limiter le dérèglement climatique
- 1 Protéger la couche d'ozone

2 Conserver les ressources naturelles

- 1 Limiter l'extinction d'espèces naturelles
- 1 Limiter l'extinction de milieux naturels
- 3 Limiter les consommations d'énergies

1 Limiter la pollution maritime

2 Limiter la production de déchets persistants

3 A l'échelle locale

0 Concernant les milieux naturels

- 0 Limiter l'appauvrissement des sols
- 0 Protéger la faune
- 0 Protéger la flore
- 0 Préserver les paysages
- 0 Limiter les bétonnages à outrance

1 Concernant les milieux humains

7 Concernant la santé publique

- 1 Limiter les effets de la pollution de l'air
 - 2 Des pics de pollutions
 - 1 De la pollution de fond
 - 1 Limiter les effets des accidents
- 1 Limiter les effets du bruit sur la santé

3 Concernant la qualité de vie

3 Limiter la gêne

- 4 Due aux bruits
- 0 Dues aux fumées
- 1 Dues aux odeurs

1 Améliorer le paysage urbain

- 1 Préserver le patrimoine culturel
- 0 Respecter les quartiers « villages »
- 1 Préserver les habitats des salissures

Poids ei

Maîtriser l'environnement

0,40 A l'échelle planétaire

0,50 Conserver un environnement favorable à la vie humaine

0,25 Limiter l'effet de serre

0,50 Limiter le dérèglement climatique

0,25 Protéger la couche d'ozone
--

0,20 Conserver les ressources naturelles

0,20 Limiter l'extinction d'espèces naturelles

0,20 Limiter l'extinction de milieux naturels
--

0,60 Limiter les consommations d'énergies
--

0,10 Limiter la pollution maritime

0,20 Limiter la production de déchets persistants
--

0,60 A l'échelle locale

0,00 Concernant les milieux naturels

0,00 Limiter l'appauvrissement des sols
--

0,00 Protéger la faune

0,00 Protéger la flore

0,00 Préserver les paysages

0,00 Limiter les bétonnages à outrance

1,00 Concernant les milieux humains
--

0,58 Concernant la santé publique
--

0,5 Limiter les effets de la pollution de l'air
--

0,5 Des pics de pollutions

0,25 De la pollution de fond

0,25 Limiter les effets des accidents
--

0,5 Limiter les effets du bruit sur la santé

0,25 Concernant la qualité de vie
--

0,75 Limiter la gêne

0,8 Due aux bruits

0 Dues aux fumées

0,2 Dues aux odeurs

0,25 Améliorer le paysage urbain

0,08 Préserver le patrimoine culturel
--

0,00 Respecter les quartiers « villages »
--

0,08 Préserver les habitats des salissures

Poids pi (en caractères gras)

Maîtriser l'environnement	
40%	A l'échelle planétaire
20%	Conserver un environnement favorable à la vie humaine
5,0%	limiter l'effet de serre
10,0%	limiter le dérèglement climatique
5,0%	Protéger la couche d'ozone
8%	Conserver les ressources naturelles
1,6%	limiter l'extinction d'espèces naturelles
1,6%	limiter l'extinction de milieux naturels
4,8%	limiter les consommations d'énergies
4%	limiter la pollution maritime
8%	limiter la production de déchets persistants
60%	A l'échelle locale
0%	Concernant les milieux naturels
0,0%	limiter l'appauvrissement des sols
0,0%	Protéger la faune
0,0%	Protéger la flore
0,0%	Préserver les paysages
0,0%	limiter les bétonnages à outrance
60%	Concernant les milieux humains
35,0%	Concernant la santé publique
17,50%	limiter les effets de la pollution de l'air
8,750%	Des pics de pollutions
4,375%	De la pollution de fond
4,375%	limiter les effets des accidents
17,50%	limiter les effets du bruit sur la santé
15,0%	Concernant la qualité de vie
11,25%	limiter la gêne
9,000%	Due aux bruits
0,000%	Dues aux fumées
2,250%	Dues aux odeurs
3,75%	Améliorer le paysage urbain
5,0%	Préserver le patrimoine culturel
0,0%	Respecter les quartiers « villages »
5,0%	Préserver les habitats des salissures

Vu : le Président
M.....

VU : les suffragants
MM.....

Vu et permis d'imprimer :
le Vice-Président du Conseil Scientifique chargé de la Recherche de
l'Université de PARIS IX DAUPHINE

Résumé :

Cette thèse, codirigée par l'Inrets et le Lamsade, vise à contribuer à la conception d'un outil informatique pour des responsables publics qui souhaiteraient s'appuyer sur un modèle afin de gérer de manière durable les problèmes environnementaux dus aux transports et cela dans un contexte de démocratie participative. Nous proposons donc une « aide multicritère à l'évaluation de l'impact sur l'environnement » qui consiste à structurer hiérarchiquement un ensemble d'objectifs, puis à appréhender leur atteinte à l'aide de critères dans un but d'établir un diagnostic, de donner l'alerte, de réaliser une analyse tendancielle et non systématiquement d'envisager une prise de décision. Cela nous amène naturellement à comparer l'« aide à la décision », classique, à l'« aide à l'évaluation ». Compte tenu de la complexité du problème et pour faire face au conflit qu'il existe entre la simplicité et la transparence d'un résultat d'évaluation, nous proposons, à tous les niveaux de la hiérarchie d'objectifs, une agrégation multicritère qui s'inspire fortement des méthodes Electre et de l'indice Atmo. Nous illustrons cela par une modélisation du problème, des spécifications fonctionnelles et un prototype.

Mots clés : Evaluation, Multicritère, Agrégation, Environnement, Transports.

Abstract:

This PhD thesis is driven by Inrets and Lamsade. It leads to contributing to the conception of a computer science tool for the public in charge who would wish to use a model in order to manage environmental problems due to transports in a sustainable way, and in the context of participative democracy. We thus propose a "multicriteria evaluation aiding of environmental impact of transports" which consists of structuring a set of objectives as a hierarchy, then to apprehend their achievement using criteria, with the goals of: establishing a diagnosis, giving alarm or carrying out a trend analysis and not systematically considering a decision problem. That naturally leads us to compare traditional "decision aiding" with "evaluation aiding". Taking into account the complexity of the problem and to face the conflict between the simplicity and the transparency of an evaluation's result, we propose, at all the levels of the hierarchy of objectives, a multicriteria aggregation which is strongly inspired by the Electre Tri method and the Atmo index. We illustrate that by a modelisation of the problem, functional specifications and a prototype.

Keywords: Evaluation, Multicriteria, Aggregation, Environment, Transports.