

## Chapitre 9

# COMPARAISON DE DEUX ÉTUDES D'AIDE À LA DÉCISION À PROPOS D'UN CAS DE LOCALISATION D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

### RÉSUMÉ

L'objet de ce chapitre est de comparer deux études d'aide à la décision à propos d'un cas de localisation d'une centrale nucléaire.

Au 9.1, on précise les objectifs et les conditions de cette comparaison.

Au 9.2, on présente, étape par étape, l'étude réalisée en 1974 sur ce cas par Keeney et Nair en utilisant un modèle de préférences globales fondé sur un critère unique de synthèse. On illustrera notamment :

- le choix des axes de signification et des dimensions (9.2.2 et 9.2.3) ;
- la détermination des distributions de probabilités (9.2.4) ;
- l'élaboration de la fonction d'utilité (fonctions d'utilité partielles, coefficients  $k_j$ ) (9.2.5, 9.2.6, 9.2.7 et 9.2.8) ;
- l'analyse de sensibilité et l'élaboration de la recommandation (9.2.9).

Quelques années plus tard, nous avons tenté de réaliser en laboratoire le travail qui aurait pu être fait sur ce cas en utilisant une PAMC non fondée sur un critère unique de synthèse, en l'occurrence ELECTRE III. Les principales étapes de l'élaboration de cette étude sont présentées au 9.3. On insistera en particulier sur :

- le mode de construction des critères (9.3.2) ;
- l'élaboration des informations inter-critères (9.3.3) ;
- l'analyse de robustesse et l'élaboration de la recommandation (9.3.4).

Au 9.4, on tentera de tirer quelques enseignements de cette comparaison. A l'issue de la confrontation de deux modèles à une même réalité, on s'efforcera de :

- mieux mettre en évidence les différences que l'un et l'autre induisent quant à la manière de questionner la réalité et d'élaborer des "données" ;

- mieux comprendre ce que l'un et l'autre ont d'arbitraire, de fragile, de réaliste, de robuste ;
- mieux percevoir en quoi l'un et l'autre peuvent conduire à des recommandations convergentes ou divergentes.

## 9.1 GÉNÉRALITÉS

En 1974, le Washington Public Power Supply System (WPPSS), regroupement d'entreprises publiques produisant de l'électricité dans l'état de Washington sur la côte Nord-Ouest des USA, a demandé une étude au Woodward-Clyde Consultants concernant le choix d'un site pour l'implantation d'une centrale nucléaire. Cette étude a été menée par Keeney et K. Nair (1976)<sup>1</sup> en utilisant un modèle de préférences globales fondé sur un critère unique de synthèse du type utilisé espérée (PAMC de type I, cf. 4.5 et 5.1). Elle semble particulièrement représentative des travaux utilisant ce type de modèles d'aide à la décision.

On présente au 9.2 les principales étapes de l'élaboration de cette étude d'aide à la décision auxquelles nous nous référerons, dans la suite de ce chapitre, sous le nom d'étude U.

Quelques années plus tard<sup>2</sup>, à des fins de comparaison, nous avons tenté de réaliser en laboratoire le travail qui aurait pu être fait sur ce cas de localisation en utilisant une PAMC non fondée sur un critère unique de synthèse, en l'occurrence ELECTRE III (PAMC de type II, cf. 5.3.2.2 et 6.4.3). Dans ce chapitre, nous nous référerons à cette étude en laboratoire sous le nom d'étude S. On la présente au 9.3.

Précisons dès à présent que, étant dans l'impossibilité d'interroger ni experts, ni responsables du WPPSS, nous avons dû parfois, dans le cadre de l'étude S, supputer une réponse sur la base des seules informations recueillies pour les besoins de

<sup>1</sup> Cf. Keeney et Nair (1976). Ce texte est reproduit dans Bell et al. (1977, chapitre 14) et dans Keeney (1980, chapitre 3).

<sup>2</sup> Voir Roy et Bouyssou (1983 et 1986).

l'étude U. Notre but n'étant pas de refaire l'étude mais de comparer les modèles d'aide à la décision utilisés dans ces deux études, les inconvénients découlant de cette impossibilité se sont avérés peu importants.

Au 9.4, on tentera de tirer quelques enseignements de cette comparaison. A l'issue de cette confrontation de deux modèles à une même réalité, on s'efforcera de :

- mieux mettre en évidence les différences que l'un et l'autre induisent quant à la manière de questionner la réalité et d'élaborer ce que l'on appelle traditionnellement (à tort) des données (ces dernières étant, le plus souvent, des "construits") ;
- mieux comprendre ce que l'un et l'autre ont d'arbitraire, de fragile, de réaliste, de robuste (tous aspects essentiels pour apprécier leur degré de probance respectif) ;
- mieux percevoir en quoi l'un et l'autre peuvent conduire à des recommandations convergentes ou divergentes.

## 9.2 LE CAS WPPSS : L'ÉTUDE U

### 9.2.1 Insertion dans le processus de décision, problématique, détermination des actions potentielles

Le WPPSS souhaite, en 1974, bâtir une centrale nucléaire de 3 000 MW, à l'horizon de 1984, sur le territoire relevant de sa compétence, c'est-à-dire l'état de Washington et une partie des états de l'Oregon et de l'Idaho. La construction d'une centrale sur un site donné implique une autorisation de la part d'une agence fédérale. Cette autorisation n'est accordée qu'à l'issue d'études approfondies qu'il serait trop coûteux de vouloir entreprendre de manière systématique. A ce stade du processus de décision, l'objectif du WPPSS est donc de sélectionner un ou un petit nombre de sites dont on a de bonnes raisons de croire qu'ils sont de "bons" sites et donc auraient de "bonnes chances" d'être acceptés par l'agence fédérale à l'issue des études approfondies. Cette première sélection doit se fonder uniquement sur les données disponibles sur les sites et des reconnaissances sur le terrain à l'exclusion de toute étude approfondie de chaque site.

Un tel objectif pourrait amener l'homme d'étude à opter pour une problématique du tri P.β en cherchant à isoler les "bons" sites. Les auteurs de l'étude U ont procédé autrement en :

- retenant, dans une première phase, les sites acceptables d'une point de vue technique et
- en appliquant à ces sites une procédure de classement (problématique du rangement P.γ).

La première phase de l'étude a donc visé à cerner un ensemble de sites potentiels techniquement acceptables. Cette phase a été réalisée par l'application d'une procédure d'écrémage de type conjonctif (cf. 5.2.2.2) sur la base de critères techniques, les niveaux d'aspiration étant fixés par les experts du WPPSS. On a par exemple :

- exclu tous les sites situés à moins de 3 miles d'une agglomération de plus de 2 500 habitants ;
- exclu tous les sites situés à moins de 5 miles d'une faille de plus de 12 miles de long, etc.

A l'issue de cette procédure d'écrémage ainsi que de premières reconnaissances sur le terrain, 9 sites possibles ont été retenus comme techniquement acceptables. Ces 9 sites constituent l'ensemble A des actions potentielles. La deuxième phase de l'étude vise alors à classer les 9 sites sur la base de considérations autres que purement techniques. Notons que, lors de cette deuxième phase, les auteurs de l'étude U n'ont eu que peu accès aux "décideurs" du WPPSS. De ce fait, c'est souvent l'équipe d'étude elle-même, comprenant de nombreux experts, qui a joué le rôle de ces décideurs dans l'élaboration du système de préférences sur lequel prend appui l'étude d'aide à la décision.

### 9.2.2 Détermination des axes de signification

Les 9 sites retenus lors de la deuxième phase d'étude ont tous fait l'objet d'une description détaillée. Ils se différencient sur de nombreux aspects. Afin de raisonner leur comparaison, les auteurs

de l'étude U ont retenu<sup>1</sup> six points de vue dominant lieu à autant d'axes de signification :

- *axe n° 1 : santé, sécurité* : l'installation d'une centrale sur un site accroît le taux de radiation auquel sont soumis les individus présents dans le voisinage du site ainsi que le risque d'accidents nucléaires auxquels ils sont exposés ;
- *axe n° 2 : perte de saumons* : une fraction des nombreux saumons qui fréquentent la rivière servant au refroidissement de la centrale est appelée à disparaître (du fait de la prise d'eau et de l'eau rejetée à une température plus élevée) ;

- *axe n° 3 : impact biologique sur la région environnant la centrale* : il s'agit ici des effets biologiques de toute nature, à l'exclusion de la perte des saumons ;

- *axe n° 4 : impact socio-économique* : l'afflux temporaire de main-d'œuvre durant la construction de la centrale entraîne des effets perturbateurs (nécessité de créer et de financer de nouveaux équipements) sur l'équilibre socio-économique de la région environnante ;

- *axe n° 5 : esthétique* : les lignes électriques à haute tension servant à raccorder la centrale au réseau général peuvent contribuer à enlaidir le paysage ;

- *axe n° 6 : coût* : il s'agit des coûts d'investissement et d'exploitation de la centrale.

La description des conséquences de l'action a (implantation d'une centrale sur le site a) ayant trait à l'un quelconque de ces 6 axes de signification ne s'impose pas de toute évidence.

<sup>1</sup> au vu des descriptions détaillées des différents sites et après élimination de points de vue pertinents mais sur lesquels les sites ne se différenciaient pas ou n'avaient que fort peu de chance de se révéler différents.

Dans le modèle de la théorie de l'utilité espérée utilisé dans l'étude U, on cherche à associer, à chaque axe de signification, une ou plusieurs dimensions (cf. 1.5, 4.5) et à évaluer les conséquences de la mise en œuvre d'une action potentielle sous la forme d'une distribution de probabilités sur les échelles associées à ces dimensions.

Rappelons (cf. 4.5.1), en notant  $E_1, E_2, \dots, E_n$  les échelles associées aux  $n$  dimensions retenues, que le modèle de la théorie de l'utilité espérée conduit à bâtir un critère unique de synthèse du type <sup>1</sup> (cf. (r.4.5.1)) :

$$g(a) = \sum_{e \in E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n} u(e) \delta^e(e), \quad (r.9.2.1)$$

$\delta^e(e)$  étant la probabilité de l'élément  $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$  de l'ensemble  $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$  si l'action  $a$  est mise à exécution.

La mise en œuvre de ce modèle suppose donc :

- de déterminer, compte-tenu des 6 axes de signification pertinents, l'ensemble des  $n$  dimensions  $d_1, d_2, \dots, d_n$  à considérer et leurs échelles associées  $E_1, E_2, \dots, E_n$ ,
- de déterminer, pour chaque site  $a \in A$ , les conséquences de sa mise à exécution sous la forme d'une distribution de probabilités sur l'ensemble  $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$ , produit cartésien des échelles associées aux  $n$  dimensions, et
- d'associer, à chaque élément  $e$  de  $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$ , une utilité  $u(e)$ .

### 9.2.3 Détermination des dimensions

**Axe n° 1 : Santé-sécurité :** La dimension retenue  $d_1$  correspond à un indice administratif (le "Site Population Factor") visant

<sup>1</sup> dans le cas où les échelles sous-jacentes ont un nombre fini d'échelons. Il est aisé de modifier cette formule lorsque tel n'est pas le cas.

à mesurer le nombre d'individus dont la santé et la sécurité risquent d'être affectées par l'implantation d'une centrale et ceci en fonction de l'éloignement de ces individus au site.

**Axe n° 2 : Perte de saumons :** La quantité totale de saumons dont on redoute la disparition suite à l'installation d'une centrale a été jugée insuffisante pour appréhender la conséquence "perte de saumons". Compte-tenu de la précarité de certains équilibres écologiques, la destruction de 10 000 saumons dans une rivière qui en compte 20 000 ne peut être regardée comme équivalente à celle de 10 000 saumons dans une rivière qui en compte 300 000. La perte de saumons a donc été analysée selon deux sous-dimensions :

- $d_2'$  : nombre total de saumons vivant dans la rivière concernée,
- $d_2''$  : pourcentage de saumons détruits.

En notant respectivement  $E_2'$  et  $E_2''$  les échelles associées aux sous-dimensions  $d_2'$  et  $d_2''$ , on associe, à l'axe n° 2, une dimension composite  $d_2$  dont l'échelle est  $E_2 = E_2' \times E_2''$ . Notons que, contrairement à ce qui est le cas pour toutes les autres dimensions, les éléments de  $E_2$  ne sont pas naturellement ordonnés <sup>1</sup>.

**Axe n° 3 : Impact biologique :** Les conséquences biologiques liées à l'implantation d'une centrale nucléaire sont nombreuses et complexes. Toute étude approfondie étant exclue à ce stade, il a semblé judicieux, aux auteurs de l'étude U, de chercher à évaluer l'impact biologique de l'implantation d'une centrale en bâtissant une échelle qualitative à 9 échelons, chaque échelon faisant l'objet d'une description détaillée intégrant l'ensemble des impacts

<sup>1</sup> Il est cependant clair que le meilleur niveau sur cette échelle composite consiste à ne perdre aucun saumon et cela quelle que soit la population de saumons dans la rivière. De même, le pire échelon sur cette échelle consiste à perdre 100 % des saumons dans une rivière en comportant un très grand nombre.

biologiques pertinents <sup>1</sup>.

A titre d'illustration, nous donnons ici la description du premier et du dernier de ces échelons <sup>2</sup> (sachant qu'un Mile carré représente approximativement la surface perturbée par l'installation d'une centrale) :

Echelon 0  
(meilleur échelon)

Perte complète d'1 Mile carré de terre consacrée à l'agriculture ou entièrement urbanisée. Aucune perte de biotopes spécifiques.

Echelon 8  
(pire échelon)

Perte complète d'1 Mile carré de forêt adulte et non exploitée et/ou de marais et/ou de biotopes spécifiques à des espèces en danger.

C'est l'ensemble des 9 échelons de l'échelle E<sub>3</sub> qui constitue la dimension d<sub>3</sub>.

**Axe n° 4 : Impact socio-économique :** Pour les mêmes raisons que pour l'axe n° 3, les auteurs de l'étude U ont retenu une dimension correspondant à une échelle qualitative à 8 échelons.

A titre d'illustration, nous donnons ici la description des deux échelons extrêmes <sup>3</sup>.

Echelon 0  
(meilleur échelon)

Région urbaine, population d'au moins 100 000 habitants. Pas d'impact significatif.

<sup>1</sup> Pour une analyse approfondie des problèmes liés à ce genre d'échelles, nous renvoyons à Keeney (1981).

<sup>2</sup> Pour plus de précisions, nous renvoyons à Keeney et Nair (1976) et à Keeney et Robillard (1977).

<sup>3</sup> Rappelons que cet axe vise à prendre en compte les perturbations de l'équilibre socio-économique engendrées par la centrale. La meilleure situation correspond alors à l'absence de perturbations.

Echelon 7  
(pire échelon)

Site situé loin d'une ville de 10 000 habitants. De nombreux impacts à attendre en raison de la venue d'un très grand nombre d'ouvriers. Les infrastructures existantes permettent au début un développement rapide mais se révéleront insuffisantes pour faire face à cette croissance. Des déséquilibres importants dans les finances locales sont à prévoir. Ecartis importants entre encaissements et décaissements. La taille de la ville et sa capacité d'emprunt ne permettront pas d'éviter une période de dépression.

De même que précédemment, c'est l'ensemble des 8 échelons de l'échelle E<sub>4</sub> qui constitue la dimension d<sub>4</sub>.

**Axe n° 5 : Impact esthétique :** La dimension d<sub>5</sub> mesure la longueur (exprimée en Miles) des lignes à haute tension (nécessaires pour raccorder la centrale au réseau) qui porteront atteinte à l'environnement si la centrale est installée.

**Axe n° 6 : Coût :** Les auteurs de l'étude U ont considéré que les coûts occasionnés par la construction et l'exploitation d'une centrale sur un site quelconque a pouvaient être analysés par référence à ceux relatifs au site le plus économique a<sub>2</sub>. La dimension d<sub>6</sub> reflète un coût différentiel annuel (exprimé en millions de Dollars de 1985) en faisant l'hypothèse d'une durée de vie de 30 ans pour la centrale, le taux d'actualisation retenu étant de 8,4 % <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Les coûts sont supposés correspondre à un type standard de construction que l'on n'envisage pas de remettre en cause pour, par exemple, augmenter la sécurité.

### 9.2.4 Evaluation des distributions de probabilités

On a vu, au paragraphe précédent, que les auteurs de l'étude U ont retenu 6 dimensions  $^1$  ( $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ ) pour repérer les conséquences de l'implantation d'une centrale sur un site. L'étape suivante, dans le cadre du modèle de la théorie de l'utilité es-pérée, consiste à apprécier, sous la forme d'une distribution de probabilités sur  $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_6$ , les conséquences de l'implantation d'une centrale sur un site donné.

Les auteurs de l'étude U ont admis que, sur un site donné, les distributions de probabilités sur chacune des dimensions pouvaient être considérées comme indépendantes. On a donc, pour tout site potentiel  $a$  et pour tout élément  $\underline{e} \in E_1 \times E_2 \times \dots \times E_6$  :

$$\delta^*(\underline{e}) = \prod_{i=1}^6 \delta_i^*(e_i),$$

$e_i$  désignant la  $i^{\text{ème}}$  composante de  $\underline{e}$  et  $\delta_i^*$  étant la distribution marginale de  $\delta^*$  sur  $E_i$ .

On cherche alors à évaluer, pour chacune des 6 dimensions retenues, 9 distributions de probabilités correspondant à chacun des 9 sites.

— *Dimensions  $d_1$  et  $d_5$*  : Les auteurs de l'étude U ont retenu, sur ces deux dimensions et pour tous les sites, des distributions de probabilités dégénérées affectant une probabilité 1 à un échelon bien défini. Les évaluations sont de ce fait ponctuelles  $^2$ . Chaque site  $a \in A$  est ainsi repéré, sur ces deux dimensions, par deux valeurs certaines  $^3$  dont l'évaluation a fait appel à des comptages

<sup>1</sup> dont la dimension "composite"  $d_2$ ,

<sup>2</sup> Cf. 1.5 et MMCAD, chapitre 8.

<sup>3</sup> D'un point de vue formel, pour chaque site  $a$ , on définit deux distributions de probabilités  $\delta_i^*(a)$  et  $\delta_5^*(a)$  telles que, pour  $i = 1, 5$  et pour tout  $e \in E_i$  :  $\delta_i^*(e) = 1$  si  $e = \gamma_i(a)$  et  $\delta_i^*(e) = 0$  sinon.

sur des cartes :

•  $\gamma_i(a)$  : valeur d'un indice de santé-sécurité pour les populations au voisinage du site  $a$  ;

•  $\gamma_5(a)$  : longueur, en Miles, des lignes à haute tension qui porteront atteinte à l'environnement si une centrale est bâtie sur le site  $a$ .

— *Dimensions  $d_3$  et  $d_4$*  : L'évaluation des sites sur ces deux dimensions fait appel à des avis d'experts (biologistes pour  $d_3$ , économistes urbains pour  $d_4$ ). Sur la dimension  $d_3$ , on a demandé à chaque expert de déterminer, pour chaque site, deux échelons consécutifs de l'échelle  $E_3$  encadrant, selon eux, l'impact biologique de l'installation d'une centrale sur ce site. L'échelle  $E_3$  a 9 échelons et donc 8 intervalles entre échelons consécutifs. La distribution de probabilités associée à un site donné sur la dimension  $d_3$  n'est autre que la distribution de fréquences des avis d'experts sur les 8 intervalles. On a procédé de même sur la dimension  $d_4$ .

— *Dimension  $d_6$*  : Sur cette dimension, la distribution de probabilités associée à chaque site (à l'exception du site  $a_2$  supposé être le plus économique) a été supposée gaussienne  $^1$ . Des experts ont estimé, pour chaque site  $a \in A \setminus \{a_2\}$ , une évaluation moyenne  $\bar{x}_6(a)$  l'écart-type de la distribution étant alors exprimé comme une fraction de cette moyenne, en l'occurrence 1/4. Sur cette dimension qui correspond à un coût différentiel par rapport à  $a_2$ , l'évaluation de  $a_2$  vaut 0 avec certitude.

— *Dimension  $d_2$*  : De part sa nature "composite", cette dimension est plus complexe que les précédentes. Les auteurs de l'étude U ont admis que, pour chaque site  $a \in A$  :

<sup>1</sup> La dimension  $d_6$  représentant un coût différentiel par rapport au site le plus économique  $a_2$ , cette hypothèse peut sembler critiquable. Notons par exemple que la modélisation retenue ici n'exclut pas le fait qu'un site donné puisse entraîner des coûts inférieurs au site  $a_2$ , ce qui paraît contredire la définition même de  $d_6$ . Une variable aléatoire bornée et positive semblerait ici plus adaptée. Un examen critique des options prises par les auteurs de l'étude U sera fait au 9.3.

. Le nombre de saumons vivant dans la rivière concernée (sous-dimension  $d_2'$ ) pouvait faire l'objet d'une appréciation certaine  $\gamma_2(a)$  dont l'évaluation a fait appel à des avis d'experts.

. Le pourcentage de saumons détruits (sous-dimension  $d_2''$ ) pouvait se modéliser sous la forme d'une distribution de probabilités gaussienne<sup>1</sup>. Des experts ont alors estimé, pour chaque site  $a \in A$ , la moyenne  $\bar{\gamma}_2(a)$  de cette distribution, son écart-type étant alors apprécié comme une fraction de cette moyenne, en l'occurrence 1/2.

L'évaluation des 9 sites sur les 6 dimensions est donnée au tableau 9.2.1.

### 9.2.5 Détermination de la forme de la fonction d'utilité

Quelques questions ainsi que des considérations de bon sens ont conduit les auteurs de l'étude U à admettre<sup>2</sup> que :

- chaque paire de dimensions était indépendante dans l'ensemble des dimensions ;
- chaque dimension était indépendante en utilité dans l'ensemble des dimensions (cf. 4.5.2.1).

<sup>1</sup> Ici encore, cette option paraît critiquable. Notons par exemple que la modélisation retenue amène à considérer des pourcentages de pertes négatifs (création de saumons) et des pourcentages de pertes supérieurs à 100 %. S'agissant d'un pourcentage, une variable aléatoire sur l'intervalle ]0 ; 1[ semblerait s'imposer.

<sup>2</sup> Rappelons (cf. 1.7 et 2.4) que le mot "admettre" peut ici s'entendre de deux façons distinctes :

- soit en supposant que le système de préférences tel qu'il existe de façon plus ou moins latente jouit de ces propriétés ;
- soit en supposant que le système de préférences tel qu'on veut le bâtir peut être raisonné dans le cadre de ces propriétés que rien ne permet d'infirmer. Telle que l'étude U est présentée et justifiée, il semble que ses auteurs aient plutôt penché pour la première interprétation.

**Tableau 9.2.1 :** Evaluation des distributions de probabilités dans l'étude U

	$d_1$	$d_1'$	$d_1''$	$d_2$	$d_2'$	$d_2''$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$
$a_1$	0,057	75	8	1-2:0,9 2-3:0,1	1-2:0,2 2-3:0,65 3-4:0,15	1	2,035			
$a_2$	0,04	75	8	1-2:0,9 2-3:0,1	1-2:0,25 2-3:0,55 3-4:0,1 4-5:0,1	1	0			
$a_3$	0,025	75	8	1-2:0,8 2-3:0,2	1-2:0,3 2-3:0,45 3-4:0,15 4-5:0,1	7	1,535			
$a_4$	0,048	5,5	15	2-3:0,2 3-4:0,8	2-3:0,2 3-4:0,5 4-5:0,3	6	1,933			
$a_5$	0,044	17	15	3-4:0,2 4-5:9,5 5-6:0,3	1-2:0,2 2-3:0,45 3-4:0,2 4-5:0,15	12	12,347			
$a_6$	0,023	5	15	3-4:0,2 4-5:0,5 5-6:0,3	2-3:0,1 3-4:0,55 4-5:0,3 5-6:0,05	1	17,713			
$a_7$	0,052	3	15	1-2:0,3 2-3:0,6 3-4:0,1	2-3:0,2 3-4:0,5 4-5:0,2 5-6:0,1	0	4,834			
$a_8$	0,011	430	1	0-1:0,1 1-2:0,5 2-3:0,4	2-3:0,1 3-4:0,4 4-5:0,4 5-6:0,1	0	10,936			

$a_3$	0,018	365	1	0-1:0,7 1-2:0,3	1-2:0,05 2-3:0,6 3-4:0,2 4-5:0,15	0	11,423
-------	-------	-----	---	--------------------	--	---	--------

Remarques :

Dimensions  $d_1$  et  $d_5$  :

Dimensions  $d_3$  et  $d_4$  :

Sous-dimension  $d'_2$  :

Sous-dimension  $d'_3$  :

Dimension  $d_6$  :

Evaluations ponctuelles  $\gamma_1(a)$  et  $\gamma_2(a)$ .  
Distribution d'avis d'experts sur les intervalles entre échelons consécutifs  $S_3$  et  $S_4$ .  
Evaluation ponctuelle du nombre de saumons (en milliers) présents dans la rivière concentrée  $\gamma_2(a)$ .  
Moyenne  $\bar{x}_2(a)$  de la distribution de probabilité gaussienne suivie par le pourcentage de saumons perdus. L'écart-type de cette distribution vaut la moitié de la moyenne.  
Moyenne  $\bar{x}_6(a)$  de la distribution de probabilités gaussienne suivie par le coût (en millions de Dollars) différentiel avec le site  $a_2$ . L'écart-type de cette distribution vaut le quart de cette moyenne. L'évaluation de  $a_2$  vaut 0 avec certitude.

D'après le résultat 4.5.1, on a alors soit <sup>1</sup> (cf. (r.4.5.2), (r.4.5.3 bis), (r.4.5.3 ter)) :

$$u(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = \sum_{i=1}^6 k_i^U u_i(e_i) \quad (\text{r.9.2.2})$$

$$\text{si } \sum_{i=1}^6 k_i^U = 1,$$

soit

<sup>1</sup> en notant  $e_2 = (e_2', e_2'') \in E_2 = E_2' \times E_2''$ . L'exposant U associé aux coefficients  $k_i$  vise à les différencier des coefficients d'importance qui seront utilisés dans l'étude S.

$$u(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = \left[ \prod_{i=1}^6 (1 + k k_i^U u_i(e_i)) - 1 \right] \cdot 1/k. \quad (\text{r.9.2.3})$$

$$\text{si } \sum_{i=1}^6 k_i^U \neq 1,$$

avec

$$\begin{aligned} u_1(e_{1*}) &= 0, u_1(e_1^*) = 1, \\ u(e_{1*}, e_{2*}, \dots, e_{6*}) &= 0, \\ u(e_1, e_2, \dots, e_6) &= 1, \\ k_i^U &\in [0; 1], \end{aligned}$$

$$k > -1 \text{ et } k \neq 0 \text{ solution de } 1 + k = \prod_{i=1}^6 (1 + k \cdot k_i^U), \quad (\text{r.9.2.4})$$

$e_{i*}$  et  $e_{i*}$  désignant respectivement la meilleur et la pire valeur sur l'échelle  $E_i$  associée à la dimension  $d_i$ .

La fonction d'utilité sera alors déterminée si l'on parvient à élaborer les 6 fonctions d'utilité partielles et les 6 coefficients  $k_i^U$  (le coefficient  $k$  s'en déduisant éventuellement par un simple calcul, cf. 4.5.3.2 et 4.5.3.3).

### 9.2.6 Fonctions d'utilité partielles

L'élaboration des fonctions d'utilité partielles  $u_1, u_3, u_4, u_5$  et  $u_6$  a été réalisée au moyen des techniques standards décrites au 4.5.3.2 <sup>1</sup> (loteries 50-50 pour  $u_1, u_3$  et  $u_6$ , probabilité variable pour  $u_3$  et  $u_4$ , les échelles sous-jacentes étant discrètes). Le cas de la fonction  $u_2$  est plus complexe.

<sup>1</sup> Le travail d'élaboration de  $u_6$  a été ici simplifié en admettant des hypothèses sur la nature de l'aversion pour le risque sur les dimensions considérées, hypothèses conduisant à spécifier une forme fonctionnelle précise pour les fonctions (cf. Pratt (1964), Keeney et Raiffa (1976, chapitre 4) et 4.5.3.2). Il en a été de même pour  $u_3$ .



On aurait pu, conceptuellement, envisager d'élaborer de la même manière la fonction  $u_2$ . Du fait de la nature composite de cette dimension, la complexité des questions posées aurait néanmoins été très grande. Un travail spécifique<sup>1</sup> a conduit à distinguer le cas des grandes rivières ( $\gamma_2(a) > 300\ 000$ ) et celui des petites rivières ( $\gamma_2(a) < 100\ 000$ ), aucune rivière moyenne n'intervenant dans l'étude. Pour les grandes rivières, il a été admis que seule la quantité de saumons perdus était à prendre en compte, c'est-à-dire que :

$$u_2(e_2) = u_2(e_2', e_2'') = f(e_2', e_2'').$$

La technique des loteries 50-50 (jointe à une hypothèse sur la nature de l'aversion pour le risque) a alors conduit à :

$$u_2(e_2) = u_2(e_2', e_2'') = 0,568 + 0,432 \cdot [0,7843 \cdot f(e_2', e_2'') - 1],$$

$e_2', e_2''$  étant exprimé en milliers de saumons.

Pour les petites rivières, on a posé :

$$u_2(e_2) = u_2(e_2', e_2'') = f(e_2') + g(e_2'') - f(e_2'')g(e_2'),$$

$f$  et  $g$  étant obtenues par la technique des loteries 50-50.

Ces fonctions d'utilité partielles sont représentées à la figure 9.2.1.

### 9.2.7 Remarque : obtention d'un tableau de performances

Notons que, en raison de l'hypothèse d'indépendance stochastique des diverses distributions de probabilités considérées, on a, pour tout site  $a \in A$  :

$$\begin{aligned} g(a) &= \sum_{e_1 \in E_1} \sum_{e_2 \in E_2} \dots \sum_{e_6 \in E_6} u(e_1, e_2, \dots, e_6) \delta_1^*(e_1, e_2, \dots, e_6) \\ &= \sum_{e_1 \in E_1} \sum_{e_2 \in E_2} \dots \sum_{e_6 \in E_6} u(e_1, e_2, \dots, e_6) \cdot \prod_{i=1}^6 \delta_i^*(e_i). \end{aligned}$$

Lorsque  $u(e_1, e_2, \dots, e_6)$  s'écrit sous la forme additive (r.9.2.2) ou sous la forme multiplicative (r.9.2.3), il est facile de montrer

<sup>1</sup> Voir Keeney et Robillard (1977).

(cf. Keeney et Raiffa (1976, p. 242)) alors que  $g(a)$  peut respectivement s'écrire :

$$g(a) = \sum_{i=1}^6 k_i u_i g_i(a) \quad (\text{forme additive}) \quad (\text{r.9.2.5})$$

et

$$g(a) = \left( \prod_{i=1}^6 (1 + k_i k_i u_i g_i(a)) - 1 \right) \frac{1}{k} \quad (\text{r.9.2.6})$$

(forme multiplicative)

avec

$$\text{où } g_i(a) = \sum_{e_j \in E_j} u_i(e_j) \delta_i^*(e_j). \quad (\text{r.9.2.7})$$

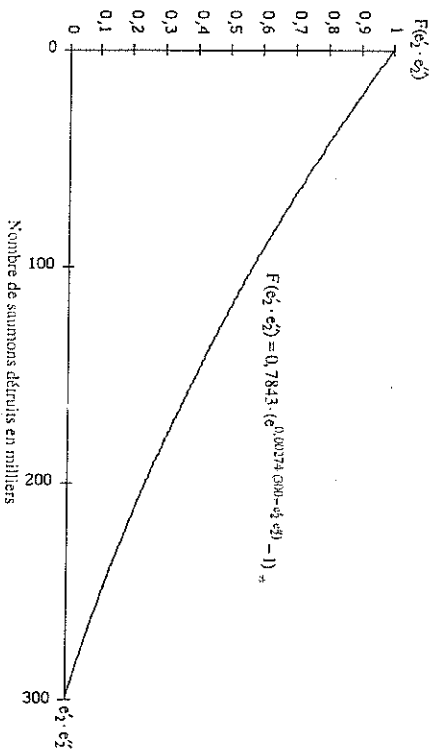
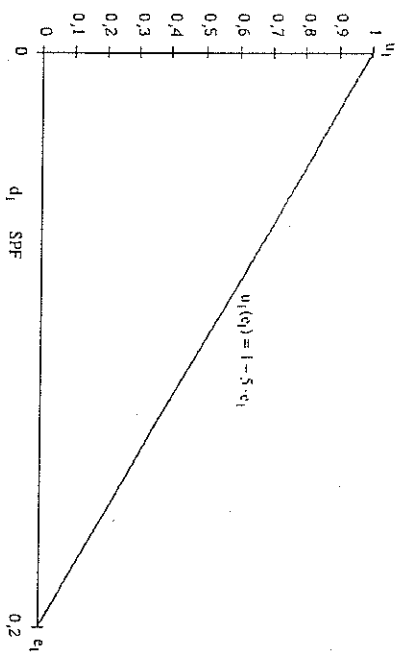
Les nombres<sup>1</sup>  $g_i(a)$  représentent donc l'espérance par rapport à la fonction d'utilité partielle  $u_i$  de la distribution de probabilités sur la dimension  $d_i$  correspondant à l'action  $a$ .

Bien qu'il ne soit pas nécessaire de faire appel à la notion de critère dans la théorie de l'utilité espérée (cf. 4.5.1), il est clair ici que les fonctions  $g_i$  jouent le rôle de vrai-critères.

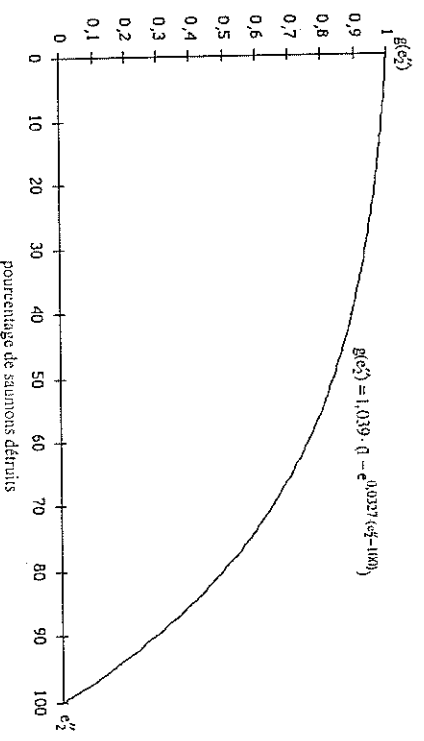
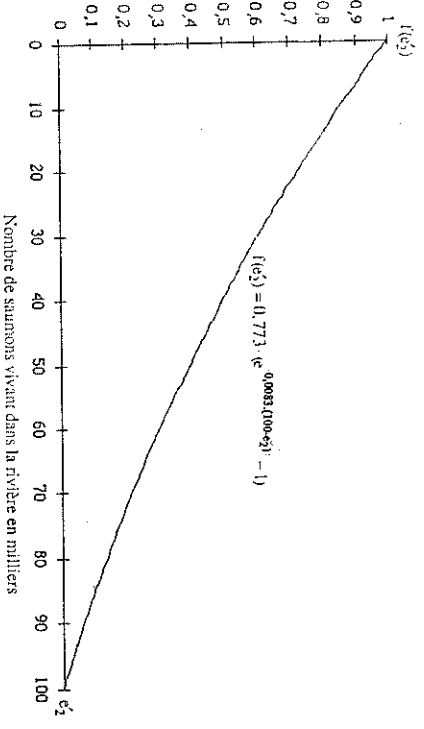
L'évaluation de ces 6 vrai-critères pour les 9 sites est donnée au tableau 9.2.2.

Le fait d'exhiber un tel tableau de performances dans l'étude U peut être utile et/ou informatif, en particulier si celui-ci révèle des cas de dominance. On constatera aisément que tel n'est pas le cas ici.

<sup>1</sup> Dans la formule (r.9.2.7), la sommation devient une intégrale lorsque la distribution  $\delta_i^*$  est continue comme c'est le cas sur les dimensions  $d_2$  et  $d_6$ .



Cas des grandes rivières  
 $u_2(e_2) = u_2(e_2', e_2') = 0,568 + 0,432 \cdot F(e_2, e_2')$   
 Figure 9.2.1 : Fonctions d'utilité dans l'étude U



Cas des petites rivières  
 $u_2(e_2) = u_2(e_2', e_2') = f(e_2) + g(e_2) = f(e_2) \cdot g(e_2)$   
 Figure 9.2.1 (suite) : Fonctions d'utilité dans l'étude U

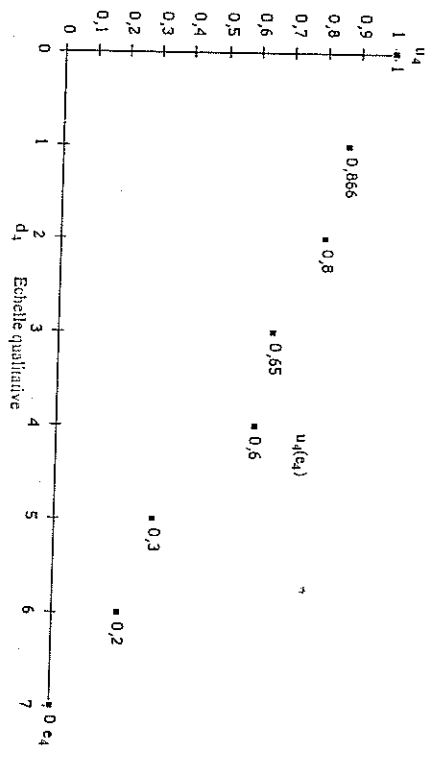
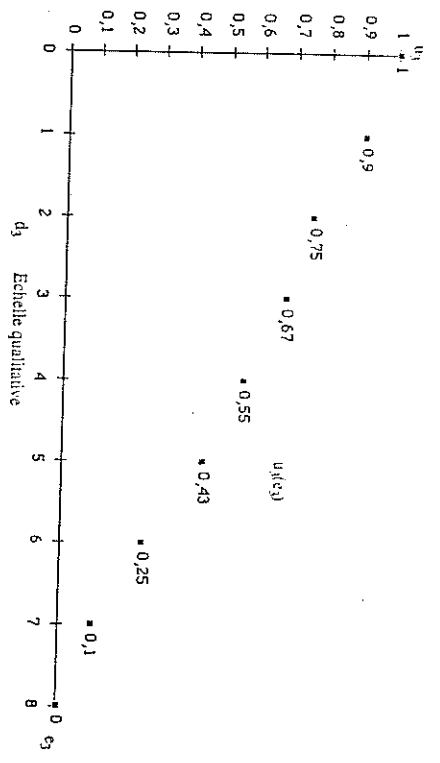


Figure 9.2.1 (suite) : Fonctions d'utilité dans l'étude U

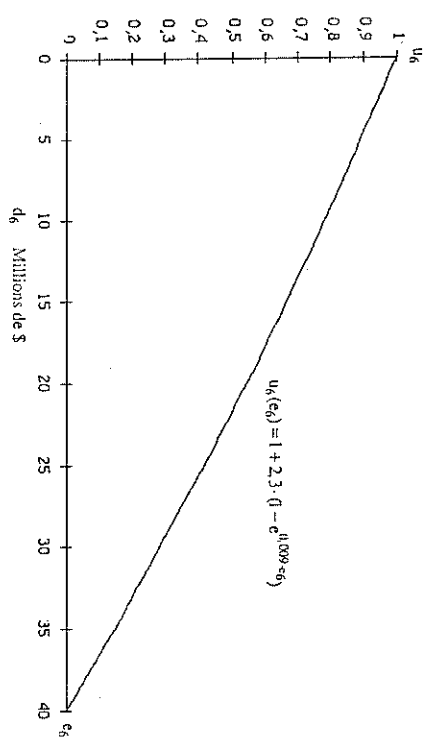
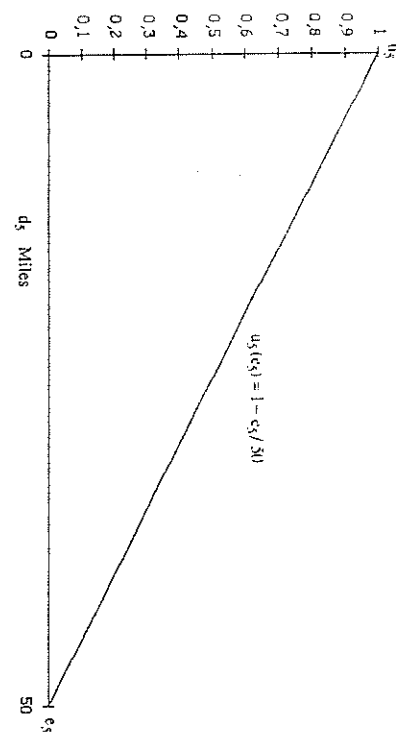


Figure 9.2.1 (suite) : Fonctions d'utilité dans l'étude U

Tableau 9.2.2 : Tableau de performances dans l'étude U

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$
1	0,71500	0,98953	0,81350	0,73160	0,98000	0,95746
2	0,80000	0,98953	0,81350	0,71450	0,98000	1,00000
3	0,87500	0,98953	0,80200	0,71490	0,86000	0,96799
4	0,76000	0,99782	0,63000	0,59250	0,88000	0,95961
5	0,78000	0,99359	0,46900	0,68535	0,76000	0,72868
6	0,88500	0,99801	0,46900	0,56375	0,98000	0,60035
7	0,74000	0,99880	0,73450	0,57250	1,00000	0,89759
8	0,94500	0,99099	0,79150	0,52750	1,00000	0,76134
9	0,91000	0,99235	0,91250	0,66915	1,00000	0,75012

Remarques :

- La préférence croît avec les valeurs pour tous les critères.
- Les calculs de  $G_2$  et  $G_6$  ont été effectués sachant que

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} e^{\lambda x} dx = e^{\lambda\mu + \frac{\sigma^2\lambda^2}{2}}$$

(Notons que ce mode de calcul justifie les critiques que l'on peut faire au choix d'une distribution normale, l'intégrale étant ici prise de  $-\infty$  à  $+\infty$ ).

- Les calculs de  $G_3$  et  $G_4$  ont été effectués en affectant, à chaque intervalle entre deux échelons consécutifs, une utilité égale à la moyenne de l'utilité des deux échelons.

### 9.2.8 Evaluation des coefficients $k_i^U$

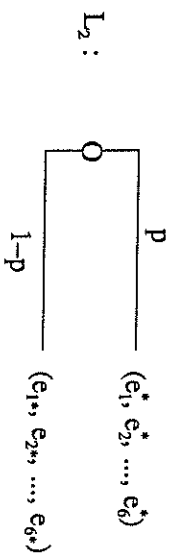
Pour achever de caractériser le système de préférences dans l'étude U, il faut obtenir une valeur pour les coefficients  $k_i^U$  et en déduire, si leur somme est différente de 1, la valeur de  $k$  en résol-

vant l'équation <sup>1</sup> (r.9.2.4) conformément à ce qui a été dit au 4.5.3.3.

Au sein du modèle de la théorie de l'utilité espérée, l'évaluation des coefficients  $k_i^U$  intervenant dans la décomposition de la fonction d'utilité globale s'opère au travers de comparaisons de loteries, de même que pour l'élaboration des fonctions d'utilité partielles  $u_j$  (cf. 4.5.3.3).

Notons  $e_j^*$  et  $e_{j*}$  les valeurs respectives utilisées pour caler la fonction d'utilité partielle entre 0 et 1. On a  $u_j(e_{j*}) = 0$  et  $u_j(e_j^*) = 1$ . Considérons les deux loteries multidimensionnelles suivantes. La première,  $L_1$ , est une loterie dégénérée conduisant avec certitude au site fictif ayant les pires évaluations sur toutes les dimensions, sauf sur la dimension  $j$  où son évaluation est  $e_j^*$ . La seconde loterie,  $L_2$ , met en jeu un second site fictif ayant pour évaluation soit le maximum possible sur toutes les dimensions avec une probabilité  $p$ , soit le minimum possible sur toutes les dimensions avec une probabilité  $(1-p)$ .

$$L_1 : (e_{1*}, e_{2*}, \dots, e_j^*, \dots, e_{n*})$$



L'espérance d'utilité de  $L_2$  est égale à  $p$ . Dans la forme multiplicative comme dans la forme additive, l'utilité de la loterie  $L_1$  est égale à  $k_j^U$ . Si l'on peut trouver une probabilité  $p$  assurant l'indifférence entre ces deux loteries, on pourra poser  $k_j^U = p$  (cf. 4.5.3.3).

<sup>1</sup> Cette équation en  $k$  est de degré 6. Cependant, elle admet, en général, une seule racine réelle différente de 0 et supérieure à -1. Sur ce point, voir Keeney et Raiffa (1976).

En itérant la procédure, on peut donc, en principe, obtenir de la sorte 6 coefficients  $k_1^U$  et en déduire éventuellement  $k$ .

A la différence des comparaisons de loteries nécessaires pour élaborer les fonctions d'utilité partielles, celles devant être effectuées à ce niveau font intervenir des sites fictifs se différenciant sur plus d'une dimension. Même si l'on a recours, pour l'élaboration de la probabilité  $p$ , à des techniques de questionnement sophistiquées, on ne peut que constater la difficulté de prendre en considération de tels sites fictifs irréalistes. Pour tenter de contourner cet obstacle, les auteurs de l'étude  $U$  ont eu recours à une procédure d'évaluation indirecte comprenant :

- un classement des coefficients  $k_1^U$  ;
- une évaluation de taux de substitution ;
- une évaluation des coefficients  $k_1^U$ .

#### a) Classement des coefficients $k_1^U$

Avant de passer directement à une élaboration numérique des coefficients  $k_1^U$ , on procède à un classement de ceux-ci, ce qui permet d'éviter les incohérences lors des étapes ultérieures. Considérons le site fictif ayant pour évaluation  $(e_{1*}, e_{2*}, \dots, e_{i*}, \dots, e_{6*})$ . Son utilité, tant dans la forme additive que multiplicative, vaut  $k_1^U$  (cf. 4.5.3.3).

On pose alors au "décideur"<sup>1</sup> la question suivante : "Considérons un site fictif ayant, sur toutes les dimensions, la plus mauvaise évaluation avec certitude. Si vous en aviez la possibilité, sur quelle dimension préféreriez-vous passer de la pire évaluation à la meilleure ?"<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rappelons que, dans l'étude  $U$ , c'est en fait l'équipe d'étude qui a eu à répondre à ces questions.

<sup>2</sup> Même si cette question fait intervenir des sites fictifs irréalistes, elle ne porte pas sur des loteries et semble plus "simple" que celle nécessaire pour élaborer directement les coefficients  $k_1^U$ .

Supposons qu'une dimension soit choisie. On repose alors la même question en supposant que l'on ne peut jouer sur la dimension qui vient d'être choisie et ainsi de suite. Dans l'étude  $U$ , ce processus a donné les relations :

$$\begin{aligned} & (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}) P (e_{1*}^*, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}), \\ & (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}) P (e_{1*}, e_{2*}^*, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}), \\ & (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}) P (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}^*, e_{6*}), \\ & (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}) P (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}^*), \\ & (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}) P (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}). \end{aligned}$$

Tant dans la forme additive que multiplicative, ces relations conduisent à :

$$k_6^U > k_1^U > k_2^U > k_4^U > k_3^U > k_5^U.$$

#### b) Evaluation de taux de substitution

Avant de passer directement à une comparaison portant sur les 6 dimensions à la fois, on essaie d'obtenir des taux de substitution. Sachant que  $k_6^U > k_1^U$ , on doit avoir :

$$(e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}^*) P (e_{1*}, e_{2*}, e_{3*}, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}).$$

Comme le permettent les hypothèses d'indépendance sous-tendant la forme additive ou multiplicative de la fonction d'utilité,  $e_{2*}^0, e_{3*}^0, e_{4*}^0, e_{5*}^0$  sont des valeurs fixées quelconques. On cherche alors à questionner le décideur sur la valeur  $e_4^*$  pour laquelle il estime :

$$(e_{1*}^*, e_{2*}^0, e_{3*}^0, e_{4*}, e_{5*}, e_{6*}^*) I (e_{1*}, e_{2*}^0, e_{3*}^0, e_{4*}, e_{5*}^0, e_{6*}^0).$$

Rappelons que l'on a  $e_1^* = 0, e_6^* = 0$  et  $e_{6*} = 40$  (cf. figure 9.2.1).

Après réflexion, le décideur a admis l'indifférence entre le couple  $(0; 40)$  et  $(0,2; 5)$  sur les dimensions 1 et 6, les valeurs sur les autres dimensions étant fixées. En d'autres termes, le décideur était prêt à augmenter le coût de la centrale de 35 millions de Dollars afin de passer d'une région à forte densité de population à une région inhabitée.

La dimension 6 étant prise pour dimension de référence, on obtient de la sorte 4 autres taux de substitution tout en procédant à des questions de contrôle. L'information ainsi obtenue est résumée dans la figure 9.2.2.

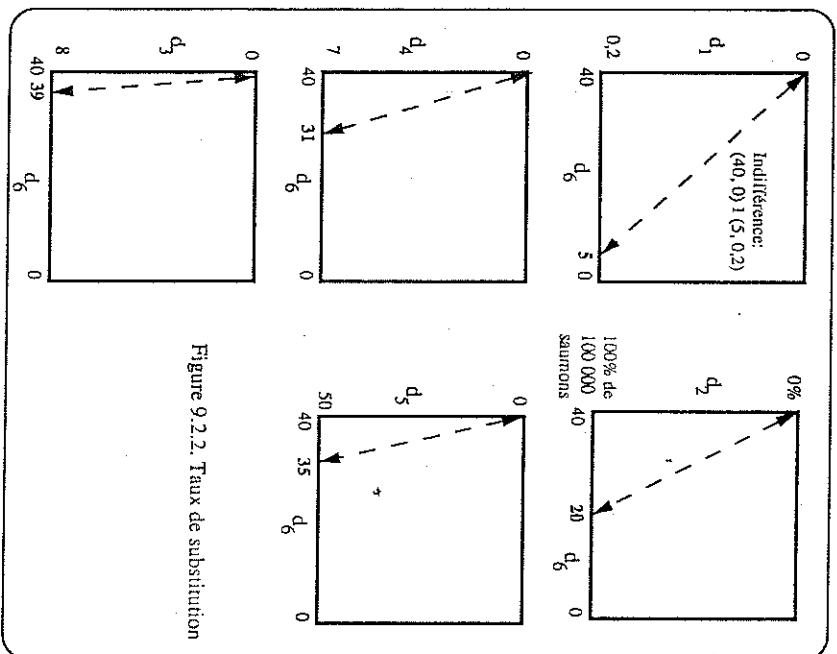
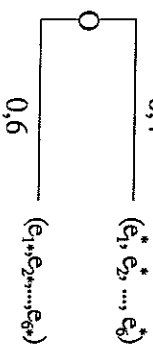


Figure 9.2.2. Taux de substitution

c) Evaluation des coefficients  $k_i^U$

Sur la base de ce qui précède, on peut se contenter d'évaluer directement un seul des coefficients  $k_i^U$ . Cette évaluation concerne la dimension de référence choisie au b) qui correspond au plus grand des  $k_i^U$ . Après tâtonnements, il a été estimé que :

$$(e_1^*, e_2^*, e_3^*, e_4^*, e_5^*, e_6^*) I$$



On en déduit  $k_6^U = 0,4$ .

Les taux de substitution obtenus au b) permettent alors de tirer, de la valeur de  $k_6^U$ , tous les autres  $k_i^U$ . En effet, on a, pour  $i = 1, 2, \dots, 5$  :

$$(e_i^*, e_6^*) I (e_i^*, e_6^*)$$

quelles que soient les valeurs  $e_j^0$  fixées sur les dimensions  $j$  autres que  $i$  et 6.

En posant  $e_j^0 = e_j^*$ , pour  $j \neq i$  et  $j \neq 6$ , on a, tant dans la forme additive que multiplicative,  $k_i^U = u_6(e_i^0)$  où la valeur de  $e_i^0$  est fixée par la figure 9.2.2.

Les fonctions d'utilité partielles de la figure 9.2.1 permettent de calculer  $u_6(e_i^0)$  pour  $i = 1, 2, \dots, 5$ .

On obtient après calcul <sup>1</sup> :

$$k_1^U = 0,358 ; k_2^U = 0,218 ; k_3^U = 0,013 ; k_4^U = 0,104 ; k_5^U = 0,059 ; k_6^U = 0,4.$$

On constate que  $\sum_{i=1}^6 k_i^U = 1,152 \neq 1$ , ce qui est regardé comme une justification du choix de la forme multiplicative <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> On retiendra dans ce qui suit ces valeurs approximatives données par Keeney et Nair (1976).

<sup>2</sup> Cf. Keeney (1974) et 4.5.3.

L'équation  $1 + k = \prod_{i=1}^6 (1 + k \cdot k_i^U)$  admet une racine réelle unique différente de 0 et supérieure à -1. Un calcul simple permet de trouver  $k = -0,33166$ <sup>1</sup>.

### 9.2.9 Elaboration de la recommandation

On a, d'après (r.9.2.6) :

$$g(a) = \prod_{i=1}^6 (1 + k \cdot k_i^U \cdot g_i(a)) - \prod_{i=1}^6 \frac{1}{k}$$

Les valeurs de  $k$  et des  $k_i^U$  sont données à la section précédente et les valeurs des  $g_i(a)$  au tableau 9.2.2. On peut donc obtenir simplement le nombre  $g(a)$  et, conformément aux principes du vrai-critère, préordonner totalement les sites sur cette base :

$$b \text{ P } a \Leftrightarrow g(b) > g(a),$$

$$b \text{ I } a \Leftrightarrow g(b) = g(a)$$

et en déduire la recommandation<sup>2</sup>.

Les résultats de l'étude U sont résumés au tableau 9.2.3<sup>3</sup>.

Le classement des sites obtenu est un ordre total (cf. 1.4.2 a)).

<sup>1</sup> Cette valeur est différente de celle, très approximative (-0,325), donnée par Keeney et Nair (1976). Les résultats étant sensibles à cette valeur, nous retiendrons la valeur -0,33166 dans tout ce qui suit.

<sup>2</sup> Rappelons que rien n'oblige à utiliser les données du tableau 9.2.2. On aurait pu aussi bien faire directement usage de (r.9.2.1) et (r.9.2.3) avec les données du tableau 9.2.1.

<sup>3</sup> Les résultats figurant dans ce tableau sont ceux que nous avons obtenus en effectuant les calculs à partir des données publiées dans les articles cités. Ils diffèrent quelque peu de ceux donnés par Keeney et Nair (1976, tableau 6).

Tableau 9.2.3 : Classement des sites dans l'étude U

Rang	Site	$g(a)$
1	$a_3$	0,926
2	$a_2$	0,920
3	$a_1$	0,885
4	$a_4$	0,883
5	$a_8$	0,872
6	$a_9$	0,870
7	$a_7$	0,862
8	$a_5$	0,813
9	$a_6$	0,804

Une analyse de sensibilité a été conduite pour tester la robustesse de ce classement. Elle a concerné :

- une modification des valeurs des  $k_i^U$ , chaque  $k_i^U$  variant séparément, l'ordre des coefficients restant inchangé ;
- une modification des valeurs de  $\bar{x}_6(a)$  : augmentation des coûts différentiels moyens de 20 % et 50 % ;
- une modification du rapport moyenne/écart-type pour  $d_6$  qui passe de 1/4 à 1/2 ;

- une modification des valeurs de  $\bar{x}_2(a)$  (moyenne de la perte de saumons).

On constate une stabilité quasi-totale du classement face à ces modifications.

Notons néanmoins que les auteurs de l'étude U n'ont testé chacune de ces modifications que "toutes choses égales par ailleurs" en n'étudiant pas l'impact simultané de plusieurs modifications. Cette analyse de sensibilité reste donc distincte d'une véritable analyse de robustesse (cf. 5.4.4).

Rappelons que l'objectif du WPPSS en demandant cette étude, était de retenir parmi les 9 sites, ceux qui auraient la plus grande chance d'être acceptés par l'autorité administrative pour la construction d'une centrale. Le WPPSS était intéressé par deux types d'informations :

- les sites que l'on pouvait, à l'issue de cette phase d'étude, éliminer de toute considération ultérieure, faisant apparaître de bonnes raisons pour être rejetés ;
- parmi les sites restants qui feront tous l'objet d'études plus approfondies, ceux dont on pense qu'ils sont nettement supérieurs aux autres.

Il résulte du tableau 9.2.3 et de l'analyse de sensibilité qu'il est justifié de recommander :

- d'éliminer les sites  $a_5$  et  $a_6$  ;
- de retenir les sites  $a_3$  et  $a_2$  tout en conservant les sites  $a_1$  et  $a_4$  qui se situent juste derrière ;
- de laisser de côté les sites  $a_8$ ,  $a_9$  et  $a_7$ , qui se situent en milieu de classement.

### 9.3 LE TRAVAIL EN LABORATOIRE : L'ÉTUDE S

#### 9.3.1 Actions potentielles, problématique et axes de signification

Compte-tenu des conditions de notre travail en laboratoire, nous avons été conduits :

- à accepter l'ensemble des 9 sites retenus par les auteurs de l'étude U ;
- à adopter une problématique de rangement (P. $\gamma$ ) pour rester conforme à ce qui a été fait dans l'étude U ;
- à retenir les mêmes 6 axes de signification que dans l'étude U en supposant qu'ils nous sont imposés par nos interlocuteurs du WPPSS.

Les auteurs de l'étude U, on l'a vu au 9.2, ont retenu un modèle de préférences globales fondé sur un critère unique de

synthèse (PAMC de type I, cf. 4 et 5.1). Nous avons, dans l'étude S, retenu un modèle de préférences globales non fondé sur un critère unique de synthèse (PAMC de type II, cf. 5.1). Compte-tenu de la problématique retenue, la PAMC ELECTRE III nous a semblé la plus appropriée (cf. 6.1.5).

L'étude S nous a alors conduits, sur la base du travail effectué par les auteurs de l'étude U, à :

- associer, à chaque axe de signification, un ou plusieurs pseudo-critères ;
- déterminer les informations inter-critères nécessaires à l'utilisation de la PAMC ELECTRE III (indices d'importance et seuils de veto) ;
- élaborer une recommandation après analyse de robustesse.

Ce sera l'objet des trois paragraphes suivants.

#### 9.3.2 Elaboration des critères

Pouvoir comparer deux actions quelconques, toutes choses égales par ailleurs, selon chacun des axes de signification considérés constitue un préalable pour la PAMC ELECTRE III<sup>1</sup>. Les axes de signification doivent précisément être conçus de telle sorte que les comparaisons faites avec ce genre de restrictions constituent un point de départ convenable pour asseoir les rapports que l'homme d'étude a pour mission d'établir entre les intervenants (éventuellement décideurs) qu'il est censé aider et ce qui leur apparaît être la réalité. Le système de préférences de ces intervenants n'étant pas nécessairement complètement structuré, l'existence et la définition des critères  $g_i$  ne peuvent pas être de

<sup>1</sup> Notons que, en théorie, il n'en va pas de même pour la PAMC issue de la théorie de l'utilité espérée où une telle comparaison toutes choses égales par ailleurs implique d'accepter une hypothèse d'indépendance en utilité sur chaque dimension. La théorie prévoit des "tests" destinés à en vérifier le réalisme. De tels tests n'ont cependant de sens que par rapport à un système de préférences pré-existant et suffisamment bien structuré. En-dehors de ce cas, l'indépendance au sens des utilités apparaît alors comme une hypothèse de travail pour structurer des préférences.



simples conséquences de propriétés observables d'un système de préférences. Ces critères méritent en particulier d'être définis en fonction de la nature des informations disponibles ayant trait à chaque axe de signification et en tenant le plus grand compte des facteurs d'imprécision, d'incertitude, d'indétermination qui affectent ces informations. Rien ne s'oppose bien évidemment à ce que tel ou tel critère prenne la forme d'une espérance mathématique d'utilité. Dans bien des cas, on pourra estimer que le concept de lois de probabilités ne permet pas de saisir ces facteurs dans toute leur étendue. De plus, le cadre du vrai-critère peut paraître trop étroit et insuffisamment nuancé pour décrire les conclusions de telles comparaisons. Dans l'étude S, on est conduit à substituer des pseudo-critères aux vrai-critères implicitement utilisés dans l'étude U.

On a rappelé au 1.6 la démarche que nous aurions suivie pour bâtir des critères si nous avions eu à réaliser l'étude dans la réalité. Cette démarche repose sur une analyse des conséquences associées à un axe de signification et sur notre capacité à les décrire, soit par un seul nombre (constituant ce que nous appelons une évaluation ponctuelle), soit par plusieurs nombres (constituant une évaluation non ponctuelle), chacun de ces nombres pouvant être affecté d'un indice de vraisemblance ayant par exemple la signification d'une probabilité. Cette analyse n'a pu être entreprise ici que très imparfaitement au travers de la description des conséquences établies pour l'étude U. C'est ce travail d'élaboration des critères dans l'étude S que nous allons présenter maintenant.

#### Axe n° 1 : Santé-sécurité

Les auteurs de l'étude U ont associé, à cet axe de signification, une dimension  $d_1$  correspondant à un indice officiel de mesure de la "densité humaine" autour d'un site. A chaque site  $a \in A$ , ils ont fait correspondre une évaluation ponctuelle  $\gamma_1(a)$ .

Dans l'étude S, il est naturel de poser  $g_1(a) = \gamma_1(a)$ . Cependant,  $\gamma_1(a)$  paraît entaché d'erreur et d'arbitraire. Ce nombre résulte en effet d'une opération de "ponctualisation" ayant pour objet de résumer en un seul nombre une distribution caractérisant

un nombre de personnes situées à des distances de plus en plus grandes du site. Or, cette distribution est appelée à évoluer. La forme de l'opérateur de ponctualisation n'est pas la seule concevable. La manière même de l'appliquer prête à variation. Il nous a, dans ces conditions, semblé légitime d'adopter des seuils de dispersion par excès et par défaut servant à délimiter la zone de mauvaise détermination autour de  $\gamma_1$ . On les a posés tous deux égaux à  $0,10 \cdot \gamma_1$ . On en déduit alors simplement (cf. MMCAD, chapitre 9 et 1.6.3, cf. (r.1.6.6)) les seuils d'indifférence et de préférence caractérisant le pseudo-critère  $g_1(a)$  :

$$q_1(g_1(a)) = 0,1 \cdot \gamma_1(a), p_1(g_1(a)) = 0,222 \cdot g_1(a).$$

#### Axe n° 2 : Perte de saumons

On a vu que les auteurs de l'étude U ont associé une dimension composite à cet axe de signification ( $d_2 = (d_2', d_2'')$  avec  $d_2'$  : nombre total de saumons vivant dans la rivière et  $d_2''$  : pourcentage de saumons détruits après installation de la centrale). Ils ont ensuite effectué une étude complexe pour déterminer une fonction d'utilité  $u_2(e_2', e_2'')$  dont la forme dépend de la taille de la rivière en cause.

Si nous avions eu à réaliser l'étude S autrement qu'en laboratoire, il est probable que nous ne nous serions pas livrés à une analyse aussi complexe pour définir le critère  $g_2$ . On est d'autant plus fondé à s'interroger sur la portée du travail des auteurs de l'étude U que :

- d'une part les lois de probabilité sur cette dimension composite n'ont pas été définies avec un soin comparable <sup>1</sup> à celui mis pour asseoir la fonction d'utilité  $u_2$  ;
- d'autre part les valeurs de  $g_2(a)$  données au tableau 9.2.2, qui ordonnent les 9 sites exactement comme l'aurait fait l'espérance du nombre de saumons perdus, paraissent assez mal refléter

<sup>1</sup> Rappelons les critiques faites au 9.2.4 sur le choix d'une distribution de probabilités gaussienne sur le pourcentage de saumons détruits.

les principes qualitatifs posés au départ de l'analyse (cf. tableaux 9.2.1 et 9.2.2).

Nous aurions, pour notre part, cherché à mieux comprendre pourquoi, étant donné deux rivières comptant exactement  $y$  et  $y'$  saumons, il pouvait être plus préjudiciable d'en détruire un nombre  $q$  dans la première, supposée ici la moins poissonneuse, plutôt qu'un nombre légèrement plus élevé  $q'$  dans la seconde. Prenant ensuite appui sur des considérations d'ordre qualitatif, nous aurions cherché à relier  $q'$  à  $q$ ,  $y$  et  $y'$  de telle sorte que les préjudices causés dans les deux rivières soient du même ordre. On aurait par exemple pu examiner si une formule simple du type  $q' = q (y'/y)^\alpha$  était susceptible de rendre compte (moyennant une valeur convenablement choisie de  $\alpha$  entre 0 et 1) d'avis d'experts portant sur des cas de préjudices équivalents. Ceci aurait conduit à poser  $g_2(a) = q(a)/y(a)^\alpha = q'(a)y'(a)^\alpha$  pour un site  $a$  affectant une rivière contenant  $y(a)$  saumons dont exactement  $q(a)$  serait perdu après l'installation de la centrale. En notant  $x(a) = q(a)/y(a)$  le pourcentage de saumons détruits, on aurait alors :

$$g_2(a) = x(a) \cdot y(a)^{(1-\alpha)}$$

Ne disposant que du seul travail effectué par les auteurs de l'étude U, il nous a paru possible de définir le critère  $g_2$  sur la base de la formule ci-dessus tout en adoptant deux versions de ce critère correspondant respectivement à :

$$\alpha = 1/2 : g_2'(a) = \bar{x}_2(a) \sqrt{y_2(a)},$$

$$\alpha = 0 : g_2''(a) = \bar{x}_2(a) \cdot y_2(a)$$

où  $\bar{x}_2(a)$  et  $y_2(a)$  sont donnés au tableau 9.2.1 et représentent respectivement :

- le pourcentage moyen de saumons perdus dans la rivière ;
- le nombre total de saumons vivant dans la rivière tel qu'estimé par les experts interrogés par les auteurs de l'étude U.

Le raisonnement qui précède a été conduit en faisant abstraction des difficultés qu'il y a, pour chaque rivière, à cerner la valeur  $y_2(a)$ . De plus, le taux  $\bar{x}_2(a)$  n'est qu'un taux moyen. La valeur élevée adoptée pour l'écart-type de la distribution de probabilités sur le pourcentage de saumons détruits et la nécessité de regarder  $y_2(a)$  comme non connue avec une précision absolue ont amené à adopter des seuils de dispersion par excès et par défaut élevés. On les a posés tous deux égaux à la moitié de la valeur concernée (quelle que soit la forme du critère). On en déduit alors, de même que précédemment (cf. (r.1.6.6)) :

$$q_2(g_2'(a)) = 0,5 \cdot g_2'(a) ; p_2(g_2'(a)) = 2 \cdot g_2'(a) ;$$

$$q_2(g_2''(a)) = 0,5 \cdot g_2''(a) ; p_2(g_2''(a)) = 2 \cdot g_2''(a).$$

*Axes n° 3 et 4 : Impact biologique et impact socio-économique*

Pour définir les dimensions  $d_3$  et  $d_4$ , les auteurs de l'étude U ont introduit deux échelles qualitatives possédant respectivement 9 et 8 échelons.

La nature de l'impact biologique ou socio-économique que chacun des intervalles entre échelons est destiné à recouvrir a été cernée à l'aide de descriptions relativement concrètes et précises des situations futures qui étaient, par définition, concernées. Pour chacun de ces deux axes et pour chaque site  $a$ , plusieurs experts ont été invités à se prononcer sur la base de tels descriptifs sur la situation future qu'ils jugeaient la plus vraisemblable dans l'hypothèse où la centrale serait installée sur le site. La proportion des votes ainsi recueillies par chaque intervalle a servi à définir des distributions de probabilités dans l'étude U.

Il est ici vraisemblable d'admettre que, devant mettre au point l'étude S dans la réalité, nous aurions procédé de façon analogue pour évaluer l'impact biologique et l'impact socio-économique des sites à étudier. L'évaluation obtenue (distribution d'avis d'experts faisant en général intervenir plus d'un intervalle de l'échelle concernée) est dite non ponctuelle. Pour définir  $g_3(a)$  comme  $g_4(a)$ , il faut choisir un seul des intervalles envisagés par les experts. Nous avons retenu l'intervalle médian, c'est-à-dire

celui qui partage le plus également la population des experts entre ceux qui sont au moins aussi optimistes et ceux qui sont au moins aussi pessimistes que cette valeur. Compte-tenu de la nature des échelles en cause et de la répartition observée des avis d'experts, il nous a paru raisonnable de retenir des seuils de discrimination constants valant respectivement :

$$q_3 = 1, p_3 = 2, \\ q_4 = 0, p_4 = 1.$$

Axe n° 5 : Esthétique

Rappelons que les auteurs de l'étude U ont associé, à cet axe de signification, une dimension  $d_5$  : "Longueur en Miles des lignes à haute tension portant atteinte à l'environnement". A chaque site  $a$ , ils ont fait correspondre une évaluation ponctuelle  $\gamma_5(a)$ .

Tout conduit à penser que, ayant à élaborer l'étude S dans la réalité, un critère associé à cet axe de signification aurait été défini en posant  $g_5(a) = \gamma_5(a)$ . Toutefois, ce nombre ne paraît pas connu avec une précision telle que l'on puisse affirmer que si deux sites  $a$  et  $b$  sont respectivement caractérisés par :

$$\gamma_5(a) = 10, \gamma_5(b) = 9,$$

le site  $b$  puisse de ce fait être regardé (toutes choses égales par ailleurs) comme significativement meilleur que le site  $a$ . L'écart de 1 Mile peut en effet ne pas sembler probant compte-tenu de l'incertitude des tracés de lignes, de la part d'arbitraire que recèle le choix des portions de lignes à prendre en considération, etc. Ne disposant pas de l'information nécessaire pour appréhender la portée de ces facteurs, nous avons admis que les nombres  $\gamma_5(a)$  étaient entachés, par excès ou par défaut, d'une erreur au moins égale à 1 Mile pour les faibles longueurs, erreur qui pouvait croître proportionnellement avec cette longueur. Il nous a semblé raisonnable de choisir un taux de croissance très faible, 3 % (un taux de 10 % n'aurait pas changé les résultats). Ceci revient à dire que  $g_5(a) = \gamma_5(a)$  est mal déterminé dans un intervalle de la forme :

$$[g_5(a) - \eta_5(g_5(a)) ; g_5(a) + \eta_5(g_5(a))]$$

$$\text{avec } \eta_5(g_5(a)) = 1 + 0,03 \cdot g_5(a).$$

On déduit alors de ces seuils de dispersion les seuils de discrimination en utilisant (r.1.6.6). On a :

$$q_5(g_5(a)) = 1 + 0,03 \cdot g_5(a), \\ p_5(g_5(a)) = 2,0618 + 0,0618 \cdot g_5(a).$$

Axe n° 6 : Coût

Les auteurs de l'étude U ont considéré que les coûts occasionnés par la construction et l'exploitation d'une centrale sur un site quelconque a pouvaient être analysés par référence à ceux relatifs au site le plus économique  $a_2$ . La dimension  $d_6$  reflète par conséquent un coût différentiel. L'évaluation de chaque site  $a$  alors été regardée comme une distribution de probabilités gaussienne de moyenne  $\bar{x}_6(a)$  et d'écart-type  $\bar{x}_6(a)/4$ . La valeur  $\bar{x}_6(a)$  a fait l'objet d'évaluations d'experts.

Ici encore, il est probable que nous aurions procédé autrement dans le cadre d'une étude réelle. Dans la mesure où ce ne sont probablement pas les mêmes acteurs qui supportent les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation, nous aurions peut-être introduit un critère pour chacun d'eux. N'ayant pas la possibilité d'analyser ces coûts dans le détail, nous nous contenterons, dans le présent travail, de poser :

$$g_6(a) = \bar{x}_6(a).$$

Faute de bases plus objectives, nous croyons pouvoir raisonner comme suit pour asseoir les seuils de discrimination. En premier lieu, les valeurs de  $x_6(a)$  qui ont été avancées supposent que les travaux et les éléments de fonctionnement qui n'entrent pas dans le coût différentiel conduiront bien aux mêmes dépenses sur le site  $a_2$  et sur un site quelconque  $a$ . Il y a évidemment là une source d'erreurs qui suffit à faire douter du fait qu'un site  $b$  est

plus économique qu'un site  $a$  lorsque  $\bar{x}_6(a) - \bar{x}_6(b)$  est faible eu égard au montant de ces dépenses supposé identique sur les deux sites. Nous avons admis que, du fait de cette seule hypothèse, le coût différentiel réel devait être regardé comme mal déterminé sur un intervalle caractérisé à partir de  $\bar{x}_6(a)$  de façon dissymétrique comme suit :

$$[\bar{x}_6(a) - 1 ; \bar{x}_6(a) + 2].$$

En second lieu, le calcul de  $\bar{x}_6(a)$  découle de l'évaluation de multiples facteurs qui, tous, concernant des suppléments de dépenses propres au site  $a$ . Or, tant que la construction n'est pas décidée, l'étude faite relativement à chaque site reste sommaire. C'est dire que ces coûts ne sont pas forcément bien tous recensés, qu'ils sont vraisemblablement chiffrés de façon assez imprécise et peut-être optimiste. La marge d'erreur qui en découle apparaît dissymétrique et d'autant plus élevée que  $\bar{x}_6(a)$  est plus grand. Les facteurs intervenant à ce niveau nous semblent être sans lien avec ceux pris en compte précédemment. Nous admettrons donc qu'il y a additivité des effets et regarderons le coût différentiel comme finalement mal déterminé dans l'intervalle :

$$[\bar{x}_6(a) - 1 - 0,1\bar{x}_6(a) ; \bar{x}_6(a) + 2 + 0,5\bar{x}_6(a)].$$

Sur la base de ces seuils de dispersion, on déduit les seuils de discrimination selon le même principe que précédemment (cf. (r.1.6.6)) :

$$q_6(g_6(a)) = 1,1 + 0,11g_6(a),$$

$$p_6(g_6(a)) = 3,33 + 0,67g_6(a).$$

On supposera cohérente la famille des 6 critères ainsi construits. L'évaluation des 9 sites sur ces 6 critères est donnée au tableau 9.3.1. Les seuils de dispersion et de discrimination sont donnés au tableau 9.3.2.

Tableau 9.3.1 : Tableau des performances dans l'étude S

	$g_1(a)$	$g_2(a)$	$g_3(a)$	$g_4(a)$	$g_5(a)$	$g_6(a)$
$a_1$	0,057	21,91	6 000	2	3	1
$a_2$	0,040	21,91	6 000	2	3	1
$a_3$	0,025	21,91	6 000	2	3	7
$a_4$	0,048	11,12	825	4	4	6
$a_5$	0,044	19,56	2 250	5	3	12
$a_6$	0,023	10,61	750	5	4	1
$a_7$	0,052	8,22	450	3	4	0
$a_8$	0,011	6,56	4 300	2	4	0
$a_9$	0,018	6,04	3 650	1	3	0

Remarques :

- La préférence décroît avec les valeurs pour tous les critères.
- Pour déterminer  $g_3$  et  $g_6$ , on a codé l'intervalle médian de  $\delta_3^*$  et  $\delta_6^*$  de la manière suivante :

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
1	2	3	4	5	6	7	8

### 9.3.3 Elaboration des informations inter-critères

Afin d'obtenir un modèle de préférences globales avec la méthode ELECTRE III, il faut élaborer deux types d'informations inter-critères (cf. 5.3.2 b) et 5.4) :

- les indices d'importance  $k_i^s$  intervenant dans les calculs de concordance ;
- les seuils de veto  $v_i(g_i(a))$  intervenant dans les calculs de discordance.

Tableau 9.3.2 : Seuils de dispersion et seuils de discrimination dans l'étude S

	$g_1$	$g_2'$ et $g_2''$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$
Seuils de dispersion par excès	$0,1 \cdot g_1(a)$	$0,5 \cdot g_2(a)$	-	-	$1 + 0,03 \cdot g_5(a)$	$2 + 0,5 \cdot g_6(a)$
Seuils de dispersion par défaut	$0,1 \cdot g_1(a)$	$0,5 \cdot g_2(a)$	-	-	$1 + 0,03 \cdot g_5(a)$	$1 + 0,1 \cdot g_6(a)$
Seuils d'indifférence	$0,1 \cdot g_1(a)$	$0,5 \cdot g_2(a)$	1	0	$1 + 0,03 \cdot g_5(a)$	$1,11 + 0,11 \cdot g_6(a)$
Seuils de préférence	$0,222 \cdot g_1(a)$	$2 \cdot g_2(a)$	2	1	$2,062 + 0,062 \cdot g_5(a)$	$3,33 + 0,67 \cdot g_6(a)$

Remarque : Tous les seuils d'indifférence et de préférence sont des seuils inverses (cf. MMCAD, 9.3.2).

#### a) Indices d'importance

Dans la PAMC ELECTRE III, les indices d'importance jouent principalement au travers du classement qu'ils induisent sur les différents critères ou groupes de critères. Si nous avions eu à effectuer l'étude dans la réalité, il est probable que c'est ce classement que nous aurions tenté d'élaborer de façon interactive avec les décideurs du WPPSS. Nous aurions ensuite cherché un ensemble de jeux d'indice d'importance compatible avec ces considérations purement ordinales (cf. 5.4.2).

N'ayant pas accès aux acteurs concernés, il nous a fallu essayer de "traduire" l'information véhiculée par la fonction d'utilité au niveau de l'importance relative des critères en termes d'indices d'importance afin de tenter de reproduire un système de valeurs comparable et ainsi garder un sens à la comparaison des résultats des deux études.

Au contraire des indices d'importance utilisés dans ELECTRE III, rappelons que les coefficients  $k_i^U$  n'ont pas, dans la PAMC issue de la théorie de l'utilité espérée, d'interprétation immédiate en termes d'importance relative des critères (cf. 3.1.5, 3.2.3 ou Keeney et Raiffa (1976), Zeleny (1982)). L'étendue de l'échelle et la forme de la fonction d'utilité partielle influent sur la valeur des coefficients  $k_i^U$ . Cette importance nous a semblé mieux reflétée par la plage de variation des différents rapports :

$$R_{ij} = \frac{\frac{\partial g}{\partial g_i}}{\frac{\partial g}{\partial g_j}} \quad i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

où  $g$  est donné par (r.9.2.6) et les  $g_i$  par (r.9.2.7). On peut interpréter  $R_{ij}$  en termes qualitatifs comme le gain nécessaire, en termes d'espérance d'utilité sur la dimension  $j$ , pour compenser une perte d'espérance d'utilité sur la dimension  $i$ .

La fonction  $g$  étant multiplicative,  $R_{ij}$  n'est pas constant. On peut toutefois trouver aisément la plage de variation possible de

$R_{ij}$  puisque  $u_i(e_i)$  et  $u_j(e_j)$  sont compris entre 0 et 1.

En utilisant les valeurs de  $k$  et des  $k_j^i$  indiquées au 9.2.8 et sachant que  $\text{Max}(R_{ij}) = 1/\text{Min}(R_{ji})$  et  $\text{Min}(R_{ij}) = 1/\text{Max}(R_{ji})$ , on donne, au tableau 9.3.3, les plages de variation des  $R_{ij}$ .

Tableau 9.3.3 : Plage de variation des  $R_{ij}$

	1	2	3	4	5	6
1		1,523 1,863	27,420 31,249	3,324 3,906	5,949 6,885	0,7763 1,0156
2			16,697 18,076	2,024 2,260	3,623 3,983	0,4727 0,5875
3				0,121 0,126	0,216 0,221	0,0282 0,0326
4					1,728 1,826	0,2255 0,2263
5						0,1276 0,1504
6						

Soit  $k_i^i$  et  $k_j^j$  les indices d'importance respectifs des critères  $i$  et  $j$ . Nous avons considéré que :

$$R_{*ij} \leq k_i^i / k_j^j \leq R_{*ij}^*$$

où  $R_{*ij}$  et  $R_{*ij}^*$  sont respectivement les bornes inférieure et supérieure de  $R_{ij}$ . A chaque case au-dessus de la diagonale du tableau donnant les valeurs de  $R_{ij}$  correspondent 2 contraintes sur les indices d'importance, soit au total  $2 \times 15 = 30$  contraintes. On peut poser de façon non restrictive  $k_6^6 = 1$  et en déduire des intervalles pour chacune des cinq autres valeurs. On a, par exemple,  $R_{56}^* = 0,1504$  et  $R_{*56} = 0,1276$ , d'où  $k_5^5 \in [0,1276 ; 0,1504]$ .

Il est apparu empiriquement non restrictif de ne considérer que les contraintes exprimées par rapport au critère 6, soit au total 10 contraintes :

$$\begin{aligned} k_1^1 &\in [0,7763 ; 1,0156] \\ k_2^2 &\in [0,4727 ; 0,5875] \\ k_3^3 &\in [0,0282 ; 0,0326] \\ k_4^4 &\in [0,2255 ; 0,2693] \\ k_5^5 &\in [0,1276 ; 0,1504]. \end{aligned}$$

Compte-tenu de l'arbitraire de la méthode et de l'imprécision des valeurs numériques, nous avons choisi de retenir, à l'intérieur de ce domaine, 8 jeux d'indices d'importance. Ces jeux sont choisis pour être les plus contrastés possible. Ils seront étudiés au cours de l'analyse de robustesse. Le coefficient  $k_6^6$  étant fixé à 1, nous avons choisi de poser  $k_3^3 = 0,03$ , ce critère étant d'importance très faible. Les 8 jeux d'indices correspondent alors à toutes les combinaisons extrêmes bornes à bornes, respectant toutefois certaines considérations qualitatives issues de l'étude U (le critère 6 est le plus important). On a alors <sup>1</sup> les 8 jeux :  $J_1, \dots, J_8$  donnés au tableau 9.3.4.

#### b) Seuils de veto

Traduisant une position qualitative et volontariste, il serait illusoire de chercher à estimer les seuils de veto  $v_j(g_j(a))$  de manière sophistiquée au travers d'études ou d'interviews. Si nous avons eu à faire l'étude dans la réalité, nous n'aurions pas procédé de manière tellement différente de ce que nous a permis de faire ici notre méthode de travail. Une fois le décideur d'accord avec les principes qualitatifs sous-tendant le caractère uniquement local de la compensation dans la PAMC ELECTRE III (cf. 5.5), on affecte une valeur numérique aux différents seuils de veto de façon pragmatique en tenant compte de l'importance relative des critères, de la répartition des évaluations des sites sur les critères, de l'amplitude des divers seuils de préférence et de ce que l'on peut savoir du systèmes de valeurs

<sup>1</sup> en étendant l'intervalle de variation sur  $k_5^5$ .

du décideur. La prise en compte de ces facteurs laisse subsister une part d'arbitraire dans le choix des valeurs numériques pour les seuils de veto. C'est pourquoi on procède généralement à une analyse de robustesse assez poussée sur ces coefficients (cf. 5.4.3 et 5.4.4).

Tableau 9.3.4 : Jeux d'indices d'importance dans l'étude S

	$k_1^s$	$k_2^s$	$k_3^s$	$k_4^s$	$k_5^s$	$k_6^s$
$I_1$	0,8	0,45	0,03	0,15	0,15	1
$I_2$	0,8	0,60	0,03	0,15	0,15	1
$I_3$	0,9	0,45	0,03	0,15	0,15	1
$I_4$	0,9	0,60	0,03	0,15	0,15	1
$I_5$	0,8	0,45	0,03	0,25	0,10	1
$I_6$	0,8	0,60	0,03	0,25	0,10	1
$I_7$	0,9	0,45	0,03	0,25	0,10	1
$I_8$	0,9	0,60	0,03	0,25	0,10	1

La PAMC de la théorie de l'utilité espérée ne faisant pas usage de l'idée de veto, il n'a pas été possible de déduire des informations disponibles des considérations qualitatives permettant de guider le choix des seuils de veto. C'est donc principalement notre propre perception du problème qui est reflétée dans ce choix, l'analyse de robustesse venant tempérer cette position. Il a semblé raisonnable (cf. 5.4.3) d'admettre que le seuil de veto sur un critère devait d'autant plus jouer que ce critère était important (l'importance d'un critère étant appréciée globalement en tenant compte des 8 jeux d'indices d'importance). En particulier, pour les trois critères les moins importants ( $G_3$ ,  $G_4$  et  $G_5$ ), ces seuils ont été choisis de manière à ne pas jouer. Sur les autres critères, il est apparu commode de raisonner les seuils de veto par référence aux seuils de préférence en posant  $v_j(G_j(a)) = \alpha_j p_j(G_j(a))$ . Compte-tenu de l'importance des divers critères et de la valeur des seuils de préférence, nous avons retenu, en

première analyse, les valeurs indiquées au tableau 9.3.5. Ces valeurs sont systématiquement modifiées au cours de l'analyse de robustesse.

Tableau 9.3.5 : Valeur des seuils de veto dans l'étude S

$v_j(G_j)$	$G_1$	$G_2$ et $G_2''$	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$
	$6p_1$	$2,5p_2$	$4p_3$	$4p_4$	$20p_5$	$1,7p_6$

Remarque : Les seuils de veto des critères  $G_3$ ,  $G_4$  et  $G_5$  ont été choisis de manière à ne pas jouer.

### 9.3.4 Elaboration de la recommandation

Conformément à ce qui a été dit au 5.3.2.2, la méthode ELECTRE III utilise l'information contenue dans le tableau des performances et les informations inter-critères pour bâtir une relation de surclassement floue (cf. (r.5.3.10), (r.5.3.11) et (r.5.3.12)) appréciant, sur une échelle de crédibilité, la proposition "le site b est au moins aussi bon que le site a". L'exploitation de cette relation s'opère au travers d'un procédé de distillation "se fondant sur les notions de "puissance" et de "faiblesse" d'une action (cf. 6.4.3). On met ainsi en évidence deux préordres totaux qui se comportent de façon opposée vis-à-vis des actions se comparant mal à un groupe d'autres actions (c'est-à-dire telle que la crédibilité du fait qu'elles sont au moins aussi bonnes que les actions de ce groupe et que ces dernières soient au moins aussi bonnes qu'elle est quasi-nulle) : l'un a tendance à les classer avant ce groupe et l'autre après.

L'intersection de ces deux préordres donne naissance à un préordre partiel mettant en évidence les actions dont la position dans le classement est mal déterminée.

Certaines des données intervenant dans l'étude S — seuils de veto, indices d'importance, seuils de discrimination — étant entachées d'une imprécision et d'un arbitraire importants dus, en partie, à notre méthode de travail mais aussi à la nature même de ces concepts, les résultats ne peuvent acquiescer de probance

qu'à l'issue d'une analyse de robustesse importante.

Celle-ci a porté sur <sup>1</sup> :

i) *Indices d'importance*

Les huit jeux du tableau 9.3.4 ont été examinés.

ii) *Seuils de veto* <sup>2</sup>

Nous avons examiné, en plus du jeu de valeurs du tableau 9.3.5 :

- 1 seuil pour le critère 6 :  $v_6(g_6(a)) = 2,5 \cdot p_6(g_6(a))$  ;
- 3 seuils pour le critère 2 :  $v_2(g_2(a)) = 3 \cdot p_2(g_2(a))$ ,  
(forme  $g_2$ )  
 $= 3,5 \cdot p_2(g_2(a))$ ,  
 $= 4 \cdot p_2(g_2(a))$  ;
- 1 seuil pour le critère 3 :  $v_3(g_3(a)) = 2 \cdot p_3 = 4$ .

iii) *Seuils de discrimination*

Pour les critères 2 et 6 fondés sur les données a priori les plus imprécises, nous avons procédé à une analyse de robustesse sur les seuils de dispersion (ce qui entraîne une variation corrélatrice des seuils de discrimination et du seuil de veto).

En plus du jeu de valeurs du tableau 9.3.2, nous avons examiné :

- Critère 2 : Deux seuils de discrimination ont été retenus en fonction du seuil de dispersion autour de  $g_2$  :

<sup>1</sup> Le seuil  $s(\lambda) = 0,3 - 0,15 \lambda$  a été retenu, tout au long de l'étude, pour l'algorithme de distillation.

<sup>2</sup> Nous avons de plus testé l'influence des veto des critères 1 et 4 que nous avons choisis de ne pas mentionner ici, leur rôle étant quasi-nul.

$$[g_2(a) - 0,6 \cdot g_2(a) ; g_2(a) + 0,6 \cdot g_2(a)] \\ \Rightarrow q_2(g_2(a)) = 0,6 \cdot g_2(a) \\ p_2(g_2(a)) = 3 \cdot g_2(a) \text{ et}$$

$$[g_2(a) - 0,4 \cdot g_2(a) ; g_2(a) + 0,4 \cdot g_2(a)] \\ \Rightarrow q_2(g_2(a)) = 0,4 \cdot g_2(a) \\ p_2(g_2(a)) = 1,33 \cdot g_2(a)$$

- Critère 6 : Quatre seuils de discrimination ont été retenus en fonction du seuil de dispersion autour de  $g_6$  :

$$[\bar{x}_6(a) - 2 - 0,1 \bar{x}_6(a) ; \bar{x}_6(a) + 3 + 0,5 \bar{x}_6(a)] \quad (a)$$

$$[\bar{x}_6(a) - 0,1 \bar{x}_6(a) ; \bar{x}_6(a) + 1 + 0,5 \bar{x}_6(a)] \quad (b)$$

$$[\bar{x}_6(a) - 1 - 0,1 \bar{x}_6(a) ; \bar{x}_6(a) + 2 + 0,6 \bar{x}_6(a)] \quad (c)$$

$$[\bar{x}_6(a) - 1 - 0,1 \bar{x}_6(a) ; \bar{x}_6(a) + 2 + 0,4 \bar{x}_6(a)] \quad (d)$$

d'où les seuils de discrimination du tableau 9.3.6.

Tableau 9.3.6 : Analyse de robustesse -  
Seuils de discrimination du critère 6

	$q_6(g_6(a))$	$p_6(g_6(a))$
(a)	$2,22 + 0,111 \cdot g_6(a)$	$5,555 + 0,666 \cdot g_6(a)$
(b)	$0,111 \cdot g_6(a)$	$1,111 + 0,666 \cdot g_6(a)$
(c)	$1,111 + 0,111 \cdot g_6(a)$	$3,333 + 0,777 \cdot g_6(a)$
(d)	$1,111 + 0,111 \cdot g_6(a)$	$3,33 + 0,555 \cdot g_6(a)$

iv) *Deux formes possibles du critère 2 :  $g_2'$  et  $g_2''$ .*

Parmi toutes les combinaisons de possibilités mentionnées, nous en avons éliminé a priori certaines trop irréalistes. L'analyse de robustesse ayant été menée pas à pas, nous avons pu restreindre le nombre de combinaisons à prendre en compte, certains éléments n'ayant manifestement aucune influence (par exemple veto du critère 3). Finalement, 17 jeux de paramètres concernant les seuils de discrimination et de veto ainsi que la



forme du critère  $g_2$  ont été retenus soit, combinés avec les 8 jeux de poids,  $17 \times 8 = 136$  préordres partiels<sup>1</sup>.

Nous nous contentons ici de mentionner que, parmi toutes les sources de variations possibles, la forme du critère 2 retenue ( $g_2'$  ou  $g_2''$ ) a la plus grande influence. Cette modification peut s'interpréter comme une modification indirecte du seuil de veto sur ce critère. Mis à part la forme du critère 2, la stabilité des résultats est bonne. Notons que cette stabilité est obtenue avec des variations de diverses grandeurs que l'on ne peut tenir pour marginales. Elle permet donc de donner une certaine probance aux résultats.

On peut, de façon très qualitative, résumer les 136 préordres partiels par deux préordres, l'un correspondant à la forme  $g_2'$ , l'autre à la forme  $g_2''$  du critère 2, l'influence des autres paramètres étant plus faible. On a les "préordres types" indiqués à la figure 9.3.1.

L'analyse de ces résultats révèle une remarquable stabilité de la queue de classement, les sites  $a_5, a_6$  et  $a_1$  apparaissant toujours moins bons que les autres. Le site  $a_3$  se situe en tête dans l'étude S quelle que soit la forme du critère 2 retenue. Les sites  $a_2, a_8$  et  $a_4$  viennent juste derrière tandis que  $a_7$  et  $a_9$  se situent en milieu de classement dans une zone d'instabilité.

Sur ces bases, nous aurions recommandé :

- d'éliminer les sites  $a_5, a_6$  et  $a_1$  ;
- de sélectionner le site  $a_3$  ainsi que les sites  $a_2, a_8$  et  $a_4$  ;
- de laisser de côté les sites  $a_7$  et  $a_9$ .

Soulignons dès à présent une divergence importante entre les études U et S concernant l'intérêt du site  $a_1$  et, dans une moindre mesure, du site  $a_9$ .

<sup>1</sup> Ils sont présentés et analysés en détail dans Roy et Bouyssou (1983).

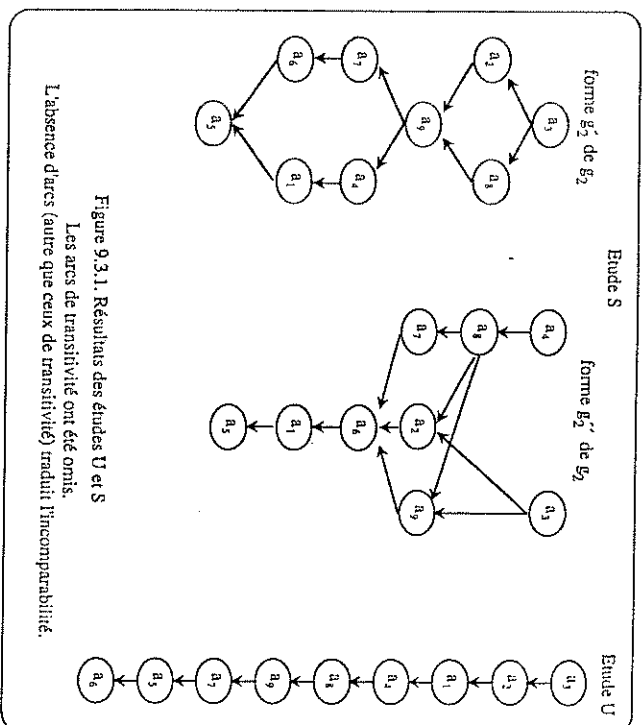


Figure 9.3.1. Résultats des études U et S.  
Les arcs de transitivité ont été omis.  
L'absence d'arcs (autre que ceux de transitivité) traduit l'incomparabilité.

#### 9.4 COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES À LA LU-MIÈRE DU CAS

Les modèles et méthodes d'aide à la décision fondés sur la théorie de l'utilité espérée sont souvent justifiés en faisant observer :

- que la théorie repose sur une base axiomatique solide et convaincante ;
- que les procédures utilisées dans ces méthodes pour asseoir les divers paramètres entrant dans le modèle du critère unique de synthèse (fonctions d'utilité partielles  $u_i$ , coefficients  $k_i^U$ ) découlent logiquement du système d'axiomes.

Recourir à une telle justification implique d'une part d'admettre le caractère absolument convaincant des axiomes de la théorie

de l'utilité espérée (on a vu au 4.5 que ce point avait récemment soulevé bien des controverses ; nous n'y reviendrons pas ici). D'autre part, une telle justification est inséparable de l'hypothèse selon laquelle existe, de façon plus ou moins consciente ou latente, dans l'esprit d'un intervenant clairement identifié pour lequel s'exerce l'aide à la décision<sup>1</sup>, un ensemble d'"attitudes"<sup>2</sup> capables de déterminer des préférences qui :

- ne soient pas en contradiction avec les axiomes, c'est-à-dire pouvant être interprétées dans le cadre des axiomes ;
- soient suffisamment stables pour pouvoir être appréhendées de façon opérationnelle sans les perturber ;
- soient suffisamment riches pour, en liaison avec le corps d'axiomes, définir un critère unique de synthèse<sup>3</sup>.

Une telle justification n'a de sens que dans ce que nous avons appelé une "démarche descriptive" d'aide à la décision (cf. 1.7). Elle relève d'un schéma de type : "si, dans la réalité, les préférences ont telle ou telle propriété, alors le modèle de préférences globales doit avoir telle ou telle forme".

Cette possibilité de justification du modèle dans une démarche descriptive semble avoir conditionné certains aspects du travail des auteurs de l'étude U. Mentionnons par exemple :

— Le fait qu'ils aient tenu à tester, à l'aide de procédures de questionnement sophistiquées, les "hypothèses" d'indépendance auxquelles ils font appel. Ces procédures sophistiquées ne peuvent avoir de sens que par rapport à une réalité qu'il convient de

<sup>1</sup> C'est cet intervenant privilégié qui est habituellement appelé le décideur (cf. 1.1).

<sup>2</sup> Sur cette notion, nous renvoyons à Bouyssou (1984).

<sup>3</sup> C'est là une hypothèse forte. Elle implique en effet que les attitudes sont suffisamment riches et structurées pour permettre de déterminer, dans tous les cas, si deux actions sont indifférentes ou si l'une est préférée à l'autre quelles que soient les conséquences de ces deux actions.

cerner le plus finement possible<sup>1</sup>. A titre d'exemple, on a vu que l'isolabilité des différents axes de signification constitue un prérequis indispensable dans le modèle utilisé dans l'étude S. Avec celui-ci, on admet qu'il est en général illusoire de chercher à bâtir une préférence globale s'il est impossible de parler de préférences partielles en raisonnant toutes choses égales par ailleurs sur un axe de signification. On cherche alors à faire en sorte que la phase de construction de critère vienne conforter ce "prérequis". Les auteurs de l'étude U ont procédé différemment en cherchant à tester explicitement l'isolabilité des diverses dimensions. Notons que de tels "tests" conduisent, en général, à accepter l'isolabilité sans laquelle il semble difficile de chercher à bâtir une préférence globale.

— Le fait de ne modéliser les éléments imprécis, incertains et/ou mal déterminés dans l'évaluation des conséquences des actions potentielles qu'au travers de distributions de probabilités<sup>2</sup>. Cette option de modélisation des auteurs de l'étude U ne va pas sans soulever quelques problèmes. Avec la méthodologie sous-tendant l'étude S (que nous avons rappelée aux 1.5 et 1.6), on ne fait pas, a priori, d'hypothèses restrictives sur la nature des éléments imprécis, incertains et/ou mal déterminés. On cherche alors à les prendre en compte à l'aide d'une démarche heuristique laissant une large place au "bon sens" en remplaçant le modèle du vrai-critère par celui du pseudo-critère. On peut vouloir modéliser, de façon probabiliste, le coût de construction et d'exploitation d'une centrale nucléaire à bâtir dans 10 ans, en procédant à une modélisation très fine de chacun des éléments pertinents (taux d'inflation, coût des matériaux de construction, coût de la matière fissile). Cependant, ce qui semble importer dans le cas du WPPSS, ce n'est pas de connaître, avec une précision peut-être illusoire, une distribution de probabilités sur la conséquence coût, mais de pouvoir dire si l'on peut raisonnablement estimer qu'un

<sup>1</sup> A ce sujet, on pourra comparer les procédures utilisées au 9.2 avec celles présentées et illustrées par von Winterfeld et Edwards (1986).

<sup>2</sup> On peut légitimer, de façon descriptive, cette volonté de n'utiliser que des distributions de probabilités en invoquant l'axiomatique de Savage (1954) qui englobe celle de la théorie de l'utilité espérée.

site entraînera ou non des coûts plus élevés qu'un autre. Dans cette situation, un raisonnement en termes de seuils de discrimination semble présenter des avantages comme dans tous les cas où il s'agit de modéliser d'avantage une imprécision et un flou conceptuel qu'un véritable phénomène aléatoire<sup>1</sup>.

— Le fait qu'il n'y ait pas eu de véritable analyse de robustesse au sens du 5.4.4 mais seulement une analyse de sensibilité conduite de façon "marginale", c'est-à-dire en ne faisant varier qu'un paramètre à la fois dans un intervalle de faible ampleur. Une telle façon de faire se justifie dans une démarche descriptive si l'on considère que le modèle de préférences obtenu n'est pas trop éloigné du système de préférences qu'il s'agit de décrire. On a vu, au 5.4.4, toute l'importance d'une véritable analyse de robustesse dès lors que l'on s'écarte d'une telle démarche. C'est elle qui permet alors de conférer une certaine probance aux résultats obtenus.

L'examen du travail des auteurs de l'étude U et, plus généralement, notre expérience dans des études réelles, nous laissent croire qu'il est souvent illusoire de ne vouloir justifier un modèle d'aide à la décision que dans une démarche descriptive. En effet, dans les études réelles :

— Le décideur dont on voudrait décrire les préférences est parfois une entité mythique ou difficilement accessible. On a vu que tel était le cas pour l'étude U où l'équipe d'étude elle-même a souvent été amenée soit à jouer le rôle du décideur (par exemple pour valoriser les  $k_j$ ), soit à interroger des intervenants divers (par exemple pour déterminer les fonctions d'utilité partielles) sans que rien ne garantisse que l'ensemble d'attitudes déterminant leurs préférences soit identique.

— La façon dont un décideur et des intervenants divers perçoivent une situation impliquant une comparaison de deux actions est rarement exempte de larges zones de flou, d'hésitation ou de conflit. A ce propos, notons que les auteurs de l'étude U

<sup>1</sup> A ce sujet, voir Bouyssou et Roy (1987), Roy (1988) et Bouyssou (1989).

ont été amenés à formuler de nombreuses questions faisant intervenir des sites fictifs irréalistes. Il nous semble difficile d'admettre que, face à de tels sites, les préférences d'un intervenant soient toujours parfaitement structurées.

— La façon de formuler un problème, la mise en situation, la formulation même des questions conditionnent grandement la réalité que l'on souhaiterait observer (cf. 7.1).

A notre sens, la légitimité d'un modèle d'aide à la décision doit se fonder sur sa capacité à proposer des hypothèses et méthodes de travail acceptables et raisonnables pour favoriser la communication entre intervenants dans le processus et, finalement, élaborer et argumenter des convictions et des recommandations. Au-delà de la théorie qui peut le sous-tendre, le modèle se doit d'être une base de dialogue avec le réel et d'intervention sur celui-ci. Adopter une telle "démarche constructive" (cf. 1.7), ce n'est pas nier l'intérêt des modèles d'aide à la décision fondés sur la théorie de l'utilité espérée<sup>1</sup>. De par la richesse des concepts qu'ils proposent et des techniques qu'ils utilisent, ceux-ci gardent tout leur intérêt dans une telle démarche. Ils y perdent néanmoins leur caractère d'exclusivité souvent mis en avant dans une démarche descriptive. En effet, les utiliser dans une démarche constructive consiste à les concevoir sans pouvoir prendre appui sur un système de préférences pré-existant, complet, transif et stable qu'ils sont censés décrire ; autrement dit, ce qui devait servir de fondement à leur légitimité est devenu ce qu'ils produisent. Les comparer avec des modèles tel celui que nous avons utilisé lors de l'étude S, conçus dès le départ dans une démarche constructive, prend alors tout son sens.

Comparer des modèles d'aide à la décision dans une démarche constructive soulève des questions difficiles<sup>2</sup>. Comment en effet juger de la capacité d'un modèle à apporter une aide effective pour parvenir à des convictions, les communiquer, intervenir dans

<sup>1</sup> On peut d'ailleurs les présenter dans ce sens : voir, par exemple, von Winterfeldt et Edwards (1986).

<sup>2</sup> Sur ces questions, nous renvoyons à Roy (1990, 1992) et à Le Moigne (1983).

le cours des choses ? Le concept de "pouvoir prédictif" d'un modèle ne paraît pas, dans ce domaine, pouvoir servir de référence et fournir des tests de validité comme c'est le cas dans beaucoup d'autres disciplines. On a vu cependant, aux chapitres 4, 5 et 6, que le modèle utilisé par les auteurs de l'étude U, tout comme celui que nous avons utilisé, proposent des concepts qui nous semblent riches et utiles en matière d'aide à la décision :

- fonction d'utilité partielle, aversion pour le risque, agrégation additive ou multiplicative, taux de substitution d'une part ;
- pseudo-critères, concordance, discordance, surclassement, indice de crédibilité d'autre part.

Ces concepts ne sont cependant pas identiques et il ne faut donc pas s'étonner de constater qu'ils puissent conduire à des prescriptions et recommandations différentes. Le cas du WPPSS en fournit un bon exemple.

L'examen de la figure 9.3.1 montre un certain nombre de convergences entre les deux études :

- le site  $a_3$  apparaît en tête ;
- le site  $a_2$  vient juste derrière  $a_3$  ;
- les sites  $a_5$  et  $a_6$  viennent en queue de classement.

L'examen du tableau des performances de chaque étude (cf. tableaux 9.2.2 et 9.3.1) montre :

- que le site  $a_3$  a de bonnes performances sur la plupart des critères ;
- que le site  $a_2$  a des performances légèrement inférieures à celles de  $a_3$  sur la plupart des critères tout en ayant un profil comparable ;
- que les sites  $a_5$  et  $a_6$  ont de mauvaises performances sur la plupart des critères.

La convergence des recommandations des deux études à propos de ces sites est donc assez naturelle. Ces deux modèles peuvent néanmoins conduire à des recommandations non semblables. Ainsi, dans le cas étudié ici, nous aurions recommandé

l'abandon du site  $a_1$  qui apparaît comme un bon site dans l'étude U. A l'inverse, le site  $a_8$ , qui est en bonne position dans l'étude S, est rejeté en milieu de classement dans l'étude U<sup>1</sup>.

Ces divergences reflètent la différence des principes qualitatifs sous-tendant les deux modèles. Rappelons qu'elles résident, pour l'essentiel, dans la probance accordée aux écarts entre les évaluations sur les différents critères et le caractère plus ou moins compensatoire de leur agrégation. Illustrons ces différences sur la position des sites  $a_1$  et  $a_8$ .

Le site  $a_1$  est très bien évalué sur quatre ( $g_3$ ,  $g_4$ ,  $g_5$ ,  $g_6$ ) des six critères dans les deux modèles (cf. tableaux 9.2.2 et 9.3.1). En revanche, il possède la moins bonne évaluation parmi les neuf sites en ce qui concerne la santé-sécurité ( $g_1$ ) et les pertes de saumons ( $g_2$ ). La PAMC d'ELECTRE III, qui n'autorise la compensation entre critères que de façon très locale et qui fait usage de l'idée de veto, a tendance à rejeter un tel profil vers le bas du classement. Au contraire, le modèle utilisé dans l'étude U, qui autorise pleinement la compensation, place ce site en tête en raison de ses très bonnes évaluations sur quatre critères qui permettent de racheter ses mauvaises performances sur les deux autres.

Le site  $a_8$  a des évaluations "moyennes" sur tous les critères. Un tel profil "compromis" a tendance à être plus valorisé par la PAMC d'ELECTRE III que par le modèle utilisé dans l'étude U qui peut classer avant lui des sites dont les bonnes performances sur certains critères viennent compenser de moins bonnes sur d'autres.

Devant l'opposition profonde des principes qualitatifs à la base des deux modèles considérés ici, il n'est pas choquant de les voir aboutir à des recommandations non semblables. Ces divergences ne traduisent pas, à notre sens, l'inutilité et la vanité du

<sup>1</sup> Dans les deux études, les sites  $a_7$  et  $a_9$  sont en milieu de classement. Le site  $a_8$ , en milieu de classement dans l'étude U, a une position controversée dans l'étude S.

travail d'aide à la décision mais peut-être, plus simplement, le fait qu'il peut être apporté plusieurs éléments de réponse à un même problème. Devant l'impossibilité de pratiquer, au sein d'un même processus de décision, deux types d'études différents, les acteurs doivent être conscients des options qualitatives véhiculées par les différents modèles, traduisant souvent des prises de position éthiques de l'homme d'étude, avant de se forger une conviction personnelle sur le choix à effectuer. Dans ce domaine, la multiplicité des modèles nous semble refléter bien plus une reconnaissance de la complexité de la tâche de l'homme d'étude qu'une faiblesse scientifique.

## Chapitre 10

### **PROGRAMMATION D'INVESTISSEMENTS LOURDS : COMPARAISON A POSTERIORI ENTRE LES RÉSULTATS D'UNE "APPROCHE SCIENTIFIQUE" ET LE DÉROULEMENT EMPIRIQUE D'UN PROCESSUS DE DÉCISION**

#### **RÉSUMÉ**

La réalisation d'un plan portant sur des investissements lourds tels que des prolongements de lignes de métro ne peut qu'être étalée dans le temps. Le cas dont il est question dans ce chapitre concerne le classement (programmation) de tels projets de prolongements en fonction de leur plus ou moins grande priorité.

Au 10.1, nous décrivons tout d'abord le cadre général dans lequel le problème se pose à la Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP). Cet organisme a en effet vocation pour contribuer à la planification des infrastructures. Nous indiquons ensuite les raisons qui ont amené à entreprendre, dans ce cadre, l'étude a posteriori qui fait l'objet du présent chapitre. La section se termine par une présentation sommaire des six critères devant guider la programmation.

Au 10.2.1, on expose pourquoi certaines particularités de ce problème concret ont conduit à élaborer une nouvelle méthode : ELECTRE IV. Le 10.2.2 traite de la façon dont le concept de pseudo-critère a été utilisé pour prendre en compte la part d'arbitraire qui affectait les performances (c'était là une des caractéristiques importantes du problème).

Le 10.3 est consacré à l'application d'ELECTRE IV. Les résultats obtenus à partir d'un système relationnel de référence S y sont tout d'abord présentés (cf. 10.3.1). Ils sont ensuite discutés à la lumière d'une analyse de robustesse (cf. 10.3.2).

Au 10.4, on confronte enfin les résultats précédents à ceux, empiriques, qui ont historiquement jalonné un processus de décision qui s'est déroulé de 1973 à 1980. On s'efforce d'apporter des éléments de réponse aux questions qui furent à l'origine de cette étude a posteriori.