

RAPPORT D'ÉTUDE

09/10/2009

N°DRC-09-102861-12257A -

**Convention ONEMA-INERIS 2009**

**Action 18a**

**Priorisation des pesticides et des substances  
chimiques à surveiller**

**Panorama des méthodes d'analyse multicritère  
comme outils d'aide à la décision**

**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |



## **Convention ONEMA-INERIS 2009**

### **Action 18a**

## **Priorisation des pesticides et des substances chimiques à surveiller**

Panorama des méthodes d'analyse multicritère comme outils d'aide à la décision

INERIS

Direction des Risques Chroniques

Client : ONEMA

## PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
<b>NOM</b>	Anne Christine Le GALL	J-M. BRIGNON	L. ROUÏL
<b>Qualité</b>	Ingénieur de l'Unité Economie & Décision pour l'Environnement (EDEN)  Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'Unité Economie & Décision pour l'Environnement (EDEN)  Direction des Risques Chroniques	Responsable du Pôle Modélisation Environnementale & Décision (DECI)  Direction des Risques Chroniques
<b>Visa</b>			

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RESUME</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE</b> .....	<b>9</b>
<b>1. GLOSSAIRE</b> .....	<b>10</b>
<b>2. INTRODUCTION</b> .....	<b>13</b>
2.1 Contexte .....	13
2.2 Objectif .....	13
2.3 Remarque préliminaire.....	14
<b>3. PRESENTATION DES METHODES MULTICRITERES</b> .....	<b>14</b>
3.1 Les méthodes d'agrégation multicritère .....	14
3.2 Exemple pour l'application des méthodes d'analyse multicritère : Le transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface.....	15
3.3 Les méthodes d'agrégation totale .....	16
3.3.1 La somme de notes .....	16
3.3.2 La multiplication de « ratios » .....	18
3.3.3 Le Goal Programming (GP).....	19
3.3.4 MAUT : Multiple Attribute Utility Theory .....	21
3.3.5 Analytic Hierarchy Process (AHP).....	22
3.3.6 Conclusions sur les méthodes d'agrégation totale.....	24
3.4 Les méthodes d'agrégation partielle .....	25
3.4.1 ELECTRE (Élimination et Choix Traduisant la Réalité) .....	25
3.4.2 PROMETHEE .....	27
3.4.3 Measuring Attractiveness By a Categorical Based Evolution Technique MACBETH....	29
3.4.4 La méthode SIRIS (System of Integration of Risk with Interaction of Scores).....	29
3.4.5 Conclusion des méthodes d'agrégation partielle .....	31
3.5 Les méthodes d'agrégation locale et itérative .....	31
<b>4. CONCLUSIONS</b> .....	<b>32</b>
<b>5. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>36</b>

<b>6.</b>	<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>38</b>
	ANNEXE 1 : <b>Exemple de structure d'un processus de décision .....</b>	39
6.1	Check-lists lors de la mise en œuvre du processus de décision .....	41
6.2	Check-list destinée aux évaluateurs .....	42
6.3	Check-list destinée aux gestionnaires.....	42
6.4	Deux outils d'aide à la décision pertinents pour la hiérarchisation de substances chimiques .....	42
6.4.1	DART .....	42
6.4.2	INDIGO et I-PHY : Outil d'aide à la décision pour évaluer le transfert des produits phytosanitaires vers les milieux naturels.....	43

# RESUME

## Résumé

---

Les outils d'analyse multicritère sont un des outils du processus d'aide à la décision. On peut les classer selon leur philosophie, ou selon le type de classement qu'ils opèrent. Le présent rapport décrit succinctement plusieurs méthodes d'analyse multicritère en distinguant les méthodes d'agrégation totales et les méthodes d'agrégation partielles. Les caractéristiques principales de ces méthodes (critères qualitatif ou quantitatifs, pondération possibles, leurs principaux avantages et inconvénients) sont listées.

Certains de ces outils sont très simples à mettre en œuvre, d'autres plus compliqués. La complexité des calculs ne garantit pas la qualité de la décision. Les calculs sont utilisés pour représenter et guider avec rigueur le processus de réflexion. Le choix de l'outil d'analyse multicritère dépend donc de la problématique, du type de solution souhaité par les parties prenantes et des moyens techniques mis à disposition pour l'étude.

**Mots clés :** Hiérarchisation multicritère, méthodes

# ABSTRACT

## Abstract

---

Multicriteria analysis tools are one type of decision support systems. They might be classified according to their philosophy or design or according to the type of classification they lead to. Here we describe several of these methods, distinguishing between total and non - compensatory aggregation approaches. Main characteristics are compiled and briefly described (qualitative or quantitative criteria, weighing, main advantages and drawbacks).

Some of these tools are very easy to operate, others require expertise. The calculation complexity does not warrant the quality of the decision. Calculations are used to represent and rigorously guide the thinking. The choice of one particular tool will therefore depend on the question asked, the type of solution expected by the stakeholders and the technical resources available to the project.

**Key words :** Multicriteria analysis, methods

---

## SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE

### Contexte général et rappel des objectifs généraux du projet

Les pouvoirs publics sont confrontés à des choix quant aux substances chimiques à réglementer pour des raisons de santé humaine ou environnementale. Les substances chimiques actuellement émises par les activités humaines sont à la fois nombreuses, liées à des enjeux sociaux et économiques importants et susceptibles de nuire à l'homme ou à son environnement. Leurs propriétés physico-chimiques, leur comportement dans les milieux et leur toxicologie varient également sur plusieurs ordres de grandeur. Faire des choix systématiques avec autant de critères et autant de variables est simplement impossible. En revanche, les méthodes d'aide à la décision répondent à cette problématique.

La réflexion sur les méthodologies d'aide à la décision multicritère et plus particulièrement sur les approches d'agrégation multicritère s'est développée depuis les années soixante. L'objectif des méthodes d'agrégation multicritères est d'appuyer le décideur dans son processus de décision dans des situations multi-choix en facilitant le passage d'une évaluation partielle de ces choix à une évaluation globale où différents critères peuvent être en conflit (Caillet, 2003). Basées sur des évaluations mathématiques, et donc systématiques, des différents critères, ces approches facilitent la décision dans un contexte multi-acteurs.

De nombreuses méthodes d'agrégation multicritère ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un choix informé. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit permettre de faire émerger ce choix. Les différentes méthodes existantes reflètent ces hypothèses de construction. Ces méthodes ont des champs d'application très vastes (urbanisme, restructuration d'entreprise, problèmes environnementaux, classification de substances chimiques...).

Cette étude est une synthèse expliquant le plus simplement possible les méthodes d'analyse multicritère. Les avantages et inconvénients de chaque méthode sont discutés. Un tableau final les résume.

Une démarche pour mettre en œuvre étape par étape un processus de décision est proposé en complément à l'étude sur les méthodes.

Pour en savoir plus :

Schärli, A. (1985). Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère, Presses polytechniques et universitaires romandes, Série: Diriger l'entreprise, Université de Lausanne. pp 304.

Roy, B. (1985). Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision, Economica. Série: Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion, Paris. pp 423.

Vincke, P. (1989). L'aide multicritère à la décision, Ellipses. Université de Bruxelles, Série: Statistique et mathématiques appliqués, Bruxelles. pp 179.

*Panorama des méthodes d'analyse multicritère, Le Gall, AC.*

# 1. GLOSSAIRE

<b>Action ou Alternative ou Solution</b>	Objet sur lequel va être appliqué l'outil d'aide à la décision. Une action est définie par un ensemble de critères. Exemple d'action : une substance
<b>Aide à la décision</b>	Activité qui permet suivant un modèle plus ou moins formalisé de proposer des éléments de réponse à un problème posé à une tierce personne
<b>Animateur</b>	Dans le cadre de ce rapport, personne qui met en œuvre l'outil d'aide à la décision, qui éventuellement guide les parties prenantes tout au long du processus et reste neutre par rapport à la décision
<b>Critère</b>	<p>Paramètre permettant de distinguer les actions les unes des autres de façon quantitative ou qualitative (exemple : quantité de substances utilisées). Il s'exprime sur une échelle continue ou discrète sur laquelle on peut juger de la pertinence d'une action par rapport à une décision</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Vrai critère</u> : Deux actions sont indifférentes l'une par rapport à l'autre relativement à ce critère si et seulement si elles ont la même valeur pour ce critère.</li><li>• <u>Quasi critère</u> : Deux actions sont indifférentes l'une par rapport à l'autre si la valeur du critère est comprise dans une plage d'indifférence, définie par l'intervalle <math>[-q ; q]</math>, où <math>q</math> est le seuil d'indifférence.</li></ul> <p><u>Pseudo critère</u> : Il distingue deux actions en prenant en compte une plage d'indifférence comme le quasi critère et deux plages de préférence faible de part et d'autre de la plage d'indifférence</p>
<b>Décideur</b>	Personne qui doit prendre des décisions, ou, dans le cadre de ce rapport, ensemble des parties prenantes à un processus de décision
<b>Incomparabilité</b>	Deux actions a et b sont incomparables quand on ne peut pas définir laquelle des deux est préférable à l'autre. Par exemple, si sur deux critères, l'action a est meilleure que b et sur deux autres critères b est meilleure que a, si ces 4 critères ont la même importance, il n'est pas possible de dire si a est meilleure que b ou l'inverse
<b>Matrice d'évaluation</b>	Tableau contenant les valeurs des critères pour l'ensemble des actions considérées et les poids attribués à chaque critère

<b>Méthode multicritère</b>	La méthode multicritère est un ensemble de règles. Celles-ci décrivent comment les critères sont construits, comment ils sont comparés, agrégés et comment s'obtiennent les résultats d'une analyse multicritère
<b>Outil multicritère</b>	L'outil multicritère met en œuvre une méthode pour réaliser une analyse multicritère. Les critères de l'outil sont définis, leur méthode d'agrégation également. L'outil peut être informatisé et il permet d'obtenir les résultats d'une analyse multicritère
<b>Préordre total (ou complet)</b>	Situation dans laquelle on peut ranger toutes les actions ou alternatives de la meilleure à la moins bonne avec d'éventuels ex-æquo
<b>Transitivité des jugements</b>	a, b et c étant des actions, si $a > b$ et $b > c$ , la transitivité implique nécessairement que $a > c$



## **2. INTRODUCTION**

### **2.1 CONTEXTE**

Les pouvoirs publics sont confrontés à des choix quant aux substances chimiques à réglementer pour des raisons de santé humaine ou environnementale. Les substances chimiques actuellement émises par les activités humaines sont à la fois nombreuses, liées à des enjeux sociaux et économiques importants et susceptibles de nuire à l'homme ou à son environnement. Leurs propriétés physico-chimiques, leur comportement dans les milieux et leur toxicologie varient également sur plusieurs ordres de grandeur. Faire des choix systématiques avec autant de critères et autant de variables est simplement impossible. En revanche, les méthodes d'aide à la décision répondent à cette problématique.

La réflexion sur les méthodologies d'aide à la décision multicritère et plus particulièrement sur les approches d'agrégation multicritère s'est développée depuis les années soixante et est très active (Bouyssou et al., 2009; Communities and Local Government, 2009). L'objectif des méthodes d'agrégation multicritères est d'appuyer le décideur dans son processus de décision dans des situations multi-choix en facilitant le passage d'une évaluation partielle de ces choix à une évaluation globale où différents critères peuvent être en conflit (Caillet, 2003). Basées sur des évaluations mathématiques, et donc systématiques, des différents critères, ces approches facilitent la décision dans un contexte multi-acteurs.

De nombreuses méthodes d'agrégation multicritère ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un choix informé. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit permettre de faire émerger ce choix. Les différentes méthodes existantes reflètent ces hypothèses de construction.

### **2.2 OBJECTIF**

L'objectif global de ce rapport est de présenter les méthodes d'agrégation multicritères les plus fréquemment rencontrées dans la littérature. Les principales sources d'information ont été les ouvrages de Bernard Roy (Roy, 1985), d'Alain Schärli (Schärli, 1985) et de Philippe Vincke (Vincke, 1989). Les revues scientifiques « Environmental Modelling & Software » ainsi que le « Biotechnologies Agronomy Sociology Environmental » ont fourni une quantité importante de données sur de nombreuses méthodes : les articles utilisés sont cités dans le texte.

Notons que du fait de la présence de multitudes d'approches d'agrégation multicritère, le choix d'une démarche d'agrégation devient lui-même un problème de décision nécessitant un appui. Bien que non exhaustive, cette synthèse bibliographique a pour objectif de contribuer à éclairer un utilisateur potentiel d'analyse multicritère lors du choix de la méthode à utiliser.

Ce rapport est focalisé sur les méthodes mathématiques d'analyse multicritère. Il n'y est donc pas question d'autres méthodes d'aide à la décision, telles que les procédures de vote, la théorie des ensembles flous, la théorie du choix social, la négociation, les systèmes experts... Ce choix est délibéré, guidé par nos expériences et n'implique aucun a priori de la part des auteurs vis-à-vis de la pertinence d'autres approches, en particulier appliquées à la priorisation des substances chimiques.

Les méthodes d'agrégation multicritère sont présentées de façon à ce que le lecteur puisse comprendre leurs principes et leur mise en œuvre. À la fin du rapport, un tableau résume l'ensemble des méthodes présentées de façon à mieux visualiser les grandes différences entre elles.

Le corps de ce rapport décrit succinctement les principes des outils décrits dans la littérature scientifique et/ou utilisés à l'INERIS. Ces outils sont présentés dans l'optique d'une hiérarchisation des substances chimiques. Ils sont illustrés par des exemples. Ceux-ci sont tirés d'une problématique que nous avons traitée : celle du choix de substances actives phytosanitaires à rechercher dans l'eau. Elle est brièvement décrite ci-dessous de façon à pouvoir être utilisée tout au long du rapport.

Ce rapport ne prétend pas couvrir exhaustivement l'ensemble des méthodes de hiérarchisation décrites dans la littérature scientifique. Il donne cependant une description, un panorama, des principes généraux de ces méthodes, de leurs avantages et difficultés.

## **2.3 REMARQUE PRELIMINAIRE**

Une étude INERIS menée en parallèle à celle-ci a conduit à un recensement des listes prioritaires de substances chimiques établies par différents programmes ou organismes. Elle est décrite dans le rapport de V. Grammont (2009).

# **3. PRESENTATION DES METHODES MULTICRITERES**

## **3.1 LES METHODES D'AGREGATION MULTICRITERE**

Les méthodes d'agrégation présentent une grande diversité et peuvent être regroupées selon 3 approches principales (Schärlig, 1985):

- Approche par agrégation totale : le but est de réduire d'une manière ou d'une autre tous les critères à prendre en compte en un critère unique. On considère nécessairement que tous les jugements sont comparables les uns aux autres : on fait « un assemblage de jugements ». Une relation de dominance entre toutes les actions possibles est issue de cet assemblage de jugements.
- Approche par agrégation partielle : les actions sont comparées les unes aux autres, deux à deux pour chaque critère. Une synthèse de ces comparaisons est ensuite réalisée. Elle est appelée « surclassement de synthèse ».
- Approche par agrégation locale et itérative : le but est de mettre en avant une solution et de l'explorer au maximum de façon à améliorer cette solution. Cette exploration *locale* (autour de cette solution) se répète plusieurs fois et cela progressivement, d'où le terme *itératif*.

Bernard Roy a proposé une autre façon de classer les méthodes de hiérarchisation selon le type de résultat auquel elles conduisent (Schärlig, 1985). Il distingue :

- Les méthodes alpha : elles permettent de choisir ou sélectionner la ou les actions les plus satisfaisantes (selon les préférences énoncées par le décideur), sans pour autant classer les autres actions.
- Les méthodes bêta : elles trient les actions en grands ensembles, trois ou plus : celui contenant les actions les plus satisfaisantes, celui avec les actions les moins satisfaisantes et celui (ou ceux) contenant des actions intermédiaires.

- Les méthodes gamma : elles rangent ou classent les actions des meilleures au plus mauvaises.

Le classement des actions s'affine donc des méthodes alpha aux méthodes gamma.

### 3.2 EXEMPLE POUR L'APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE MULTICRITERE : LE TRANSFERT DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES VERS LES EAUX DE SURFACE

Les services de l'État doivent vérifier la potabilité de l'eau issue des captages. Cela nécessite en particulier de s'assurer que la concentration totale de substances actives phytosanitaires est inférieure à 0.5 µg/L. Des mesures sont donc prévues sur les échantillons d'eau, mais parmi toutes les substances autorisées (plus de 400), lesquelles choisir ?

Le cadre est posé (étape 1). Nous supposons que le COPIL est réuni et l'animateur choisi (étape 2). Le modèle conceptuel est décrit par la Figure 1 (étape 3).

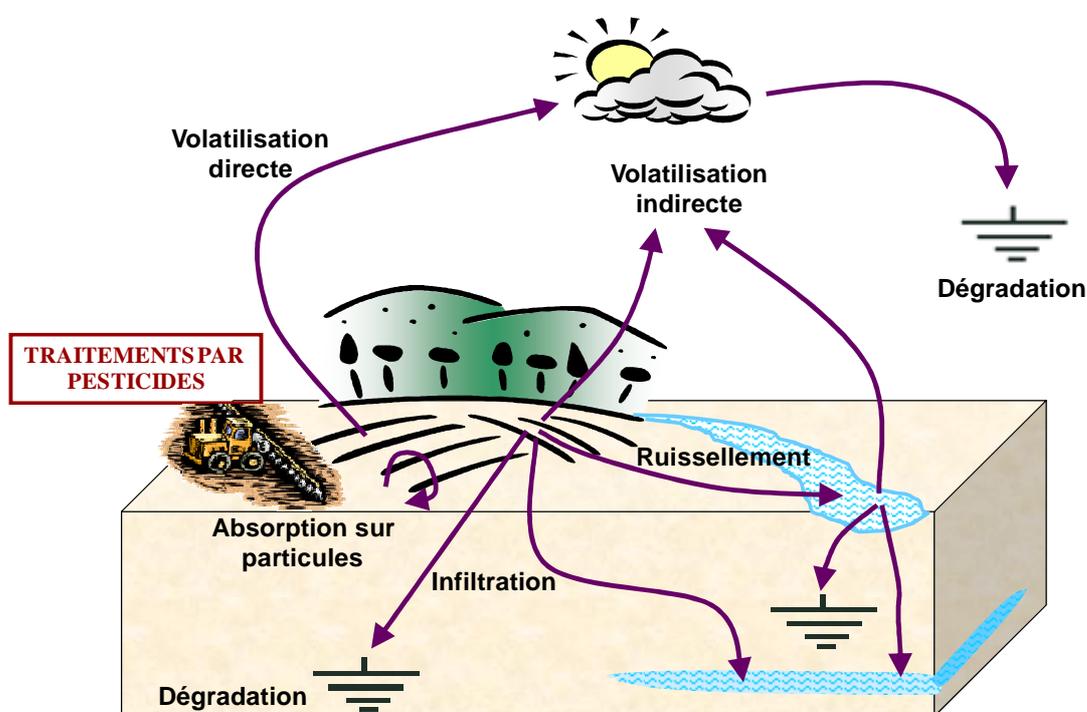


Figure 1 : Schéma conceptuel du transfert des produits phytosanitaires vers les eaux.

Le COPIL a choisi de retenir cinq critères au plus (étape 4) :

- Critère A : la quantité de produits utilisée dans le bassin versant;
- Critère B : leur solubilité ;
- Critère C : leur Koc (constante décrivant la répartition de la substance entre les particules du sol et l'eau) ;
- Critère D : L'hydrolyse (le temps nécessaire à la décomposition de la substance sous l'effet de l'eau).
- Critère E: La demi-vie au champ,  $DT50_{\text{champ}}$  (c'est à dire le temps nécessaire pour que la concentration de la substance soit réduite de moitié suite aux processus de dégradation qui ont lieu dans un champ).

C'est sur la base de ces cinq critères que les exemples d'application des outils d'analyse multicritère seront présentés (étape 5). Les autres étapes du processus de décision ne seront pas discutées ici.

Soulignons que les méthodes d'aide à la décision fournissent au décideur des informations dont il tiendra compte pour faire son choix final. Elles n'ont pas pour objet de définir une vérité absolue mais de l'aider à trouver une solution ou un compromis pour un problème dont les tenants et aboutissants peuvent ne pas être clairement définis.

### 3.3 LES METHODES D'AGREGATION TOTALE

L'ensemble de ces méthodes apporte une synthèse totale des performances sous forme d'une note unique (Ces méthodes introduisent une notion d' « ordre total » entre les actions). Cela signifie que les différents critères choisis par les parties prenantes seront « réduits » à un seul critère quantitatif grâce auquel toute action sera nécessairement préférable, égale ou pire que toute autre action. C'est la façon par laquelle est réalisée la réduction de plusieurs à un critère qui différencie les méthodes d'agrégation totale les unes des autres.

#### 3.3.1 LA SOMME DE NOTES

Également appelée la somme pondérée ou la Weight Sum Method (WSM), cette méthode est la plus simple des méthodes multicritère. C'est aussi la méthode la plus utilisée dans la vie quotidienne.

Elle requiert que les critères soient quantitatifs, qu'ils aient tous la même unité et qu'ils s'étendent sur une même échelle ou gamme de valeurs ou qu'ils soient tous normalisés. Elle se calcule suivant la relation :

$$\text{somme pondérée} = a \times \text{CritA} + b \times \text{CritB} + c \times \text{CritC} + d \times \text{CritD} \dots$$

Les coefficients a, b, c et d sont les coefficients de pondération. Plus un critère est jugé important, plus la valeur attribuée à son coefficient de pondération sera grande.

Les critères de notre exemple sont exclusivement numériques. Pour être adaptées à la méthode, leurs gammes de valeurs devront être uniformisées (en les normalisant de 0 à 100 par exemple) ce qui a de plus l'avantage de nous affranchir des différences d'unités. La somme de ces critères peut alors être calculée. Il a été décidé par le groupe de travail que l'ordre d'importance des critères est la solubilité, la quantité, l'hydrolyse puis le Koc. Les coefficients de pondération sont : a = 3, b = 10, c = 1, d = 2.

L'ensemble des données nécessaires pour calculer cette somme pondérée (valeur des critères et des pondérations) peut être rassemblé sous forme de tableau. Les critères sont listés verticalement, les substances actives (SA) horizontalement (Tableau 1). Ce type de tableau est appelé, en analyse multicritère, matrice d'évaluation ou matrice de jugement.

Tableau 1 : Matrice d'évaluation pour la somme pondérée.

	Crit A (quantité)	Crit B (solubilité)	Crit C (Koc)	Crit D (Hydrolyse)
Pondération	a = 3	b = 10	c = 1	d = 2
SA1	9	18	35	6
SA2	21	1	8	32
SA3	30	100	9	12
SA...				
SAn	9	25	5	10

Le classement des substances actives est obtenu en multipliant chaque critère par son coefficient (afin de tenir compte de l'importance d'un critère) puis en ajoutant ces termes pour l'ensemble des critères.

La somme pondérée est un indicateur qui s'étend sur une échelle plus étendue que celle des critères et qui n'a pas de signification évidente par rapport aux critères. Pour construire un indicateur à la même échelle que celle des critères, la somme pondérée sera normalisée en la divisant par la somme des poids des critères. On obtient la moyenne pondérée :

$$\text{moyenne pondérée} = \frac{a \times \text{CritA} + b \times \text{CritB} + c \times \text{CritC} + d \times \text{CritD} \dots}{a + b + c + d}$$

La pondération peut être vue comme équivalente à prendre en compte plusieurs fois un critère (Crit A est pris en compte A fois, Crit B est pris en compte b fois). Virtuellement on a donc un nombre de critères égal à la somme des pondérations. La division par cette somme revient à faire une moyenne sur ce nombre « virtuel » de critères. La gamme de valeurs prises par la moyenne pondérée est donc la même que celle des critères (ici de 0 à 100).

Le classement est obtenu en ordonnant les résultats (Tableau 2)

Tableau 2 : Classement obtenu avec la somme et la moyenne pondérées.

	Classement	
	somme pondérée	moyenne pondérée
SA3	1123	70,2
SAn	302	18,9
SA1	254	15,9
SA2	145	9,1
SA...		

Cette méthode est largement connue (elle permet le calcul des notes aux examens du type baccalauréat) et elle est très simple à utiliser.

Toutefois, elle aboutit à un classement unique laissant peu de souplesse quant à la décision à adopter.

De plus, la somme ou la moyenne pondérées ont des limites d'utilisation importantes. Deux évaluateurs peuvent attribuer des pondérations différentes, ce qui conduirait à des classements différents, même en ayant choisi des critères identiques. On observe que de très légères variations des valeurs des poids (coefficients) peuvent conduire à des solutions radicalement différentes.

Par ailleurs, dans de nombreux cas, les critères ne sont pas comparables. Elle n'est pas utilisable avec des critères dont les unités diffèrent. De plus si les gammes de valeurs sont très disparates entre critères, la somme ou la moyenne pondérées seront dominées par les valeurs les plus grandes. Dans l'exemple ci-dessus, nous avons tenté de nous affranchir de ces difficultés en normalisant de 0 à 10 les valeurs de tous les critères mais cela conduit à perdre de l'information, voire même à la distordre. C'est tout particulièrement vrai dans le cas de notre exemple de classification des pesticides : dans la base de données de l'INERIS, la gamme de solubilité des produits phytosanitaires s'étend sur 15 ordres de grandeur [ $10^{-9}$ ;  $10^6$ ] alors que la gamme de valeurs de l'hydrolyse est plus restreinte [ $10^{-3}$ ;  $10^5$ ].

Enfin, l'influence des critères lorsqu'ils prennent une valeur faible est négligeable. En conséquence, même si un des critères est très mauvais, la substance peut être bien classée si les autres critères sont bons. Il y a « repêchage ». Par exemple, un élève qui aurait 0 dans une matière, 20 dans les trois autres, aurait une moyenne très honorable de 15. La moyenne pondérée (avec les poids 3, 10,1 et 2) serait de 16,25. Pour éviter ces repêchages, certaines écoles ont introduit le critère « note éliminatoire »...

La somme et la moyenne pondérées sont fréquemment utilisées (notes d'élèves par exemple) mais la discussion ci-dessus montre qu'elles sont mal adaptées à une problématique de hiérarchisation des substances.

### 3.3.2 LA MULTIPLICATION DE « RATIOS »

La multiplication de ratios se nomme en anglais Weight Product Method (WPM). Elle évite certains défauts de la somme pondérée (Schärlig, 1985) et s'en différencie principalement par les deux points suivants :

- Les critères (qui doivent être quantitatifs) peuvent avoir des gammes de valeurs sur des échelles différentes les unes des autres. Chaque critère à sa propre échelle qui lui est adaptée. Ainsi, on conserve une certaine homogénéité de la prise en compte de tous les critères.
- Cette méthode ne pratique plus de « repêchage ». Les actions qui ont une très mauvaise note sont fortement pénalisées.

Le principe de la multiplication de ratios est de diviser les valeurs de tous les critères par l'un d'eux (ainsi faire des ratios) et de multiplier entre eux ces ratios. Les études théoriques montrent que le choix du critère « diviseur » n'a pas d'influence significative sur la hiérarchisation finale. La relation mathématique est du type :

$$\text{multiplication de ratios} = \frac{\text{Crit A}}{\text{Crit C}} \times \frac{\text{Crit B}}{\text{Crit C}} \times \frac{\text{Crit D}}{\text{Crit C}}$$

Afin de marquer l'importance des critères les uns par rapport aux autres, une pondération peut être appliquée aux ratios (Roy, 1985) :

$$\text{multiplication de ratios pondérés} = \left( \frac{\text{Crit A}}{\text{Crit C}} \right)^a \times \left( \frac{\text{Crit B}}{\text{Crit C}} \right)^b \times \left( \frac{\text{Crit D}}{\text{Crit C}} \right)^c$$

Le résultat est indépendant de la plus ou moins grande gamme de valeurs que peuvent couvrir les critères. Tout critère quantitatif peut être intégré à ce calcul, quelle qu'en soit son unité. La matrice d'évaluation obtenue est identique à la précédente.

Comme pour la moyenne pondérée, les valeurs numériques obtenues à partir de la matrice d'évaluation sont ordonnées en un classement exhaustif ou total.

Cette méthode est facile d'utilisation avec des critères numériques, couvrant des gammes de valeurs différentes et exprimés avec des unités différentes. Elle est indépendante de la longueur des échelles des différents critères.

Elle ne pratique pas le repêchage de la moyenne pondérée.

Cependant elle fournit un classement unique laissant peu de souplesse quant à la décision à adopter.

De plus, cette méthode ne peut être mise en œuvre que si l'ensemble des critères sont non nuls : c'est une limitation pour rendre compte de certaines situations.

Notons enfin qu'une multiplication simple des critères entre eux (Crit A x Crit B x Crit C x...) sans passer par l'étape « ratio » (comme indiqué dans les équations ci-dessus) permettrait aussi d'obtenir une des résultats cohérents, et ce, malgré des échelles et/ou unités différentes (Schärlig, 1985).

### 3.3.3 LE GOAL PROGRAMMING (GP)

Cette méthode aide le décideur à satisfaire ses objectifs (« goal ») et à évoluer vers une situation de compromis qu'il juge lui-même satisfaisante (Aouni et al., 2006).

Dans cette méthode, les objectifs idéaux sont définis en premier lieu. Ils sont représentés par une valeur optimale des actions possibles (ligne action optimale du Tableau 3). Les valeurs que prend chaque action réelle pour chaque objectif sont déterminées et rapportées dans le Tableau 3. La somme de ces distances permet d'évaluer et de comparer les actions entre elles. L'ensemble de ces données constitue la matrice de distances<sup>1</sup>.

Tableau 3 : Matrice des distances du Goal Programming. Exemple numérique.

	Objectif 1	Objectif 2	Objectif 3
Action optimale	10	5	8
SA1	1	1	5
SA2	3	1	6
SA3	2	5	2
...	...	...	...
SAn	1	4	2

La différence entre la valeur de l'action optimale et la valeur attribuée à chaque action réelle (ici les substances SA1 à SAn) permet d'évaluer chaque action. Cette différence représente la distance entre une action et l'action optimale. Une action est d'autant plus proche de la cible que cette différence ou distance est faible.

---

<sup>1</sup> On constate ici que les « objectifs » de cette méthode sont équivalents aux critères des méthodes précédemment décrites et que la « matrice de distances » est une matrice d'évaluation.

Dans notre exemple, le meilleur compromis est SA2 (Tableau 4).

Tableau 4 : Évaluation des actions par le Goal Programming. Exemple numérique.

	Objectif 1	Objectif 2	Objectif 3	Évaluation des actions
Action optimale	10	5	8	
SA1	9 (= 10-1)	4 (= 5-1)	3 (= 8-3)	16 (= 9+4+3)
SA2	7	4	2	13
SA3	8	0	6	14
...				
SAn	9	1	6	16

Deux variantes de cette méthode existent :

- Le Goal Programming pondéré permet de moduler l'importance des objectifs en leur attribuant des coefficients de pondération.

Tableau 5 : Évaluation des actions par le Goal Programming pondéré. Exemple numérique.

	Objectif 1	Objectif 2	Objectif 3	Évaluation des actions	Évaluation des actions pondérées
Action optimale	10	5	8		
Pondération	0,1	0,9	0,2		
SA1	9	4	3	16	5,1 (=9x0.1+4x0.9+3x0.2)
SA2	7	4	2	13	4,7
SA3	8	0	6	14	2
...					7,1
SAn	9	1	6	16	3

- Ce tableau montre que les pondérations peuvent modifier l'ordre des actions. L'action SA2 est la plus proche de l'action optimale. Cependant, l'action SA3 serait préférée si on tient compte de la pondération proposée.

Il est cependant parfois difficile pour le décideur de quantifier ses préférences entre les objectifs.

- Le Goal Programming lexicographique a été développé pour pallier à cet inconvénient. Au lieu d'appliquer des coefficients de pondération, les objectifs sont classés par ordre de priorité car « *il est plus facile de classer (...) que d'évaluer* » (Roy, 1985).

Le Goal programming exige une analyse initiale poussée des objectifs et, le cas échéant, de leur pondération. Cette analyse peut faire apparaître que certains objectifs n'ont pas de signification dans le choix final. Ceux-ci sont alors exclus, et au besoin, remplacés par de nouveaux objectifs.

Une variante de cette méthode, le Goal-Programming interactif, a été développée pour les cas où une connaissance exhaustive de l'ensemble des critères est impossible a priori. Des choix initiaux sont faits mais de nouveaux objectifs peuvent être ajoutés par la personne qui met en œuvre la méthode.

Cette méthode est flexible et peut donc s'appliquer à de nombreuses situations. Pour être mise en œuvre, ses objectifs doivent être quantifiables. Le Goal Programming interactif permet au décideur de s'approcher de sa décision en affinant progressivement ses objectifs ou critères de choix.

Le Goal Programming convient bien aux stages initiaux du processus de décision lorsque les cibles sont définies mais les solutions à proposer sont encore peu claires.

Cette approche peut être particulièrement adaptée pour établir un programme d'actions prioritaires de réduction de rejets de substances chimiques (par exemple traitement des rejets par stations d'épuration, mesures de réduction ou d'interdiction d'émission, mise en œuvre de mesures pour limiter la pollution diffuse...) pour atteindre un but prédéfini (par exemple le bon état écologique d'une masse d'eau (« goal ») mesuré à travers les concentrations de polluants (« objectifs »)).

### 3.3.4 MAUT : MULTIPLE ATTRIBUTE UTILITY THEORY

La Multiple Attribute Utility Theory (ou méthode MAUT) est utilisée dans de nombreux domaines (aide à la décision, économie, finances...). A titre d'exemple, elle fut utilisée pour aider les négociations entre États aux États Unis pour choisir la politique à adopter pour le problème des pluies acides (Ben Mena, 2000; Vincke, 1989).

La méthode MAUT classe les actions ou les solutions à un problème en fonction de leur « utilité ». L'utilité est représentée par une fonction qui optimise les préférences du décideur sur l'ensemble des critères. La « meilleure solution » est celle pour laquelle la fonction prend une valeur maximum. La fonction a, le cas échéant, également pour rôle d'éliminer les différences d'unité entre les critères.

La fonction d'utilité est construite par l'animateur à partir d'entretiens qu'il a avec le décideur. Ces entretiens permettent de déterminer la forme de la fonction qui exprime le mieux les préférences du décideur. Plusieurs formes de fonction (additives, multiplicatives, mixtes...) ont été utilisées.

Cette méthode a pour objectif de s'approcher au mieux des préférences du décideur mais la construction de la fonction d'utilité et l'estimation de ses paramètres peut être laborieuse. Par ailleurs, une fois passée l'étape de l'entretien avec le développeur, le décideur a potentiellement peu d'influence sur le développement et la mise en œuvre de cette méthode.

Par exemple, réaliser une classification des substances phytosanitaires avec cette méthode suivrait le cheminement suivant :

- L'animateur interroge le décideur et lui demande d'évaluer les substances qui selon lui pourraient contaminer le plus des cours d'eau.
- A la fin de cet entretien, il ressort que le décideur classe les substances en fonction de la quantité utilisée, de leur solubilité, de leur rémanence dans l'environnement et de leur affinité pour le sol.
- L'animateur en déduit que la fonction d'utilité sera de la forme :

$$U(\text{SA}) = \alpha f_{\text{quantité}}(\text{SA}) + \beta f_{\text{solubilité}}(\text{SA}) + \gamma f_{\text{hydrolyse}}(\text{SA}) + \delta f_{\text{koc}}(\text{SA})$$

où  $U$  est la fonction d'utilité globale,

$f_{\text{quantité}}$ ,  $f_{\text{solubilité}}$ ,  $f_{\text{hydrolyse}}$ ,  $f_{\text{Koc}}$  sont les fonctions d'utilité pour chaque critère,

SA une substance considérée

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  les coefficients de pondération des différentes fonctions.

*Exemple (non optimisé) de fonction d'utilité :*

$f_{\text{quantité}}(SA) = \text{Quantité}(SA) - \text{Quantité min}$  : Plus la substance est utilisée, plus  $f_{\text{quantité}}$  est grande.

$f_{\text{solubilité}}(SA) = \text{Solubilité}(SA) - \text{Solubilité min}$  : Plus la substance est soluble, plus  $f_{\text{solubilité}}$  est grande.

$f_{\text{stabilité}}(SA) = \text{DT50}(SA) - \text{DT50 min}$  : Plus la substance est stable, plus  $f_{\text{stabilité}}$  est grand.

$f_{\text{Koc}}(SA) = \log(\text{Koc max}) - \log(\text{Koc}(SA))$  : plus la substance est liée aux particules du sol, plus  $f_{\text{Koc}}$  est petit.

*Si  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  sont des pondérations positives, la fonction d'utilité d'une substance*

- L'animateur ajuste les fonctions et leurs coefficients pour que les résultats de la fonction  $U(SA)$  pour quelques substances familières au décideur correspondent aux choix qu'il aura décrits au cours des entretiens.
- $U(SA)$  est calculée pour toutes les substances, ce qui permet de les classer entre elles.

La plus grosse difficulté associée à la mise en œuvre de la méthode MAUT est la construction de la fonction d'utilité (c'est à dire dans l'exemple ci-dessus la détermination des fonctions  $f_{\text{quantité}}$ ,  $f_{\text{solubilité}}$ ...). Ces fonctions sont généralement linéaires. À titre d'exemple (non optimisé), une fonction d'utilité est donnée dans l'encadré ci-dessous.

Il existe plusieurs approches possibles pour construire une fonction d'utilité. Nombre d'entre elles sont basées sur des équations statistiques. Une telle approche a de l'intérêt lorsqu'une incertitude importante existe sur les valeurs des critères. La méthode UTA (utilités additives) consiste à déterminer une fonction d'utilité optimale puis à réaliser une analyse de sensibilité.

Il est reproché à l'approche MAUT de ne faire intervenir qu'assez peu le décideur dans le choix final.

La méthode MAUT présente deux avantages majeurs : elle s'affranchit des différences d'unités entre les critères et si la fonction d'utilité est correctement développée et elle simule mathématiquement le processus de décision du décideur.

### 3.3.5 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

La méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) organise les alternatives d'un problème, ainsi que leur(s) critère(s), sous la forme d'une structure hiérarchique (Saaty, 1980). Cette hiérarchisation permet de mettre en évidence les critères qui auront un impact dans la décision finale.

Cette méthode est utilisée dans de nombreux domaines : choix gouvernementaux, industrie, éducation et santé...

La première étape de cette méthode est de hiérarchiser les critères, des plus généraux aux plus spécifiques. Plus la hiérarchisation des critères comprend de niveaux, plus le nombre de critères est grand, plus l'importance de chaque critère dans le choix final diminue. La Figure 2 permet de visualiser la hiérarchisation des critères pris en compte pour le classement des substances actives. Dans cet exemple, la DT 50 a moins d'importance que la solubilité ou la quantité utilisée dans la hiérarchisation finale.

Les substances actives se trouvent au dernier niveau. Elles sont toutes représentées pour chaque critère.

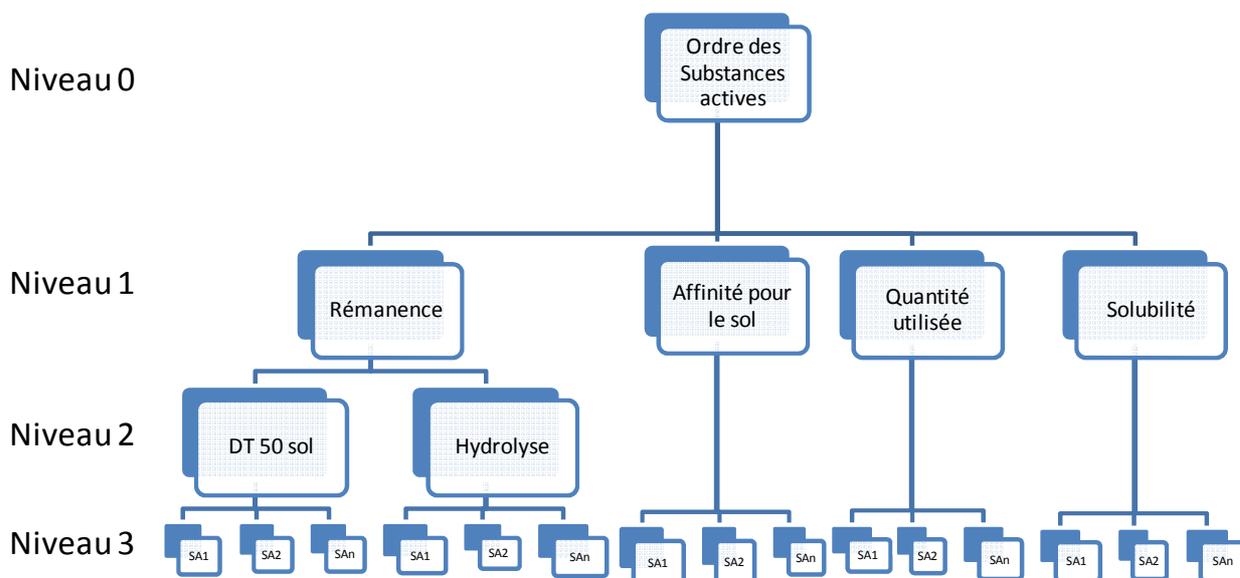


Figure 2 : Hiérarchisation des critères pour la classification des substances par la méthode AHP sur 3 niveaux.

La deuxième étape consiste à comparer à deux éléments de chaque niveau. Cette comparaison se fait à l'aide de l'échelle décrite dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Correspondances entre valeurs numériques et évaluation verbale des comparaisons des critères.

Échelle numérique	Définition verbale
1	Les deux éléments sont de la même importance
2	Un élément est un peu plus important que l'autre
3	Un élément est plus important que l'autre
4	Un élément est beaucoup plus important que l'autre
5	Un élément est absolument plus important que l'autre

On obtient des matrices carrées du type (Tableau 7) :

Tableau 7 : Matrice de comparaison des critères de premier niveau (méthode AHP).

	Rémanence	Affinité pour le sol	Quantité utilisée	Solubilité
Rémanence	1	1/2	3	2
Affinité pour le sol	2	1	4	3
Quantité utilisée	1/3	1/4	1	1/2
Solubilité	1/2	1/3	2	1

Cette matrice indique que la quantité utilisée est estimée un peu plus importante que la solubilité et beaucoup plus importante que l'affinité pour le sol.

Une telle matrice est réalisée à tous les niveaux hiérarchiques. Au dernier niveau qui contient les alternatives possibles, la matrice reflète directement les valeurs numériques attribuées aux substances pour chaque critère. À ce niveau (3 de la Figure 2), les substances sont classées en fonction de leurs valeurs de quantité utilisées, de solubilité, etc.

L'importance relative des éléments de ces matrices est identifiée par le vecteur propre de chacune de ces matrices. Le score d'évaluation global de chacune des substances est calculé, également à partir d'un calcul matriciel.

La méthode permet également d'évaluer la cohérence des jugements réalisés pour établir les matrices de comparaison (du type de celle présentée dans le Tableau 7). Cette évaluation est faite à travers un indice de cohérence.

Il est enfin conseillé de réaliser une analyse de sensibilité sur les évaluations pour confirmer la robustesse du résultat final.

### 3.3.6 CONCLUSIONS SUR LES METHODES D'AGREGATION TOTALE

Toutes ces méthodes présentent un avantage commun, elles permettent d'obtenir une liste ordonnée complète. Ce sont des méthodes de type gamma. Roy (1985) décrit cette liste comme « une réponse synthétique, exhaustive et définitive au problème ».

Parmi les points faibles de ces méthodes, on soulignera :

- La compensation, ou repêchage, lorsque une mauvaise performance sur un critère est « cachée » par la bonne performance des autres critères.
- La mise en avant d'une solution unique (la solution optimale qui arrive en tête de classement), sans nécessairement indiquer si les solutions suivantes dans le classement sont proches ou non. Il peut s'avérer utile pour le décideur d'évaluer plusieurs solutions proches à travers des critères non pris en compte initialement.
- La nécessité d'évaluer certains critères sur une échelle numérique qui peut être subjective et manquer de transparence, voire de répétabilité.

### 3.4 LES METHODES D'AGREGATION PARTIELLE

Les méthodes d'agrégation partielle ont pour objectif de refléter certaines hésitations du décideur. Pour ces méthodes, l'objet a est « meilleur » que l'objet b s' « il y a suffisamment d'arguments pour admettre que a est au moins aussi bon que b sans qu'il y ait de raisons importantes de refuser cette affirmation [a est au moins aussi bon que b] » (Vincke, 1989). Pour mettre en œuvre cette approche, les notions d'incomparabilité et d'intransitivité entre les objets à classer sont introduites.

L'intransitivité des jugements se résume par les relations suivantes : si  $a > b$  et  $b > c$ , cela n'implique pas nécessairement que  $a > c$  (a, b et c étant des actions ou des substances à classer).

En introduisant l'incomparabilité, on admet que dans certains cas il n'est pas possible de déterminer la meilleure option entre deux actions. Par exemple, si sur deux critères a est meilleure que b et sur deux autres critères b est meilleure que a, si ces 4 critères ont la même importance, il n'est pas possible de dire si a est meilleure que b ou l'inverse.

Les méthodes d'agrégation partielle proposent un classement « partiel » car il ne met en évidence que les éléments les plus sûrs parmi les solutions possibles.

Ces méthodes sont mises en œuvre en deux temps :

- 1- Les objets sont comparés, généralement deux à deux, pour déterminer lequel surclasse l'autre ;
- 2- Une synthèse de ces surclassements est réalisée à partir de laquelle les éléments « les plus sûrs » sont identifiés. Cette synthèse prend en compte et illustre les relations d'incomparabilité et d'intransitivité entre les objets classés.

Ces méthodes sont également dénommées des « surclassements de synthèse ».

Les différentes méthodes se différencieront sur deux aspects :

- par la façon d'effectuer les comparaisons des alternatives deux à deux;
- par la façon de réaliser la synthèse.

Les sections ci-dessous présentent les méthodes ELECTRE, PROMETHEE, MACBETH et SIRIS-solution.

#### 3.4.1 ELECTRE (ÉLIMINATION ET CHOIX TRADUISANT LA REALITE)

La première méthode ELECTRE date de 1968 et a été élaborée par Bernard Roy (Roy, 1968). Au cours des années, et pour répondre aux contraintes de différents processus de décision, la méthode ELECTRE s'est enrichie. Il existe aujourd'hui ELECTRE I, II, III, IV et ELECTRE Tri. Les principales caractéristiques des méthodes ELECTRE sont présentées dans cette section.

Pour ELECTRE, « une action en surclasse une autre si elle est au moins aussi bonne que l'autre relativement à une majorité de critères sans être trop nettement plus mauvaise que cette autre relativement aux autres critères » (Schärlig, 1985). Cette approche met en œuvre deux principes :

- la concordance : une certaine majorité de critères permettent de surclasser une action par rapport à une autre ;
- la non-discordance : il n'y a aucun critère qui disqualifie l'action surclassée par rapport à l'autre.

Ces principes sont traduits pour chaque couple d'actions comparées deux à deux en indices chiffrés selon des règles bien définies (pour davantage de détails, se référer aux ouvrages de référence dont Schärli (1985)). Ces indices sont rassemblés dans des matrices de concordance et de discordance qui servent à l'étape de synthèse. Celle-ci s'appuie sur la théorie des graphes pour analyser chacun des indices et identifier l'action ou la solution qui apparaît la meilleure.

ELECTRE I met en œuvre uniquement les principes énoncés ci-dessus. Pour mieux refléter les processus de décision, les méthodes ELECTRE II à IV font également intervenir d'autres concepts :

- Les *seuils de préférence* : une alternative est préférée à une autre dès que la différence entre ces deux alternatives est supérieure à ce seuil de préférence.
- Les *seuils d'indifférence* : le décideur ne sait pas faire de distinction entre deux alternatives quand leur différence est inférieure à ce seuil.
- Le *seuil de véto* : il permet de prendre en compte un seuil d'inacceptabilité.

Ces seuils sont fixés indépendamment pour chaque critère par le décideur en accord avec les parties prenantes.

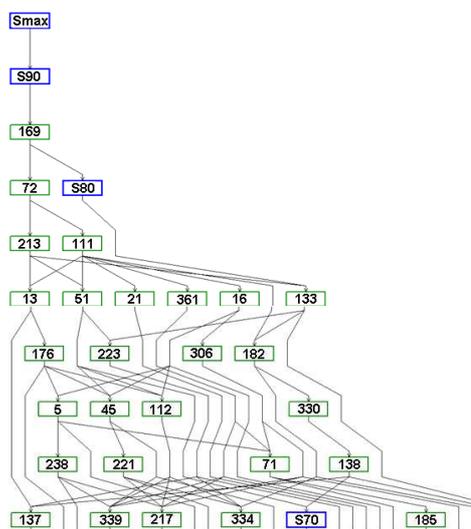
- La *logique floue* : L'utilisation de la logique floue permet de limiter les effets de seuil. en choisissant non plus une valeur unique comme seuil, mais un intervalle (compris entre deux valeurs déterminant des classes).

Les méthodes ELECTRE peuvent utiliser des critères quantitatifs ou qualitatifs décrits sur des échelles différentes. Les critères peuvent être pondérés. ELECTRE I donne un classement de type alpha (une ou quelques actions sont meilleures que les autres actions qui ne sont pas classées entre elles). ELECTRE II, III et IV répondent aux problématiques de type gamma.

L'approche ELECTRE offre une modélisation claire des préférences et des attentes du décideur. Sa méthodologie est simple mais la lecture de ses résultats, sous forme d'arbres (Figure 3), est plus laborieuse. Ces arbres peuvent toutefois être simplifiés en listes, moins riches en information, mais d'une lecture et d'une présentation plus simples.

Le logiciel ELECTRE est disponible en version d'essai sur la page Web suivante : [www.lamsade.dauphine/logiciel.fr](http://www.lamsade.dauphine/logiciel.fr)

La méthode ELECTRE III a été utilisée à l'INERIS pour construire l'outil SPH'AIR. Celui-ci a pour objectif d'ordonner les pesticides en fonction de leur présence et de leur persistance dans l'atmosphère, de leur toxicité pour les humains et des quantités utilisées. Sph'Air propose des listes prioritaires à différentes échelles, régionales ou nationales pouvant compter plusieurs centaines de produits phytosanitaires. La Figure 3 représente un résultat de l'outil Sph'Air. Dans cet exemple, les substances à surveiller en priorité selon les critères énoncés ci-dessus sont celles qui sont représentées en tête d'arbre (169 : Fluazinam ; 72 : chlorothalonil ; 213 : Ioxynil ; 111 : Dichlorvos...). Les substances dénotées Smax, S90, S80... sont des substances « virtuelles » qui servent de repères dans la classification.



Tree number	Substance	Tree number	Substance
169	Fluazinam	182	Flusilazole
72	Chlorothalonil	45	Bitertanol
213	Ioxynil	112	Diclofop-Methyl
111	Dichlorvos	5	2,4-MCPA
13	Aclonifen	330	Sulcotrione
51	Bromoxynil-Octanoate	221	Lambda-Cyhalothrin
16	Aldicarb	238	Metamitron
133	Diuron	138	Epoxiconazole
361	Tri-allate	71	Chlormequat chloride
21	Amitrole	217	Isoproturon
176	Fluquinconazole	334	Tebuconazole
223	Linuron	339	Tefluthrin
306	Prosulfocarb	137	Endosulfan

Figure 3 : Exemple d'arbre de résultats obtenu avec ELECTRE III. Chaque case représente une substance, chaque flèche représente une relation de surclassement. Le tableau donne les correspondances entre chiffres et noms de substances.

Dans l'état actuel de son développement, le logiciel ELECTRE n'est pas d'une utilisation très conviviale, en particulier parce que les graphes sont difficiles à reproduire et à exploiter. Ce type d'inconvénient est cependant facilement surmontable par des développements informatiques et ne remet pas en cause la validité et les qualités de la méthode.

### 3.4.2 PROMETHEE

Les méthodes PROMETHEE ont été développées à partir des années 1980 (Brans and Mareschal, 2001; Halouani et al., 2009). Ces méthodes sont basées sur le surclassement défini par Bernard Roy comme dans le cas des méthodes ELECTRE.

Les méthodes PROMETHEE introduisent six types de critères. Ils se distinguent par la façon dont on déclare qu'une action est meilleure, indifférente ou faiblement préférable à une autre, comme représenté graphiquement sur la Figure 4. Le critère 1 est un « vrai critère », les critères 2 et 3 sont des « quasi critères » et les critères 4, 5 et 6 sont des « pseudos critères ».

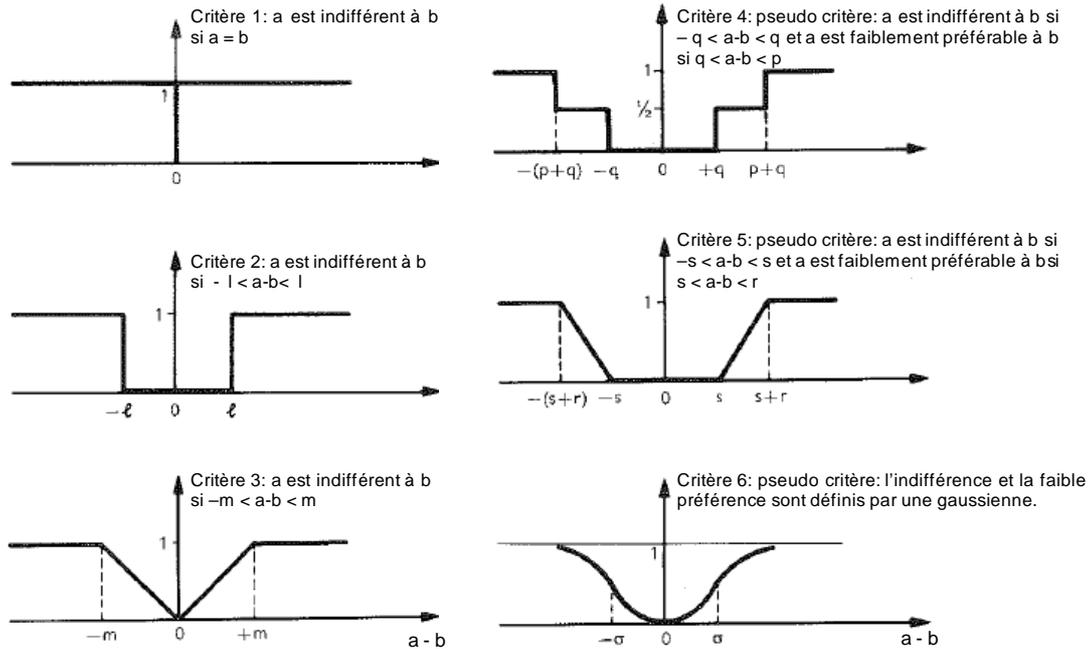


Figure 4 : Représentation graphique des 6 types de critères de la méthode PROMETHEE. Repris de (Schärlig, 1985).

Selon les concepteurs de PROMETHEE, l'utilisation de ces différents types de critères permet de reproduire les schémas de pensée utilisés lors du processus de décision. Le décideur pourra identifier à quel type appartient chaque critère qu'il choisit d'utiliser et décider de la valeur des paramètres nécessaires à chacun.

PROMETHEE compare toutes les paires d'actions pour chaque critère pour construire une matrice de jugement. Toutes ses valeurs sont comprises entre 0 et 1. Les indices de concordance et de discordance sont ensuite calculés. L'indice de discordance ne peut prendre comme valeurs que 0 (l'action a peut surclasser l'action b) ou 1 (l'action a ne peut pas surclasser l'action b). Il peut donc être assimilé à un indice de veto.

La méthode PROMETHEE est plus simple que les méthodes ELECTRE à la fois dans le calcul de l'indice de discordance et dans le calcul des relations de surclassement entre les actions (que nous n'explicitons pas ici mais qui sont assimilées à un calcul de flux). Il sera en conséquence plus simple de les expliquer et la mise en œuvre de la méthode sera facilitée.

En revanche, les résultats de PROMETHEE sont moins nuancés que ceux d'ELECTRE. L'évaluation des relations entre les actions est moins fine.

PROMETHEE I réalise des classements partiels dans lesquels l'incomparabilité est possible (méthode bêta) alors que les classements de PROMETHEE II sont totaux, l'incomparabilité entre les actions n'est pas admise (méthode gamma).

PROMETHEE permet d'utiliser des critères exprimés sur des échelles différentes et d'appliquer des poids à ces critères. Deux logiciels, PROMCALC et GAIA, permettent de réaliser les calculs et d'exploiter les résultats de cette méthode (Mareschal, 1988; Mareschal and Brans, 1988). Le logiciel GAIA permet en particulier de visualiser d'éventuels conflits entre certains critères et d'identifier de possibles compromis. Un site internet est consacré à la description et à la promotion de ces logiciels (<http://promethee-gaia.net/>). Une version bêta est disponible pour évaluation et une version commerciale est annoncée pour la fin 2009.

### 3.4.3 MEASURING ATTRACTIVENESS BY A CATEGORICAL BASED EVOLUTION TECHNIQUE MACBETH

La méthode MACBETH (Mesurer l'attractivité par une technique d'évaluation basée sur des catégories) est une approche qui compare les actions en fonction de leur attrait pour le décideur. La méthode est conçue pour utiliser uniquement des critères qualitatifs mais des critères quantitatifs peuvent également être introduits. Les critères peuvent être pondérés. Cette méthode a été développée par Carlos Bana e Costa, JM De Corte et JP Vansvick (Schärlig, 1985). Elle est présentée sur internet et un logiciel, M-MACBETH, la mettant en œuvre est en vente (<http://www.m-macbeth.com/fr/index.html>).

L'originalité de la méthode diffusée sur internet est de proposer au décideur un cadre pour l'accompagner tout au long de son processus de décision divisé en étapes de structuration, d'évaluation, de discussion et de recommandations. L'approche est itérative : Le décideur peut à tout moment modifier les valeurs proposées par l'outil. Le décideur donne un avis qualitatif sur les critères, leur importance, sur son évaluation des actions. Ces avis qualitatifs sont transformés par l'outil sur une échelle normée et peuvent être modifiés par le décideur. Le décideur remplit également les matrices de jugement, une par critère. Il compare les actions deux à deux et indique ses préférences dans la matrice. Le logiciel vérifie la cohérence des informations au fur et à mesure qu'elles sont entrées.

Une fois toutes les actions classées, le logiciel permet de réaliser une évaluation de la sensibilité et de la robustesse des résultats.

MACBETH classe toutes les actions entre elles selon une échelle d'attrait. C'est une méthode de type gamma.

### 3.4.4 LA MÉTHODE SIRIS (SYSTEM OF INTEGRATION OF RISK WITH INTERACTION OF SCORES)

SIRIS a été développée depuis les années 1980 par Jouany et Guerbet de l'Université de Rouen (Guerbet and Jouany, 2002; Jouany and Dabène, 1994; Jouany et al., 1983). La méthode a été informatisée par un cabinet de consultants et est donc disponible sous la forme du logiciel SIRIS-Solution ([http://www.geo-hyd.com/produits\\_fr.html](http://www.geo-hyd.com/produits_fr.html)).

La méthodologie SIRIS est une méthode mathématique dite « hiérarchique de rang ». Elle permet de classer des actions sur une échelle allant de 0 à 100. C'est une méthode de type gamma. Les critères utilisés dans SIRIS peuvent être quantitatifs ou qualitatifs.

Cette méthode a deux caractéristiques principales :

1. Un système d'inéquations entre les critères et les valeurs qu'ils peuvent prendre (appelées ici modalités) est établi plutôt qu'un système d'équations (Tableau 8). De plus, il est proposé au décideur de classer les critères par ordre d'importance plutôt que de les pondérer (première ligne du Tableau 8).

Tableau 8 : Système d'inéquations de la méthode SIRIS pour trois critères. o, m et d sont les modalités (o : favorable, m : médian, d : défavorable).

Critère 1	>	Critère 2	>	Critère 3
o	=	o	=	o
^		^		^
m	>	m	>	m
^		^		^
d	>	d	>	d

Ce tableau résume les règles de hiérarchisation<sup>2</sup>. Il indique par exemple :

- qu'une substance dont la modalité est o pour le premier critère est mieux classée qu'une substance classée m ou d.
  - qu'une substance dont les modalités sont o, o, m est mieux classée qu'une substance dont les modalités sont o, m, o.
2. Le déclassement par pénalisation : Une fois les critères, leurs modalités et leur ordre d'importance définis, toutes les combinaisons de modalités sont considérées et classées de la meilleure à la plus défavorable. Ces deux cas extrêmes peuvent être uniquement théoriques et ne correspondre à aucun cas réel. Une pénalité (valeur numérique) est ensuite calculée pour chaque modalité en fonction de sa valeur et de l'ordre des critères. La somme des pénalités pour une combinaison de critères donne le rang de cette combinaison. Plus le rang est élevé, plus l'action est à risque.

Les règles de calcul des pénalités sont bien définies et relativement simples à décrire. La matrice de jugement est constituée de l'ensemble des combinaisons de modalités et des rangs qui leur sont associés. Elle est appelée « grille de pénalité ». C'est à partir de cette grille que tout cas réel est évalué. Plusieurs combinaisons de pénalités peuvent être équivalentes et avoir le même rang.

Dans SIRIS, chaque critère est défini par un nombre fini de modalités. Dans l'outil SIRIS-Pesticides mis à jour à l'INERIS en 2006<sup>3</sup>, les critères ont entre trois et cinq modalités. Ces modalités couvrent chacune une gamme de valeurs, indiquées dans le tableau ci-dessous. L'utilisation de modalités ainsi définies permet de définir des préférences par rapport à des gammes de valeurs mais introduit des effets de seuil. Ainsi une substance dont le Koc est de 1001 a une modalité o, alors qu'une substance de Koc 1000 a une modalité m. Selon l'ordre choisi des critères, cela peut conduire à une différence de plus de 10 rangs entre ces deux substances.

---

<sup>2</sup> Dans la méthode SIRIS une action est d'autant plus favorable qu'elle a un rang faible. Cela explique l'ordre  $o < m < d$ .

<sup>3</sup> <http://www.ineris.fr/siris-pesticides/>

Tableau 9 : Valeurs des modalités pour les critères de SIRIS-Pesticides pour les eaux de surface. o, m et d sont les valeurs des modalités.

Critères	o	m	d
Koc (L.kg <sup>-1</sup> )	-----> 1000 ≥-----> 100 ≥----- -----		
Solubilité (mg.l <sup>-1</sup> )	-----< 10 ≤-----< 200 ≤----- -----		
DT50 (jours)	-----< 8 ≤-----< 30 ≤----- -----		
Hydrolyse (jours)	-----< 30 ≤-----< 60 ≤----- ----- ----Instable-----stable----- stable---		très

### 3.4.5 CONCLUSION DES METHODES D'AGREGATION PARTIELLE

Les méthodes d'agrégation partielle permettent de prendre en compte des critères exprimés sur des échelles différentes et évitent les phénomènes de compensation. Elles permettent d'intégrer les incertitudes, voire certains doutes, des décideurs. Leur mise en œuvre est facilitée par l'utilisation de logiciels qui pour la plupart sont commercialisés.

L'interprétation de leurs résultats est souvent plus laborieuse que celle des méthodes d'agrégation totale. Elle ouvre donc la discussion et aide à la construction d'un consensus entre les parties prenantes.

### 3.5 LES METHODES D'AGREGATION LOCALE ET ITERATIVE

La troisième classe de méthodes rassemble les méthodes dites d'agrégation locale et itérative. Elles sont basées sur un principe simple : Il est possible de trouver une solution approximative au problème puis de l'affiner à l'aide d'outils mathématiques et en demandant au décideur d'affiner ses critères (donc d'en rajouter) ou de mieux les définir (en donner une évaluation plus précise). Elles permettent donc un processus d'apprentissage autour d'une problématique ou la recherche d'une solution optimale. Elles sont locales car par hypothèse, la solution optimale est recherchée localement autour de la première solution approximative. Elles sont itératives parce qu'elles nécessitent un dialogue entre l'animateur qui met en œuvre la méthode et le décideur qui choisit et évalue les critères et qui décide des concessions sur certains critères pour trouver la solution optimale. C'est également lui qui décide quand la solution idéale est trouvée, ce qui arrête le processus d'itération.

En pratique, ces méthodes sont basées sur des théories mathématiques complexes. Certaines sont élaborées à partir des méthodes décrites dans les sections précédentes, en particulier les fonctions d'utilité.

Plusieurs méthodes itératives locales (Programmation Linéaire Multicritère, STEM,...) sont décrites dans les ouvrages de (Schärlig, 1985; Vincke, 1989). Pour davantage d'informations sur ces méthodes, nous renvoyons le lecteur vers ces ouvrages et les publications originales (Benayoun et al., 1971; Roy, 1975; Wierzbicki, 1986; Zionts and Wallenius, 1983).

## **4. CONCLUSIONS**

Le processus de décision, quel qu'il soit, est amélioré s'il bénéficie d'une approche structurée. C'est dans cette optique qu'ont été conçus les outils d'aide à la décision décrits dans ce rapport. Lorsqu'il y a plusieurs parties prenantes à une problématique, ces outils sont utiles pour organiser des discussions et atteindre un consensus sur une décision finale. Celle-ci désigne la solution optimale, mais pas forcément idéale, ou un ensemble de solutions préférables.

Les outils d'analyse multicritère permettent d'agréger de façon systématique un nombre important d'informations, bien au-delà de ce que sait faire l'esprit humain. Ce sont donc des outils de comparaison entre les réponses potentielles à une question.

Ce rapport montre qu'il existe plusieurs types de méthodes d'analyse multicritère et plusieurs façons de les classer : Agrégations totales, agrégations partielles, méthodes itératives, méthodes alpha, bêta, gamma... Le choix d'une méthode dépend de la problématique et des résultats escomptés. C'est donc une étape importante du processus de décision.

Pour informer sur les options de ce choix, une synthèse des caractéristiques principales des méthodes décrites dans le rapport est présentée dans le Tableau 10.

La mise en œuvre de ces outils peut requérir l'expertise d'une personne qui sera au service des décideurs et parties prenantes.

Ces outils sont à mettre en œuvre lors d'un processus de décision qui peut, selon les cas, être relativement complexe et long et faire intervenir des experts et des membres de la société civile. Le recours à un animateur connaissant bien les outils et les conditions de leur mise en œuvre peut alors être utile notamment pour les aspects de gestion de la connaissance et des préférences.

**Tableau 10 : Caractéristiques principales des méthodes d'agrégation multicritère présentées dans ce rapport.**

Méthodes multicritères	Type d'agrégation	Critères	Pondération	Avantages	Inconvénients	Bibliographie	Disponibilité du logiciel
Somme pondérée = WSM	Totale	Quantitatifs	Oui	Simple, connue, pas de modification du problème sous-jacent	Repêchage des critères, nécessité d'homogénéité des unités et des échelles des critères	Schärlig, 1985	applicable sur Excel
Multiplication de "ratios" = WPM	Totale	Quantitatifs	Oui (exposants des ratios)	Homogénéité entre les critères, élimination des mauvaises actions	Valeurs nulles des critères impossibles.	Schärlig, 1985	applicable sur Excel
Goal-Programming GP	Totale	Quantitatifs	Oui	Convient bien aux stages initiaux du processus de décision	Pas de critères qualitatifs	Aouni et al., 2006	applicable sur Excel (version pondérée)
MAUT = Multiple Attribute Utility Theory	Totale	Quantitatifs et qualitatifs	Oui	s'accommode d'échelles ou d'unités de critères différents. Représente mathématiquement le processus de décision.	Peu d'intervention du décideur. Difficulté d'établir les fonctions d'utilité.	Schärlig, 1985; Keeney and Raiffa, 1976	Disponible : logiciel PREFALC
AHP = Analytic Hierarchy Process	Totale	Quantitatifs et qualitatifs	Oui (normalisé à 1)	Grande flexibilité, éventail varié de problèmes non structurés	Comparaisons par le décideur des critères et des alternatives potentiellement délicates	Belton and Stewart, 2002	Disponible : logiciel FabACT
ELECTRE 1 = Élimination Et Choix Traduisant la Réalité	Partielle par surclassement	Qualitatifs et quantitatifs	Oui	Première méthode de surclassement. Adaptée aux problèmes de choix entre alternatives	Effets de seuils importants. Modélisation (trop) simple du processus de décision. Vrais critères uniquement.	Schärlig, 1996 ; Vincke, 1989	Disponible (LAMSADE, université Paris Dauphine)

Méthodes multicritères	Type d'agrégation	Critères	Pondération	Avantages	Inconvénients	Bibliographie	Disponibilité du logiciel
ELECTRE 2 = Élimination Et Choix Traduisant la Réalité	Partielle par surclassement	Qualitatifs et quantitatifs	Oui	Représente la préférence, l'indifférence et le veto du décideur devant deux alternatives par des valeurs fixes	Vrais critères uniquement	Schärlig, 1996 ; Vincke, 1989	Disponible (LAMSADE, université Paris Dauphine)
ELECTRE 3 = Élimination Et Choix Traduisant la Réalité	Partielle par surclassement	Qualitatifs et quantitatifs	Oui	Représente la préférence, l'indifférence et le veto du décideur devant deux alternatives par des un indice compris entre 0 et 1 (introduction du quasi-critère et du flou). Résultats stables.	Mise en œuvre de tout le potentiel de cette méthode délicat. Pas d'interprétation physique de certains paramètres (seuils de discordance, de veto..). Résultats parfois difficiles à interpréter.	Schärlig, 1996; Vincke, 1989	Disponible (LAMSADE, université Paris Dauphine)
ELECTRE 4 = Élimination Et Choix Traduisant la Réalité	Partielle par surclassement	Pseudo-critères car associés à des seuils (logique floue)	Non	Pas de pondération des critères mais aucun critère ne peut être prépondérant ni négligeable par rapport aux autres. Utilise la logique floue.	Peu de flexibilité dans les calculs.	Schärlig, 1996 ; Vincke, 1989	Disponible (LAMSADE, université Paris Dauphine)
PROMETHEE = Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations	Partielle par surclassement	Qualitatifs et quantitatifs	Critères pris en compte dans l'ordre de préférence exprimé par le décideur	Méthode proche d'Electre III mais paramétrage relié à des grandeurs physiques compréhensibles par le décideur.	Seuils d'indifférence et de préférence constants. Pas de notion de discordance.	Schärlig, 1996 ; Vincke, 1989	Disponible : PROMETHEE-GAIA

Méthodes multicritères	Type d'agrégation	Critères	Pondération	Avantages	Inconvénients	Bibliographie	Disponibilité du logiciel
MACBETH = Measuring Attractiveness By a Categorical Evaluation Technique	Partielle par surclassement	Qualitatifs	Pondération exprimée sur une échelle d'évaluation	Méthode interactive. L'outil associé permet de réaliser une étude de sensibilité.		Bana e Costa and Vansnick, 1997	Disponible : logiciel M-MACBETH
SIRIS	Partielle par surclassement	Qualitatifs et quantitatifs	Critères pris en compte dans l'ordre de préférence exprimé par le décideur	Simplicité de mise en œuvre et d'interprétation des résultats.	Résultats soumis à des effets de seuils sur les critères.	Jouany et al, 1983	Disponible : SIRIS solution (adapté à l'INERIS pour SIRIS-pesticides)

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- Aouni, B., Hassaine, A., and Martel, J.-M. (2006). Les préférences du décideur dans le goal-programming : état de l'art et perspectives futures. *6ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulations: Modélisation Optimisation et Simulation des Systèmes*, 3 - 5 avril 2006, Rabat, Maroc
- Bana e Costa, C. A., and Vansnick, J.-C. (1997). Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. *Journal of multi-criteria analysis*, 6, 107-114.
- Belton, V., and Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis : an integrated approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA. pp 396.
- Ben Mena, S. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *BASE : Biotechnologies Agronomy Social Environment*, 12.
- Benayoun, R., de Montgolfier, J., Tergny, J., and Larichev, O. (1971). Linear programming with multiple objective functions: STEP method (STEM). *Mathematical programming*, 1, 366-375.
- Brans, J.-P., and Mareschal, B. (2001). *Prométhée - Gaia: Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*, Editions de l'université de Bruxelles, Série: Statistique et mathématiques appliquées, Bruxelles, Belgique. pp 192.
- Bouyssou, D., Dubois, D., and Pirlot, M., eds. (2009). *Decision-Making Process: Concepts and Methods*, pp. 1-928. ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc, London, UK Caillet, R. (2003). *Analyse multicritère : Etude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie.*, Rep. No. 2003s-53. Séries Scientifiques, Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations, Montréal, Canada. pp 50.
- Communities and Local Government (2009). *Multicriteria analysis: a manual*. Department for Communities and Local Government, London, UK. pp 168.
- Devillers, J., Farret, R., Girardin, P., Rivière, J.-L., and Soulas, G. (2005). Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides. (Lavoisier, ed.), pp. 278, Paris. pp 278.
- Grammont, V. (2009). Hiérarchisation des substances : Identification des listes existantes de substances prioritaires, Rep. No. DRC-09-104007-10463A. INERIS, Verneuil en Halatte, France. pp 66.
- Guerbet, M., and Jouany, J. M. (2002). Value of the SIRIS method for the classification of a series of 90 chemicals according to risk for the aquatic environment. *Environmental Impact Assessment Review*, 22 (4), 377-391.
- Halouani, N., Chabchoub, H., and Martel, J.-M. (2009). PROMETHEE-MD-2T method for project selection. *European Journal of Operational Research*, 195, 841-849.
- Jouany, J. M., and Dabène, E. (1994). *Classements des substances actives phytosanitaires en vue de la surveillance de la qualité des eaux à l'échelle nationale*. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Direction de l'espace rural et de la forêt, Paris, France
- Jouany, J. M., Vaillant, M., Blarez, B., Cabridenc, R., Ducloux, M., and Schmitt, S. (1983). Une méthode qualitative d'appréciation des dossiers en écotoxicologie : cas des substances chimiques. *Bulletin des Sciences Vétérinaires et de Médecine Comparée*, 85 (4-5), 3-23.
- Keeney, R., and Raiffa, H. (1976). *Preferences and value tradeoffs*, Wiley, New York, USA. pp 569.

- Mareschal, B. (1988). Weight stability intervals in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational research*, 33, 54-64.
- Mareschal, B., and Brans, J. P. (1988). Geometrical representation for MCDA. *European Journal of Operational research*, 34, 69-77.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, 8, 57-75.
- Roy, B. (1975). Interactions et compromis: la procédure du point de mire. *Cahiers belges de la recherche opérationnelle*.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Economica. Série: Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion, Paris. pp 423.
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw Hill, New York. pp.
- Schärlig, A. (1985). Décider sur plusieurs critères. *Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Série: Diriger l'entreprise, Université de Lausanne. pp 304.
- Schärlig, A. (1996). *Pratiquer Electre et Prométhée. Un complément à Décider sur plusieurs critères*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Série: Diriger l'entreprise, Université de Lausanne. pp 173.
- Vincke, P. (1989). *L'aide multicritère à la décision*, Ellipses. Université de Bruxelles, Série: Statistique et mathématiques appliqués, Bruxelles. pp 179.
- Wierzbicki, A. (1986). A mathematical basis for satisfying decision making. *Mathematical modelling*, 3, 391-405.
- Zionts, S., and Wallenius, J. (1983). An interactive multiple objective linear programming method for a class of underlying nonlinear utility functions. *Management Science*, 29 (5), 519-529.
- Zoller, H. G., and Beguin, H. (1992). *Aide à la décision: L'évaluation des projets d'aménagement*, Economica, Série: Bibliothèque de Science Régionale, Paris. pp 301.

## 6. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Exemple de structure d'un processus de décision	5 A4

## **ANNEXE 1 : Exemple de structure d'un processus de décision**

---

L'objectif du processus de décision est d'obtenir un résultat le plus consensuel ou le plus juste ou le plus impartial possible. Notons toutefois le théorème d'Arrow, à partir duquel il est possible de démontrer qu'il n'existe aucune règle de choix collectif capable de satisfaire simultanément les conditions d'efficacité et de démocratie. Si la règle est efficace, elle ne satisfera pas les principes de démocratie. Si elle est démocratique, elle ne sera pas efficace (Zoller et Beguin, 1992)...

Nonobstant ce théorème, le processus de décision gagne à être bien structuré. Il conduit à des résultats satisfaisants pour la majorité des parties prenantes. Il comporte plusieurs étapes clé dont une description possible est présentée ci-dessous :

- 1- Définir la problématique : Quelle est la question posée ? quel est son cadre ?
- 2- Identifier les personnes compétentes pour rassembler un COPIL et/ou un groupe de travail et choisir un animateur ou homme d'étude pour mettre en œuvre le processus d'aide à la décision. Le COPIL ou le Groupe de travail seront composés d'experts ou de parties prenantes et prendront collégialement les décisions qui sont nécessaires tout au long du processus. Ils valideront ou modifieront les propositions techniques faites par l'animateur de l'étude. Ce dernier a pour charge de proposer des solutions techniques tout au long du processus. Il ne lui incombe aucune décision. Selon la nature de l'étude et ses enjeux sociétaux, ce COPIL peut être un groupe de travail composé d'experts, un comité de négociations composé de parties prenantes, ou un mélange des deux. Il peut être utile également de s'appuyer sur un groupe de travail d'experts pour proposer des scénarios, des solutions techniques et leurs évaluation (avantages, inconvénients) au comité de négociations.
- 3- Définir un modèle conceptuel de la problématique. Ce modèle peut être un diagramme ou un schéma représentant les processus en jeu, les parties prenantes, leurs interactions, les enjeux sociaux ou économiques...
- 4- Proposer ou envisager des solutions potentielles à la problématique et définir les critères représentant les processus importants du modèle conceptuel. Les méthodes d'aide à la décision s'appuient généralement sur un nombre fini et limité de critères pour deux raisons essentielles. La première est pratique : la mise en œuvre des outils de hiérarchisation nécessite de réaliser des calculs dans des temps raisonnables et renseigner un grand nombre de critères requiert des ressources humaines. La deuxième relève davantage de la mise en œuvre de la méthode. L'utilisation d'un grand nombre de critères ne permet pas de comprendre les différentes solutions proposées par l'outil car il devient impossible de comprendre, intuitivement ou en refaisant les calculs « à la main », les causes des différences entre les différentes solutions. Or il est essentiel qu'une validation, même partielle, des outils soient possible pour le COPIL ou le groupe de travail qui encadre la construction de l'outil. De façon générale, les critères doivent être indépendants les uns des autres et doivent pouvoir être évalués pour tous les cas à départager (ou au moins le plus grand nombre d'entre eux).
- 5- Choisir un outil de hiérarchisation. De nombreux outils ont été développés principalement en Europe ou en Amérique du Nord depuis les années 1960. Ce rapport rassemble des informations utiles pour faire un choix parmi ces outils, selon la problématique, selon les résultats attendus de la hiérarchisation, selon le type de critères jugés utiles (par exemple qualitatifs ou quantitatifs), selon leur disponibilité, selon les possibilités de leur automatisation...
- 6- Définir avec le COPIL la pondération des critères et, le cas échéant, le paramétrage de l'outil de hiérarchisation. Cette étape permet de transposer dans l'outil de hiérarchisation les préférences fondamentales des décideurs (par ex : « la couleur est plus importante que le prix »), leurs incertitudes (« 2 ou 2,5 conduisent à la même solution, mais 2 et 3 conduisent à deux solutions différentes »), leurs hésitations...

- 7- Construire et renseigner la base de données requise par l'outil. Cette étape est essentielle et requiert souvent des ressources significatives. Elle conditionne le nombre et la qualité des données sur lesquelles le choix est fait. Plus la base de données est complète plus l'outil sera pertinent.
- 8- Construire la matrice d'évaluation qui liste l'ensemble des critères retenus, leur pondération et l'ensemble des valeurs attribuées à chaque action pour chaque critère (ces dernières valeurs sont issues de la base de données).
- 9- Agréger les jugements. Cela revient ici à mettre en forme et effectuer les calculs. Cette étape sera plus ou moins longue selon que l'outil est à construire ou qu'il est disponible sous forme informatique.
- 10- Interpréter les résultats. Ceux-ci ne sont qu'une aide à la décision et non pas la décision elle-même. La décision finale revient dans tous les cas au décideur conseillé par son COPIL ou Groupe de Travail.

Selon les méthodes choisies, des itérations entre ces différentes étapes sont possibles et souhaitables. En particulier, le choix de l'outil pourra influencer le choix des critères et le choix des critères sera influencé par la disponibilité des données à mettre en base. Certaines méthodes « itératives » conduisent à réévaluer les critères une fois le premier résultat obtenu..

Ces méthodes sont mises en œuvre par un « animateur », ou homme d'étude, au service du décideur et des parties prenantes. L'animateur est, en principe, neutre par rapport à la décision et à ses enjeux. Il dirige la partie technique de la mise en œuvre de l'outil, rassemble et met en forme les informations que détiennent les parties prenantes.

Une fois choisi, l'animateur intervient à toutes les étapes après l'étape 2. Le COPIL ou GT interviennent eux aussi à toutes les étapes, sauf peut être lors des développements techniques de l'outil et de la base de données associée qui peuvent être confiés à des experts techniques. Deux check-lists, copiées du site EuropAid de la Commission Européenne, indiquent les points à vérifier lors de la mise en œuvre du processus de décision pour l'animateur et pour le COPIL. Elles sont données ci-dessous.

Dans tous les cas, le processus de décision nécessite de nombreux échanges entre tous les acteurs. Ces échanges auront davantage d'influence sur la décision finale que la méthode d'agrégation éventuellement choisie.

Au cours de ces échanges, les questions posées peuvent conduire à modifier un outil existant. C'est ainsi que les variantes à une approche (par exemple ELECTRE) sont apparues progressivement (ELECTRE I, II, III, IV). Ces évolutions sont le fruit de discussions entre hommes d'étude et décideurs. Elles participent au processus de décision qui est par essence un processus qui gagne à être structuré, mais qui gagne aussi à être dynamique et interactif.

## **6.1 CHECK-LISTS LORS DE LA MISE EN ŒUVRE DU PROCESSUS DE DECISION**

Les deux check-lists ci-dessous nous ont semblé intéressantes à considérer lors de la mise en œuvre d'un processus de décision utilisant l'analyse multicritère. Elles ont été copiées in extenso d'une présentation de l'analyse multicritère présentée sur le site de la Commission Européenne :

([http://ec.europa.eu/europeaid/evaluation/methodology/examples/too\\_cri\\_res\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/europeaid/evaluation/methodology/examples/too_cri_res_fr.pdf)) :

## 6.2 CHECK-LIST DESTINEE AUX EVALUATEURS

- Le domaine de l'analyse a-t-il été clairement délimité ?
- Un groupe représentatif des différentes prises de position par rapport à l'objet de l'analyse a-t-il été constitué ?
- La liste des alternatives à comparer par l'analyse multicritère a-t-elle été validée par des bénéficiaires et par des experts du domaine ?
- Le contenu de chaque alternative a-t-il été clairement expliqué aux membres du « groupe » ?
- La cohérence du système de critère a-t-elle été vérifiée ?
- Les familles « habituelles » de critères (économiques, environnementaux, sociaux et politiques) sont-elles toutes représentées ?
- Les règles pour l'établissement de la liste des critères d'évaluation ont-elles été bien expliquées aux membres du « groupe » ?
- Les tests de sensibilité de l'ensemble du système de critères ont-ils été concluants ?
- Les biais mathématiques relatifs à l'agrégation des jugements ont-ils été évités ?
- Chaque membre du groupe a-t-il pu produire son jugement de manière indépendante ?

## 6.3 CHECK-LIST DESTINEE AUX GESTIONNAIRES

- Le recours à l'analyse multicritère a-t-il été justifié par une question d'évaluation identifiée ?
- Le groupe constitué pour l'analyse était-il représentatif de tous les acteurs concernés par le projet ?
- Les tests de la sensibilité de l'ensemble du système de critères ont-ils été concluants ?
- Un tableau de performance a-t-il été établi ?
- Le résultat attendu de l'analyse a-t-il pu être obtenu de façon suffisamment fiable pour être utile à l'évaluation ?

## 6.4 DEUX OUTILS D'AIDE A LA DECISION PERTINENTS POUR LA HIERARCHISATION DE SUBSTANCES CHIMIQUES

### 6.4.1 DART

Référence :

<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/qsar/qsar-tools/index.php?c=DART> (EC's Joint Research Centre, DART (Decision Analysis by Ranking Techniques))

Le logiciel DART (Decision Analysis by Ranking Techniques) a été développé, sur commande du JRC (Centre de recherche de la Commission européenne), pour catégoriser et hiérarchiser les substances chimiques. Il est [téléchargeable](#) gratuitement.

Ce logiciel est un outil d'aide à la décision multicritère (MCDM) regroupant plusieurs méthodes de hiérarchisation (y compris statistiques) qui permet à l'utilisateur de déterminer les critères de classement selon ses objectifs. Il a l'avantage de pouvoir combler les manques de données par des outils QSAR.

Plutôt destiné aux scientifiques, il n'a pas été utilisé pour l'élaboration d'une liste de substances prioritaires à but réglementaire.

#### **6.4.2 INDIGO ET I-PHY : OUTIL D'AIDE A LA DECISION POUR EVALUER LE TRANSFERT DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES VERS LES MILIEUX NATURELS**

La méthode INDIGO (INDicateur de Diagnostic GLObal à la parcelle) fournit des indicateurs de durabilité des exploitations agricoles. La prise en compte de ces indicateurs joue un rôle essentiel dans le processus de décision.

I-Phy est un indicateur d'estimation des risques liés aux produits phytosanitaires pour l'environnement dans trois compartiments (eaux souterraines, eau de surface et air). Il s'agit d'un outil de diagnostic (Devillers et al., 2005).

Cet indicateur donne des notes de 0 à 10, « 0 » étant le risque maximum et « 10 » le risque minimum. La valeur « 7 » est considérée comme étant la valeur limite de durabilité. Cette méthode se base sur un arbre de décision (= matrice de jugement).

Ce dernier permet d'évaluer trois types de risques :

- Risques liés au produit (toxicité, temps de dégradation, dose...)
- Risques liés au milieu (à la parcelle) (pente, type de sol...)
- Risques liés aux pratiques agricoles (matériel utilisé, gestion de l'enherbement)

Donc un changement de pratiques implique directement un changement de la note de l'indice.

Cet indicateur est mesuré dans les trois compartiments : eau, air et sol.

L'agrégation des critères (qualitatifs et quantitatifs) est réalisée à l'aide d'une méthode employant des règles de décision associées à de la logique floue. L'utilisation de la logique floue permet de limiter les effets de seuil. En choisissant non plus une valeur unique comme seuil, mais un intervalle (compris entre deux valeurs déterminant des classes). Un avantage de ne pas avoir de limites brutales est d'éviter par « lissage » que deux valeurs très proches mais séparées donnent des résultats très différents. Un deuxième avantage apparaît à l'étape de définition des classes. Les limites de ces classes étant « floues », il est plus facile d'atteindre un consensus entre les experts. Néanmoins cette méthode nécessite toujours de fixer des valeurs pour définir les classes (« favorable », « modérée » et « défavorable ») comme dans la méthode SIRIS. De plus en dehors de l'intervalle de transition, on conserve une insensibilité de l'indicateur à toutes variations de critères, témoignant par conséquent d'une perte d'information.

L'agrégation des critères, identique à l'intérieur de chaque compartiment, nécessite en premier lieu de définir les différentes alternatives possibles dans les règles de décision. Ainsi, il faut conserver une part de subjectivité au moment de l'expertise, et cela permet de limiter le nombre de critères à agréger.

L'ensemble des critères et des alternatives apparaît sous forme d'arbre de décision ce qui offre une bonne compréhension du rôle de chaque critère.

Une version simplifiée de démonstration est disponible sur le site internet de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) : [www.inra.fr/indigo.fr](http://www.inra.fr/indigo.fr)