

# Choix d'un site favorable pour la production d'aliments biologiques à l'aide de la méthode ELECTRE I

---

Koumbèbarè KAMBIRE<sup>1\*</sup>, Zoïnabo SAVADOGO<sup>2</sup>, Frédéric NIKIEMA<sup>3</sup>

## Résumé

Le thème de cet article s'inscrit dans le cadre du choix d'un site favorable à la production d'aliments biologiques. Consommer bio implique que nous devons produire bio en tenant compte du choix du site. Dans notre travail, nous avons donc considéré cinq sites évalués par trois acteurs sur la base de quatre critères. La méthode d'évaluation multicritère utilisée est la méthode ELECTRE II qui permet de ranger des actions ou alternatives de la meilleure à la pire en admettant des *ex-æquo*. Cette méthode est basée sur l'approche de surclassement de synthèse (Approche Comparer puis Agréger). Dans le but de trouver une fonction d'agrégation collective remplissant de bonnes propriétés, nous avons utilisé la médiane et la moyenne quadratique pour faire l'extension de la méthode ELECTRE II. Dans les problèmes de décision de groupe, la multiplicité d'acteurs prenant part au processus de décision et ayant souvent des points de vues divergents peut conduire à une situation de désaccord au regard des critères et actions à considérer. Pour parer à cette inquiétude nous avons émis des hypothèses restrictives afin de faire une application numérique où il ressort que le site A est le meilleur au regard du classement final fourni par notre méthode.

**Mots-clés :** Site, décision, évaluation, critère, décideur, agrégation, aliment biologique

## Choosing a favorable site for the production of organic food using the ELECTRE II method

### Abstract

The subject of this article is part of the choice of a favorable site for the production of organic food. Consuming organic implies that we must produce organic taking into account the choice of the site. In our work, we therefore considered five sites evaluated by three actors on the basis of four criteria. The multi-criteria evaluation method used is the ELECTRE II method, which makes it possible to rank actions or alternatives from best to worst, admitting ties. This method is based on the synthesis outranking approach (Compare then Aggregate approach). In order to find a collective aggregation function fulfilling good properties, we used the median and the quadratic mean to extend the ELECTRE II method. In group decision problems, the multiplicity of actors taking part in the decision process and often having divergent points of view can lead to a situation of disagreement with regard to the criteria and actions to be considered.

---

<sup>1</sup> Joseph KI-ZERBO, Laboratoire d'Analyse Numérique d'Informatique et de Biomathématiques, BP 01 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

<sup>2</sup> Joseph KI-ZERBO, Laboratoire d'Analyse Numérique d'Informatique et de Biomathématiques, BP 01 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

<sup>3</sup> Joseph KI-ZERBO, Laboratoire d'Analyse Numérique d'Informatique et de Biomathématiques, BP 01 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

\*Auteur correspondant: [kambirekhaled@gmail.com](mailto:kambirekhaled@gmail.com)

To address this concern, we have made restrictive assumptions in order to make a numerical application where it appears that site A is the best with regard to the final ranking provided by our method.

**Keywords** : site, decision, evaluation, criterion, decision-maker, aggregation, organic food

## Introduction

De nos jours nous constatons une demande grandissante en produits alimentaires biologiques parce que ces derniers ont un meilleur goût ou une valeur nutritive assez bonne. Le mot biologique fait référence à la façon dont ces produits agricoles sont cultivés et transformés. Manger bio fait partie d'un mode d'alimentation favorable à notre santé. En effet, la production d'aliment biologique a un impact favorable sur de nombreux critères environnementaux : biodiversité, paysages, sol, eau, air, climat, consommation d'énergie [13]. Dans un climat de plus en plus dégradé, sur quel site peut-on produire un aliment biologique de nos jours. La pollution des eaux est due par exemple au lessivage de l'azote provenant de la fertilisation des sols par les engrais chimiques. L'excès d'azote dans les rivières et les eaux de captage peut avoir un effet négatif sur la santé. Selon [12] la teneur en matière organique des sols en agriculture biologique est en général supérieure à celle des sols en agriculture conventionnelle. Selon [12] une étude de 2012 en France indique que les stocks de carbone organique des sols en agriculture biologique sont de 37,4 t/ha (tonnes par hectare) contre 26,7 t/ha en agriculture conventionnelle.

L'objectif de cet article est de montrer à travers une simple simulation la contribution des mathématiques dans la résolution de certains problèmes de la vie. Le choix d'un site favorable à la production d'aliments biologiques relativement à un certain nombre de critère que nous avons supposé nous-même a fait l'objet d'une évaluation multicritère.

Notre démarche est la suivante : Nous considérons que la décision de choisir le site s'inscrit dans une démarche collective (décision de groupe). En effet une décision prise par un ensemble de personnes paraît plus intéressante que celle prise par une seule personne. Le décideur peut être une autorité politique, un producteur, un consommateur etc ; les sites sont les alternatives destinées au choix et les critères considérés sont : la qualité du sol (fertilité), sa contenance eau (ou teneur en eau), l'accessibilité du site (terre cultivable), le coût du terrain (prix) et la réaction du sol aux engrais organiques. Notre travail va consister dans un premier temps à modéliser le problème. En deuxième lieu nous présenterons la méthode d'évaluation multicritère. Au troisième point nous faisons une application numérique suivie des recommandations et enfin nous terminons par une conclusion.

# 1. Modélisation mathématique du problème

## 1.1 Contexte

La décision de groupe traite des processus impliquant plusieurs décideurs qui ont des intérêts divergents souvent même conflictuels et prenant part à la décision. Elle consiste à déterminer une solution finale par un groupe en partant de plusieurs choix possibles. Dans un tel processus, les participants doivent conjuguer leurs efforts pour une fin commune tout en intégrant leurs points de vue multiples pour aboutir à une solution de meilleur compromis, solution pouvant faire l'unanimité de tous les acteurs de la sphère décisionnelle.

## 1.2 Formulation mathématique d'un problème multicritère-multi décideur

Selon [9], la majorité des problèmes de prise de décision du monde réel impliquent plusieurs décideurs. Dans un processus de décision de groupe, les acteurs se communiquent les idées, se partagent les informations, coordonnent leurs activités et analysent leurs résultats afin de prendre la décision. Selon [10, 11, 1, 3] de tels problèmes interviennent lorsque l'on dispose des ensembles suivants :

- $D = \{D_1, \dots, D_s\}$ , l'ensemble de  $s$  décideurs
- $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ , une collection de  $n$  alternatives ou actions
- $C = \{g_1, \dots, g_m\}$  qui désigne les  $m$  critères retenus consensuellement par tous les décideurs.
- $X = \{x_{ij}^l = g_j(a_i)\}$  avec  $i = 1, \dots, n$  ;  $j = 1, \dots, m$  et  $l = 1, \dots, s$  qui désigne les performances de l'alternative  $a_i$  sur le critère  $g_j$  pour un même décideur  $l$ .

Dans ces types de problèmes, la solution idéale n'est pas réalisable. Pour cela, nous émettons les hypothèses restrictives suivantes :

- Les décideurs ont la même importance dans la sphère décisionnelle
- Les décideurs s'accordent sur les mêmes alternatives et les mêmes critères
- Nous tenons aussi à faire une hypothèse supplémentaire : aucun décideur n'est dictateur<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Celui qui impose ses points de vue à tous les autres décideurs

## 2. Présentation de la méthode

### 2.1 Historique :

Développée par [2] en 1971, la méthode ELECTRE II traite des problématiques de rangement noté  $\Phi$ . Elle vise à travers les relations d'ordre sur chacun des critères

(vrais critères<sup>5</sup>), à munir l'ensemble  $A$  des actions potentielles, d'une structure de préordre total afin de faciliter ce rangement. De façon explicite, le but de cette méthode, est de classer des actions potentielles des meilleures aux moins bonnes ou de la première action à la dernière en tolérant les ex-æquo.

La méthode ELECTRE II utilise la relation de surclassement souvent notée  $S$ , fondée sur la notion de concordance et de discordance. Mais à la différence de la méthode ELECTRE I les tests de concordance et de discordance dans ELECTRE II sont imbriqués les uns dans les autres. Aussi dans ELECTRE II, la distinction est faite entre deux relations de surclassement : une relation de surclassement fort et une relation de surclassement faible, notées respectivement  $S^F$  et  $S^f$ . Le premier type de surclassement repose sur des bases solides et est donc avancé avec une grande certitude tandis que le second est sujet à caution. La conséquence de ceci est la dichotomie du graphe de surclassement en graphe de surclassement fort et en graphe de surclassement faible. L'exploitation des graphes de surclassement s'opère selon un algorithme permettant de classer les actions. Cet algorithme permet d'abord d'obtenir deux classements différents : le classement direct ou premier préordre partiel et le classement indirect ou deuxième préordre partiel, sur la base desquels se fera un classement final.

Le classement direct et indirect s'opère toujours en utilisant le graphe de surclassement fort. Le graphe de surclassement faible n'est utilisé que pour départager d'éventuels ex æquo [2]. L'intérêt des deux premiers classements se traduit par leur effet sur les actions incomparables.

Pour commencer, on fixe trois seuils de concordance et deux seuils de discordance. Le seuil de concordance le plus exigeant, combiné au seuil de discordance le plus exigeant, tout comme le seuil de concordance médian, combiné au seuil de discordance le plus laxiste, déterminent le surclassement fort. Le seuil de concordance le plus laxiste, combiné au seuil de discordance le plus exigeant déterminent le surclassement faible. Pour éviter l'apparition de circuits dans les graphes de surclassement ainsi obtenus, une précaution supplémentaire est prise : la somme des poids des critères, en accord strict avec l'une des hypothèses de surclassement doit être supérieure ou égale à la somme des poids des critères en désaccord strict avec cette même hypothèse. Pour ce qui est des étapes de la méthode ELECTRE II, le lecteur est invité à consulter [8]

---

<sup>5</sup> Un vrai critère permet donc de distinguer les situations de préférence stricte et d'indifférence.

## 2.2 Quelques rappels

### - Rappels de quelques Relations binaires

Soit  $A$  un ensemble non vide. Selon [3], on appelle relation binaire définie sur  $A$  et notée  $\mathcal{R}$ , un sous-ensemble du produit cartésien  $A \times A$ . On note généralement  $x \mathcal{R} y$  pour signifier que  $(x, y) \in \mathcal{R}$ . Notons  $\bar{\mathcal{R}}$  le complément de  $\mathcal{R}$ , et donc  $x, y \in A \Rightarrow x, y \notin \bar{\mathcal{R}}$ . Une relation binaire  $\mathcal{R}$  est :

- réflexive : si  $\forall x \in A, x \mathcal{R} x$
- irreflexive: si  $\forall x \in A, x \bar{\mathcal{R}} x$
- symétrique : si  $\forall x, y \in A, x \mathcal{R} y \Rightarrow y \mathcal{R} x$
- antisymétrique : si  $\forall x, y \in A, x \mathcal{R} y$  et  $y \mathcal{R} x \Rightarrow y = x$ ,
- asymétrie : si  $\forall x, y \in A, x \mathcal{R} y \Rightarrow y \bar{\mathcal{R}} x$ .
- transitive : si  $\forall x, y, z \in A, x \mathcal{R} y$  et  $y \mathcal{R} z \Rightarrow x \mathcal{R} z$
- complète : si  $\forall x, y \in A, x \neq y, x \mathcal{R} y$  ou  $y \mathcal{R} x$

#### ➤ Quelques définitions

Les relations vues précédemment peuvent être combinées pour définir d'autres relations. Selon [3, 4], les définitions des relations d'ordre et d'équivalence permettant de classer les alternatives suivant un ensemble de critères.

- **Relation d'équivalence** : Une relation d'équivalence est une relation binaire qui est réflexive, symétrique et transitive.
- **Relation de Préordre** : un préordre est une relation binaire réflexive et transitive.
- **Relation d'ordre** : Une relation d'ordre est une relation binaire qui est réflexive, antisymétrique et transitive. Si de plus elle est complète, on dit qu'elle est une relation d'ordre total ; sinon c'est une relation d'ordre partiel. Un ordre est donc un préordre antisymétrique.
- **Préordre total** : un préordre total est une relation de préordre pour laquelle tous les éléments d'un ensemble peuvent être mis en relation. Dans ce cas, l'incomparabilité entre éléments n'est pas permise.
- **Préordre partiel** : un préordre partiel est une relation de préordre pour laquelle certains éléments d'un ensemble ne peuvent pas être mis en relation. Pour le préordre partiel, l'incomparabilité entre éléments est permise.

- **Sur un ensemble**  $A$ , une relation d'ordre range les éléments sans une possibilité d'existence d'ex æquo. Mais si la relation n'est pas complète il peut exister des situations d'incomparabilités.
- **Quasi-ordre** : On appelle préordre ou quasi-ordre, une relation binaire qui est réflexive et transitive.
- **Remarque** : Un quasi-ordre peut ranger les éléments d'un ensemble  $A$  avec une possibilité d'existence d'ex æquo.

### 2.3 Modélisation des préférences

Selon [3] modélisation se fait en utilisant les relations binaires évoquées ci-dessus. Ainsi, la comparaison de deux actions fait appel aux différentes situations de préférences évoquées comme suit :

- **Indifférence** : Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives justifiant l'équivalence de deux actions. Cette relation notée  $I$  est symétrique et réflexive.
- **Préférence stricte** : Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives justifiant une préférence significative de l'une des deux actions. Notée souvent  $P$ , cette relation est irreflexive.
- **Préférence faible** : Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives infirmant une préférence stricte de l'une des deux actions. Ici les raisons sont telles qu'elles ne permettent pas de déduire une préférence stricte ou une indifférence entre les deux actions. Cette relation notée souvent  $Q$  est irreflexive.
- **Incomparabilité** : Elle correspond à l'absence de raisons claires et positives justifiant l'indifférence, la préférence stricte ou la préférence faible entre les deux actions. Cette relation notée  $R$ , est symétrique et irreflexive.

#### ➤ Critère et poids

Un critère noté  $g_{\diamond}$  est une fonction à valeurs réelles définie sur un ensemble  $A$  des actions potentielles de telle sorte qu'il soit possible de raisonner ou de décrire le résultat de la comparaison de deux actions  $a_{\diamond}$  et  $a_{\diamond}$  à partir des deux nombres  $g_{\diamond}(a_{\diamond})$  et

$g_{\diamond}$

$(a_{\diamond})$  (évaluations respectives des actions  $a_{\diamond}$  et  $a_{\diamond}$  selon ce critère  $g_{\diamond}$ )

)

Le poids  $\diamond$  d'un critère  $g_{\diamond}$  est le coefficient de pondération affecté à ce critère. Il mesure l'importance du critère par rapport aux autres. Les poids  $\diamond$  des critères sont toujours

positifs et généralement normalisés c'est-à-dire  $\sum_{i=1}^m p_i = 1$ . Pour normaliser le poids de

$$p_i = \frac{P_i}{m}$$

chaque critère, on utilise la formule suivante :  $P'_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^m P_i}$

## ➤ Détermination des ensembles de préférence

La détermination de ces ensembles se fait en comparant par paire les actions, suivant chaque critère et en tenant compte du sens d'optimisation des critères, les performances

$g_{\alpha_i}(a_i)$  et  $g_{\alpha_k}(a_k)$  respectives des actions  $a_i$  et  $a_k$  avec  $i, k = 1, \dots, n$  et  $j = 1,$

.....

$m$ . Ce faisant, nous obtenons les ensembles de préférence définis comme suit :

On dit qu'une action  $a_i$  est strictement préférée à une action  $a_k$  sur le critère  $g_{\alpha_i}$  si et seulement si l'évaluation  $g_{\alpha_i}(a_i) > g_{\alpha_i}(a_k)$ . On note par  $P^+$  l'ensemble des critères pour lesquels l'action  $a_i$  est strictement préférée à l'action  $a_k$ .

Une action  $a_i$  est indifférente à une action  $a_k$  sur le critère  $g_{\alpha_i}$  si et seulement si l'évaluation

$g_{\alpha_i}(a_i) = g_{\alpha_i}(a_k)$ . On note par  $I$  l'ensemble des critères pour lesquels l'action  $a_i$  est indifférente à l'action  $a_k$ . Une action  $a_i$  n'est pas strictement préférée à une action  $a_k$  sur l'ensemble des critères pour lesquels l'action  $a_i$  n'est pas strictement préférée à l'action  $a_k$ .

A côté de ces formules, on définit également :

$P^+(a_i, a_k) = \sum_{\alpha_i \in J^+(a_i, a_k)} w_{\alpha_i}$  la somme des poids des critères pour lesquels  $a_i$  est

strictement préférée à  $a_k$ .  
 $P^-(a_i, a_k) = \sum_{\alpha_i \in J^-(a_i, a_k)} w_{\alpha_i}$  la somme des poids des critères pour lesquels  $a_i$  est

indifférente à une action  $a_k$ .  
 $P^*(a_i, a_k) = \sum_{\alpha_i \in J^*(a_i, a_k)} w_{\alpha_i}$  la somme des poids des critères pour lesquels  $a_i$  n'est pas

strictement préférée à une action  $a_k$ .

Pour tout ce qui concerne les étapes de la méthode ELECTRE II, le lecteur est invité à consulter la référence [3]

## 2.4 Approches d'agrégation d'aide multicritère à la décision

Selon [1] nous avons plusieurs approches d'aide multicritère à la décision, synthétisées en trois grandes familles parmi lesquelles on peut citer :

### 2.4.1 Approche locale et itérative

Elle rassemble les méthodes dites d'agrégation locale et itérative basées sur un principe simple.

Dans ces méthodes, il est possible de trouver une solution approchée au problème posé puis de l'affiner à l'aide d'outils mathématiques et en demandant au décideur d'affiner

aussi ses critères (donc d'en rajouter) ou de mieux les définir pour permettre une évaluation plus précise. Les Méthodes d'agrégation locale et itérative 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. Selon [5] c'est également lui qui décide quand la solution idéale est trouvée, ce qui arrête le processus d'itération [5]. Selon [6] dans cette approche on retrouve les méthodes comme le goal programming et la méthode des cônes d'amélioration.

#### **2.4.2 Approche du critère unique de synthèse**

Selon [1,2], cette approche apporte une synthèse des performances sous forme d'une note unique. Elle introduit une notion d'ordre total entre les actions. Cela signifie que les différents critères choisis par les parties prenantes sont réduits en un seul critère quantitatif grâce auquel toute action sera nécessairement préférable, égale ou pire à toute autre. C'est la façon par laquelle est réalisée la réduction de plusieurs critères en un seul qui différencie les méthodes de cette approche les unes des autres [6].

#### **2.4.3 Approche d'agrégation partielle**

Elle consiste à comparer les actions deux à deux et à établir une relation de surclassement. Cette approche accepte l'incomparabilité. Issue de l'école française, cette approche est aussi appelée approche de surclassement de synthèse [7]. On y retrouve entre autres les méthodes de la famille ELECTRE, PROMETHEE I et II, QUALIFLEX, ORESTRE, MELCHIOR etc.

### **2.5 Les fonctions d'agrégation multicritère utilisées**

Selon [8,9], les fonctions d'agrégation sont généralement définies et utilisées pour combiner et résumer plusieurs valeurs numériques en une seule de telle sorte que le résultat final de l'agrégation prenne en compte, d'une manière prescrite, toutes les valeurs individuelles. Pour faire l'extension de la méthode ELECTRE II appliquée à la décision de groupe, nous avons utilisé deux fonctions d'agrégation : la médiane et la moyenne quadratique.

Notons qu'en statistique, le théorème central limite donne une grande importance à la moyenne quadratique dans le cas de la modélisation des erreurs, où ce qu'on moyenne est la somme d'une multitude d'influences indépendantes. En décision de groupe, les préférences individuelles sont indépendantes les unes des autres et également influencées

les uns par les autres ; ce qui justifierait le choix de la moyenne quadratique comme fonction d'agrégation dans cet article.

### 2.5.1 La Médiane

La médiane d'une série statistique est une valeur telle qu'il y ait autant d'observations ayant une valeur supérieure à la médiane que d'observations ayant une valeur inférieure à la médiane. La médiane d'une série statistique de  $n$  valeurs rangées par ordre croissant est le nombre noté  $M$  défini par :

1. Si l'effectif  $n$  est impair, la médiane  $M$  est la valeur centrale du caractère c'est à dire la valeur de rang  $\frac{n+1}{2}$  de la série ordonnée.
2. Si l'effectif  $n$  est pair, la médiane  $M$  est la demi somme des deux valeurs centrales du caractère c'est à dire la moyenne des valeurs de rangs  $\frac{n}{2}$  et  $(\frac{n}{2} + 1)$  de la série ordonnée.

### 2.5.2 La Moyenne quadratique

Soit  $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$  une série statistique avec  $n \in \mathbb{N}$ . On appelle moyenne quadratique de cette série la fonction définie par :

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2}$$

L'adaptation de la méthode ELECTRE II procède par les étapes suivantes :

- **Etape 1** : Application de la fonction médiane  $M$  sur les poids des critères pour déterminer le poids médian des critères ;
- **Etape 2** : Application de la fonction moyenne quadratique sur les performances des alternatives par rapport à chaque critère afin de trouver la performance ou l'évaluation moyenne d'une alternative sur le critère considéré.
- **Etape 3** : Construction de la matrice de synthèse de tous les décideurs ne contenant que les évaluations moyennes des alternatives et les poids médians des critères.

Les poids médians des critères s'obtiennent par la formule suivante :

$\hat{g}_j = M(g_{1j}, g_{2j}, \dots, g_{sj})$  avec  $j = 1, \dots, m$ , set  $s = 1, \dots, s$ , où  $s \geq 1$ , désigne le décideur et  $j$  le critère. On obtient ainsi le vecteur poids médians défini comme suit :

$$\hat{g}_j = \begin{pmatrix} g_{1j} \\ \vdots \\ g_{sj} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Où  $g_{sj}$  est le poids médian associé au critère  $g_{sj}$  et  $\hat{g}_j$  vecteur poids médian constitué de l'ensemble des poids médians des critères.

Le score moyen d'une alternative  $a_j$  suivant un critère quelconque  $g_{sj}$  est obtenue par :

$$\{ \hat{g}_{sj} = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{s=1}^s g_{sj}(a_j)} \quad (3)$$

$$j = 1, \dots, m; \quad s = 1, \dots, s$$

Où  $\hat{g}_{sj}$  représente la performance moyenne ou score moyen de l'action  $a_j$  accordé par l'ensemble des  $s$  décideurs suivant le critère  $j$ .

On obtient ainsi la matrice globale des performances des alternatives comme suit :

$$\hat{g}_j = \begin{pmatrix} \hat{g}_{1j}(a_1) & \hat{g}_{1j}(a_2) & \dots & \hat{g}_{1j}(a_n) \\ \hat{g}_{2j}(a_1) & \hat{g}_{2j}(a_2) & \dots & \hat{g}_{2j}(a_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{g}_{sj}(a_1) & \hat{g}_{sj}(a_2) & \dots & \hat{g}_{sj}(a_n) \end{pmatrix}$$

Encore notée simplement par :  $\hat{g}_j(a_1), \hat{g}_j(a_2), \dots, \hat{g}_j(a_n)$

$$\hat{g}_j = \begin{pmatrix} \hat{g}_{1j}(a_1) \\ \hat{g}_{1j}(a_2) \\ \dots \end{pmatrix} \text{ pour } j = 1, \dots, m \text{ et pour } i = 1, \dots, n$$

La matrice globale des jugements de tous les décideurs est définie par la formule suivante :

$$\hat{g} = \begin{pmatrix} \hat{g}_{11}(a_1) & \hat{g}_{11}(a_2) & \dots & \hat{g}_{11}(a_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{g}_{s1}(a_1) & \hat{g}_{s1}(a_2) & \dots & \hat{g}_{s1}(a_n) \end{pmatrix}$$

$$\left( \hat{w}_1 \hat{w}_2 \dots \hat{w}_n \right)$$

### 3. Application et Recommandations

#### 3.1 Application

##### 3.1.1 Énoncé

Le problème consiste à choisir un site favorable dans un ensemble des sites noté  $S$  et sur la base d'un ensemble de critères  $F$  considérés. On note par :

$S = \{SiteA, SiteB, SiteC, SiteD, SiteE\}$ , l'ensemble des sites et  $F = \{C_1; C_2; C_3; C_4\}$ , l'ensemble des critères.

Concernant les critères, nous avons :

$C_1$  : qualité du sol, (composition en nutriments essentiels (NPK) : (très défavorable ; défavorable ; favorable ; très favorable),

$C_2$  : accessibilité du site par la société (très faible ; faible ; assez faible ; moyenne),

$C_3$  : Réaction du sol aux engrais (Pas forte, Moyen, Forte, Très forte),

$C_4$  : coût du terrain (Francs/hectare),

Une échelle de préférence commune pour les quatre critères a été retenue. En pratique ce choix facilite l'affectation des valeurs d'importance c'est-à-dire les poids associés aux critères.

Un site avec un prix moyen est préféré. En effet, changer une échelle de préférence associée à un critère exige de changer la valeur du poids de ce critère pour avoir une sorte de compensation. Les données sont fournies par les décideurs (ou affectées aux critères) sous forme de note comprise entre 0 et 10. L'étendue des échelles de notation peut varier d'un décideur à un autre, et chacun des évaluateurs (ou critère) peut être affecté d'un coefficient de pondération.

Le résultat obtenu, est une répartition sur l'ensemble  $A$  des actions (sites), une ou plusieurs surclassant les autres.

On considère également que trois décideurs ont siégé pour la prise de décision et voici leur matrice de décision :

**Tableau I : Matrice de jugements du décideur 1**

|        | Qualité | Accessibilité | Réaction | Coût |
|--------|---------|---------------|----------|------|
| Poids  | 3       | 4             | 3        | 5    |
| Site A | 6       | 8             | 9        | 4    |
| Site B | 4       | 5             | 6        | 7    |
| Site C | 7       | 6             | 8        | 4    |
| Site D | 6       | 8             | 4        | 7    |
| Site E | 5       | 4             | 7        | 6    |

**Tableau II : Matrice de jugements du décideur 2**

|        | Qualité | Accessibilité | Réaction | Coût |
|--------|---------|---------------|----------|------|
| Poids  | 4       | 3             | 2        | 5    |
| Site A | 7       | 5             | 3        | 8    |
| Site B | 3       | 6             | 8        | 4    |
| Site C | 6       | 8             | 4        | 3    |
| Site D | 5       | 4             | 6        | 7    |
| Site E | 2       | 3             | 7        | 5    |

**Tableau III : Matrice de jugements du décideur 3**

|                    | Qualité | Accessibilité | Réaction | Coût |
|--------------------|---------|---------------|----------|------|
| Poids              | 4       | 5             | 3        | 5    |
| Site A             | 8       | 3             | 6        | 7    |
| Site B             | 6       | 5             | 7        | 3    |
| Site C             | 5       | 8             | 4        | 2    |
| Site D             | 4       | 7             | 3        | 6    |
| Site E             | 7       | 6             | 5        | 8    |
| Sens de préférence |         |               |          |      |

Le sens de préférence ou sens d'optimisation indiqué dans la dernière ligne du tableau III est aussi valable pour les tableaux I et II précédents. La flèche montante signifie que le critère est à maximiser et la flèche descendante signifie que le critère est à minimiser. Un site qui coûte moins cher sera préféré. Un site qui a une accessibilité moyenne sera aussi préféré.

### 3.1.2 Résolution du problème

La résolution du problème suit les étapes de la méthode précédemment signalées

**Etape 1** : Nous obtenons les poids médians des critères consignés dans le tableau IV, en utilisant la fonction médiane sur EXCEL.

**Tableau IV: Matrice des poids médians des critères**

| Critères      | Qualité | Accessibilité | Réaction | Coût |
|---------------|---------|---------------|----------|------|
| Poids médians | 4       | 4             | 3        | 5    |

**Etape 2** : En utilisant la relation (2) et (3), on obtient la matrice d'évaluation globale des actions, donnée par le tableau V:

**Tableau V: Matrice d'évaluations de tous les décideurs**

|        | Qualité | Accessibilité | Réaction | Coût |
|--------|---------|---------------|----------|------|
| Site A | 7,05    | 5,72          | 6,48     | 6,56 |
| Site B | 4,51    | 5,35          | 7,05     | 4,97 |
| Site C | 6,06    | 7,39          | 5,66     | 3,11 |
| Site D | 5,07    | 6,56          | 4,51     | 6,68 |
| Site E | 5,10    | 4,51          | 6,40     | 6,45 |

Le tableau V auquel nous ajoutons les poids médians (tableau IV), nous donne la matrice globale des jugements des décideurs, représenté par le tableau VI

**Tableau VI : Matrice des jugements de tous les décideurs**

|               | Qualité | Accessibilité | Réaction | Coût |
|---------------|---------|---------------|----------|------|
| Poids médians | 4       | 4             | 3        | 5    |
| Site A        | 7,05    | 5,72          | 6,48     | 6,56 |
| Site B        | 4,51    | 5,35          | 7,05     | 4,97 |
| Site C        | 6,06    | 7,39          | 5,66     | 3,11 |
| Site D        | 5,07    | 6,56          | 4,51     | 6,68 |
| Site E        | 5,10    | 4,51          | 6,40     | 6,45 |

**Etape3** : En appliquant toutes les étapes de la méthode ELECTRE II sur le tableau VI, nous obtenons ce qui suit :

## - Détermination des ensembles de préférence

**Tableau VII : Ensemble  $J^+$**

|   | A     | B       | C       | D       | E         |
|---|-------|---------|---------|---------|-----------|
| A |       | {1;2;4} | {1;3;4} | {1;3}   | {1;2;3;4} |
| B | {3}   |         | {3;4}   | {3}     | {2;3}     |
| C | {2}   | {1;2}   |         | {1;2;3} | {1;2}     |
| D | {2;4} | {1;2;4} | {4}     |         | {2;4}     |
| E | {}    | {1;4}   | {3;4}   | {3}     |           |

En rappel  $J^+$  est l'ensembles des critères pour lesquels un site A est strictement préféré à un site B par exemple. Ce tableau s'obtient en faisant une comparaison par paire binaire des sites et tenant compte des sens des préférences des critères

**Tableau VIII : Ensemble  $J^=$**

|   | A  | B  | C  | D  | E  |
|---|----|----|----|----|----|
| A |    | {} | {} | {} | {} |
| B | {} |    | {} | {} | {} |
| C | {} | {} |    | {} | {} |
| D | {} | {} | {} |    | {} |
| E | {} | {} | {} | {} |    |

$J^=$  est l'ensembles des critères pour lesquels un site A est indifférent à un site B. Ce tableau est vide parce qu'aucun critère n'a été trouvé. Cela signifie qu'il n'y a pas de situations d'indifférence

**Tableau IX : Ensemble  $J^+ \cup J^=$**

|   | A      | B         | C         | D         | E            |
|---|--------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| A |        | {1 ;2 ;4} | {1 ;3 ;4} | {1 ;3}    | {1 ;2 ;3 ;4} |
| B | {3}    |           | {3 ;4}    | {3}       | {2 ;3}       |
| C | {2}    | {1 ;2}    |           | {1 ;2 ;3} | {1 ;2}       |
| D | {2 ;4} | {1 ;2 ;4} | {4}       |           | {2 ;4}       |
| E | {}     | {1 ;4}    | {3 ;4}    | {3}       |              |

$J^+UJ^-$  dans le tableau IX traduit l'ensemble des critères pour lesquels un site est préféré ou est indifférent à un autre. Ce tableau nous sert à déterminer le tableau XIII dans la suite

**Tableau X : Ensemble  $J^-$**

|   | A         | B     | C       | D       | E     |
|---|-----------|-------|---------|---------|-------|
| A |           | {3}   | {2}     | {2;4}   | {}    |
| B | {1;2;4}   |       | {1;2}   | {1;2;4} | {1;4} |
| C | {1;3;4}   | {3;4} |         | {4}     | {3;4} |
| D | {1;3}     | {3}   | {1;2;3} |         | {1;3} |
| E | {1;2;3;4} | {2;3} | {1;2}   | {2;4}   |       |

Tout en rappel,  $J^-$  est l'ensembles des critères pour lesquels un site A n' est indifférent à un site B.

**Tableau XI: Matrice des coefficients  $P^+$**

|   | A    | B    | C    | D    | E    |
|---|------|------|------|------|------|
| A |      | 0,81 | 0,75 | 0,44 | 1,00 |
| B | 0,19 |      | 0,50 | 0,19 | 0,44 |
| C | 0,25 | 0,50 |      | 0,69 | 0,50 |
| D | 0,56 | 0,81 | 0,31 |      | 0,56 |
| E | 0,00 | 0,56 | 0,50 | 0,19 |      |

Le tableau XI présente les poids des critères de  $J^+$ . La valeur 0,81 de la ligne 1, colonne 2 par exemple est la somme des poids de tous les critères pour lesquels site A est préféré au site B et ainsi de suite.

**Tableau XII : Matrice des coefficients  $P^-$**

|   | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Le tableau XII présente les poids des critères de  $J^-$  qui sont tous nuls d'après ce qui

précède dans le tableau VIII

**Tableau XIII : Matrice des coefficients  $P^+ + P^-$** 

|   | A    | B    | C    | D    | E    |
|---|------|------|------|------|------|
| A |      | 0,81 | 0,75 | 0,44 | 1,00 |
| B | 0,19 |      | 0,50 | 0,19 | 0,44 |
| C | 0,25 | 0,50 |      | 0,69 | 0,50 |
| D | 0,56 | 0,81 | 0,31 |      | 0,56 |
| E | 0,00 | 0,56 | 0,50 | 0,19 |      |

Le tableau XIII des poids de  $J^+ \cup J^-$ . C'est la somme élément par élément des tableaux VI et VII

**Tableau IVX : Matrice des coefficients  $P^-$** 

|   | A    | B    | C    | D    | E    |
|---|------|------|------|------|------|
| A |      | 0,19 | 0,25 | 0,56 | 0,00 |
| B | 0,81 |      | 0,50 | 0,81 | 0,56 |
| C | 0,75 | 0,50 |      | 0,31 | 0,50 |
| D | 0,44 | 0,19 | 0,69 |      | 0,44 |
| E | 1,00 | 0,44 | 0,50 | 0,56 |      |

Le tableau IVX présente les poids des critères de  $J^-$ . La valeur 0,19 de la ligne 1, colonne 2 par exemple est la somme des poids de tous les critères pour lesquels site A n'est pas préféré au site B et ainsi de suite

**Tableau XV : Matrice de concordance**

|   | A    | B    | C    | D    | E    |
|---|------|------|------|------|------|
| A |      | 0,81 | 0,75 | 0,44 | 1,00 |
| B | 0,19 |      | 0,50 | 0,19 | 0,44 |
| C | 0,25 | 0,50 |      | 0,69 | 0,50 |
| D | 0,56 | 0,81 | 0,31 |      | 0,56 |
| E | 0,00 | 0,56 | 0,50 | 0,19 |      |

Le tableau XV présente la matrice de concordance qui est le tableau des poids de  $J^+ \cup J^-$ . Chacune des valeurs de ce tableau est appelée indice de concordance. L'indice de concordance est une valeur qui permet de dire qu'un site surclasse un autre ou pas. Pour ce qui est de la notion de concordance, indice de concordance ainsi que le surclassement, le lecteur est invité à consulter la référence [3]

**Tableau XVI : Matrice de discordance**

|   | A    | B    | C    | D    | E    |
|---|------|------|------|------|------|
| A |      | 0,06 | 0,17 | 0,08 | 0,00 |
| B | 0,25 |      | 0,20 | 0,17 | 0,19 |
| C | 0,34 | 0,19 |      | 0,36 | 0,33 |
| D | 0,20 | 0,25 | 0,11 |      | 0,19 |
| E | 0,19 | 0,08 | 0,29 | 0,20 |      |

Le tableau XV présente la matrice de discordance qui est le tableau des poids de  $P^-$ . Chaque valeur de ce tableau s'appelle indice de discordance. Cette valeur permet de remettre en cause le surclassement d'un site par un autre. Pour ce qui est de la notion de discordance, le lecteur est invité à consulter la référence [3]

**Tableau XVII : Matrice des coefficients  $P^+$**

|   | A    | B    | $P^-C$ | D    | E         |
|---|------|------|--------|------|-----------|
| A |      | 4,33 | 3,00   | 0,78 | $+\infty$ |
| B | 0,23 |      | 1,00   | 0,23 | 0,78      |
| C | 0,33 | 1,00 |        | 2,20 | 1,00      |
| D | 1,29 | 4,33 | 0,45   | 1,29 |           |
| E | 0,00 | 1,29 | 1,00   | 0,33 |           |

Le tableau XVII présente le ratio des poids  $P^+$  et  $P^-$  qui permet de supprimer les circuits dans les graphes de surclasses. Ce ratio doit être supérieur ou égale à 1 pour permettre la suppression des circuits

**- Construction des relations de surclassement**

Les seuils de concordance et de discordance sont fixés arbitrairement et sont compris entre 0 et 1. Dans notre cas nous fixons comme seuils, les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned}
 c^+ &= 0,70 \text{ est le seuil de concordance forte} \\
 \{c^0 &= 0,60 \text{ est le seuil de concordance moyenne} \\
 c^- &= 0,56 \text{ est le seuil de concordance faible} \\
 d^+ &= 0,50 \text{ est le seuil de discordance forte} \\
 \{d^- &= 0,25, \text{ le seuil de discordance faible}
 \end{aligned}$$

Et nous procédons maintenant à l'exploitation des relations de surclassement évoquées dans la littérature comme suit :

**\* Relation de surclassement fort :**

Le site A surclasse fortement le site B se note  $A \overset{F}{\succ} B$ . Cela implique les relations (1) et (2) suivantes :

$$\begin{aligned}
 A \overset{F}{\succ} B &\Leftrightarrow \begin{cases} P^+(A) \geq 0,70 \\ P^-(A) \leq 0,50 \end{cases} & (1) \quad \text{Et / Ou} \quad \{ & \begin{cases} P^+(B) \geq 0,60 \\ P^-(B) \leq 0,25 \end{cases} & (2) \\
 & & & & \\
 P^+(A) &\geq P^-(A) & & & P^+(B) \geq P^-(B)
 \end{aligned}$$

**\* Relation de surclassement faible :**

Le site A surclasse faiblement le site B se note  $A \overset{f}{\succ} B$ . Cela implique les relations (3) suivantes :

$$\begin{aligned}
 A \overset{f}{\succ} B &\Rightarrow \{ \begin{cases} P^+(A) \geq 0,56 \\ P^-(A) \leq 0,50 \end{cases} & (3) \\
 & & & & \\
 P^+(A) &\geq P^-(A)
 \end{aligned}$$

Nous résumons les relations (1), (2) et (3) dans le tableau XVIII appelé matrice de surclassement :



**Tableau XVIII : Matrice de surclassement**

| $\downarrow S^f \rightarrow S^F$ | A         | B         | C         | D         | E         |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A                                |           | <i>SF</i> | <i>SF</i> | <i>Sf</i> | <i>SF</i> |
| B                                | <i>Sf</i> |           |           |           | <i>Sf</i> |
| C                                | <i>Sf</i> |           |           | <i>SF</i> |           |
| D                                |           | <i>SF</i> | <i>Sf</i> |           |           |
| E                                | <i>Sf</i> |           |           |           |           |

Le XVIII tableau de surclassement nous permet de dessiner les deux graphes de surclassement présentés dans le tableau IXX à l'étape 0 de l'algorithme de classement de la méthode ELECTRE II que nous présentons en ces lignes :

- Pour ce qui est du classement direct ou premier préordre partiel, voici les étapes de l'algorithme :

Déterminons :

- A l'étape 0 : l'ensemble D des actions qui ne sont surclassées fortement par aucune autre action
- A l'étape 1 : l'ensemble U des actions de D qui ont une relation de surclassement faiblement entre elles,
- A l'étape 2 : l'ensemble B des actions de U qui ne sont surclassées faiblement par aucune autre action de U,
- A l'étape 3 : l'ensemble A1 des actions classées à l'étape 1,
- A l'étape 4 : On supprime les actions classées à l'étape 1 et la procédure recommence dans l'ensemble des actions restantes 
- A l'étape 5 : On supprime les actions classées à l'étape 1 et la procédure recommence dans l'ensemble des actions restantes 
- A l'étape 6 : l'algorithme s'arrête lorsque l'ensemble des actions restantes vide ( $Y1 = \emptyset$ .)

- Le classement indirect est construit au moyen du même algorithme, mais en commençant par la classe la moins bonne et en remontant vers les meilleures classes. - Pour cela, nous inversons le sens des flèches dans les graphes  $G^F$  et  $G^f$  de procéder à ce classement.

**Tableau IXX : Construction du premier préordre total**

| Etapes  | Graphe de surclassement fort | Graphe de surclassement faible |
|---|------------------------------|--------------------------------|
| <p>Etape 0</p> <p><math>Y_0 = \{A; B; C; D; E\}</math></p> <p><math>D' = \{A\}</math></p> <p><math>U = \{\}</math></p> <p><math>B' = \{\}</math></p> <p><math>A_0 = (D' \setminus U) \cup B' = \{A\}</math></p> <p><math>\text{Rang}(A) = 1</math></p> <p><math>Y_1 = \{B; C; D; E\}</math></p> |                              |                                |
| <p>Etape 1</p> <p><math>D' = \{C; E\}</math></p> <p><math>U = \{\}</math></p> <p><math>B' = \{\}</math></p> <p><math>A_1 = (D' \setminus U) \cup B' = \{C; E\}</math></p> <p><math>\text{Rang}(C; E) = 2</math></p> <p><math>Y_1 = \{B; D\}</math></p>  |                              |                                |
| <p>Etape 2</p> <p><math>D' = \{D\}</math></p> <p><math>U = \{\}</math></p> <p><math>B' = \{\}</math></p> <p><math>A_2 = (D' \setminus U) \cup B' = \{D\}</math></p> <p><math>\text{Rang}(D) = 3</math></p> <p><math>Y_3 = \{B\}</math></p>  |                              |                                |
| <p>Etape 3</p> <p><math>D' = \{B\}</math></p> <p><math>U = \{\}</math></p> <p><math>B' = \{\}</math></p> <p><math>A_2 = (D' \setminus U) \cup B' = \{B\}</math></p> <p><math>\text{Rang}(B) = 4</math></p> <p><math>Y_4 = \{\}</math></p>   |                              |                                |

Le classement indirect procède par le même algorithme que le classement précédent, mais une modification sur les graphe de surclassement pourrait nous faciliter la tâche : il s'agit d'inverser les sens des flèches. Dans ce classement le rang d'une action  $a_i$  s'obtient soit par :  $rang(a_i) = rang(a_k) + 1$  ou encore par la formule  $rang(a_i) = 1 + rang1_{max}(a_i) - rang1(a_i)$

**Tableau XX : : Construction du deuxième pré-ordre total**

| Etapes   | Graphe de surclassement fort | Graphe de surclassement faible |
|--|------------------------------|--------------------------------|
| Etape 0<br>$Y_0 = \{A; B; C; D; E\}$<br>$D' = \{B; E\}$<br>$U = \{B; E\}$<br>$B' = \{B\}$<br>$A_0 = (D' \setminus U) \cup B' = \{B\}$<br>$Rang(B) = 1$<br>$Y_1 = \{A; C; D; E\}$ |                              |                                |
| Etape 1<br>$D' = \{D; E\}$<br>$U = \{\}$<br>$B' = \{\}$<br>$A_1 = (D' \setminus U) \cup B' = \{D; E\}$<br>$Rang(D; E) = 2$<br>$Y_1 = \{A; C\}$                                   |                              |                                |
| Etape 2<br>$D' = \{C\}$<br>$U = \{\}$<br>$B' = \{\}$<br>$A_2 = (D' \setminus U) \cup B' = \{C\}$<br>$Rang(C) = 3$ $Y_3 = \{A\}$  |                              |                                |
| Etape 3<br>$D' = \{A\}$<br>$U = \{\}$<br>$B' = \{\}$<br>$A_3 = (D' \setminus U) \cup B' = \{A\}$<br>$Rang(A) = 4$<br>$Y_4 = \{\}$  |                              |                                |

## Classement final :

Il est régi par trois règles :

- **Règle 1** : Une action du classement final ne peut être placée devant une autre que si elle est située devant celle-ci dans l'un des deux classements et devant elle ou ex æquo avec elle dans l'autre.a
- **Règle 2** : Deux actions ne peuvent être exæquo dans le classement final que si elles l'étaient dans les deux classements.
- **Règle 3** : Deux actions sont incomparables si l'une est devant l'autre dans l'un des deux classements et l'autre devant la première dans l'autre classement. On obtient les résultats suivants :

### 3.2 Recommandations (Résultats)

Les résultats de cette dernière étape sont consignés dans le tableau XXI.

**Tableau XXI : Synthèse des Classements**

| Sites | Classement direct | Classement indirect | Classement final |
|-------|-------------------|---------------------|------------------|
| A     | 1                 | 1                   | 1                |
| B     | 4                 | 4                   | 5                |
| C     | 2                 | 2                   | 2                |
| D     | 3                 | 3                   | 4                |
| E     | 2                 | 3                   | 3                |

Au regard des résultats du classement final présentés dans la colonne 3 du tableau XXI, il ressort que le site A est le meilleur, ensuite le site C, le site E, le site D et enfin le site B par rapport au critères d'évaluation considérés. Ces résultats sont valables sous réserve des seuils de concordance et de discordance dans cette étude. A une variation des seuils ou des poids des critères résultats peuvent aussi une légère variation.

## Conclusion

Dans ce travail, nous avons fait un bref aperçu sur quelques concepts de base relatifs à l'aide multicritère à la décision, notamment, quelques définitions, la notion de préférence et approches. Nous avons aussi visité le contexte de décision de groupe afin de proposer une adaptation de la méthode ELECTRE II pour faire face aux problèmes de décision de groupe.

Un problème portant sur le choix d'un site favorable à la production d'aliment biologique a fait l'objet d'une application de notre méthode. Ainsi nous sommes parvenus à des résultats très concluants. Néanmoins quelques difficultés liées à la méthode ELECTRE II restent à signaler. En effet la méthode ELECTRE II est très coûteuse en temps. Ce qui ne permet pas de faire facilement l'analyse de la sensibilité et de la robustesse des résultats obtenus.

Dans nos futurs travaux de recherche, une implémentation de la méthode ELECTRE II, intégrant le principe d'extension proposé ici fera parti de nos préoccupations.

## Références bibliographiques

- [1] Claude Aubert, Bruno Taupier-Létage et Aude Coulombel (ITAB), *Fiche de renseignements – Aliments biologiques*
- [2] B. Roy, D. BOUYSSOU, *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*
- [3] L. Y. Maystre, J. Pictet, J. Simos, *Méthodes multicritères ELECTRE description, conseils pratiques et cas d'applications à la gestion environnementale, 1994*
- [4] A.M. Geoffrion, J.S. Dyer, and A. Feinberg. *An Interactive Approach for Multi-Criterion Optimization with an Application to the Operation of an Academic Department. Management Science, 19(4):357–368, 1972.*
- [5] [Collette et Siarry, 2011] Collette, Y. et Siarry, P. (2011). *Optimisation multiobjectif : Algorithmes. Editions Eyrolles., Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique de tri. Concepts, méthodes et applications, thèse de doctorat, Université de Paris Dauphine, 201 p. La dynamique des groupes restreints. PUF, 2000.*
- [6] Efraim Turban and Jay E. Aronson, *Decision Support Systems and Intelligent Systems. upper saddler River, Prentice Hall, 1998*

- [7] G. Montibeller and A. Franco, *Multi-Criteria Decision Analysis for Strategic Decision Making*. In Constantin Zopounidis and Panos M. Pardalos, editors, *Handbook of Multicriteria Analysis*, pages 25–45. Springer, Berlin Heidelberg, 2010
- [8] J.-L. Marichal, *Fonctions d'agrégation pour la décision*. Brigham Young University, 2003
- [9] L. Y. Maystre, J. Pictet, J. Simos, *Méthodes multicritères ELECTRE description , conseils pratiques et cas d'applications à la gestion environnementale* , 1994
- [10] M. ÖZTÜRK: ozturk@lamsade.dauphine.f , *Aide MultiCritère à la Décision (AMCD)*
- 15
- [11] V. Mousseau, *Concepts de base en aide multicritère à la décision*. Ecole centrale de Paris, 2009
- [12] Bernard LE BUANEC, *l'agriculture bio et l'environnement*