

La méthode multicritère ELECTRE III

Définitions, principe et exemple d'application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain

Charlotte MARTIN
Michel LEGRET

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

RÉSUMÉ

Le recours aux méthodes multicritères d'aide à la décision s'est largement répandu depuis quelques années, notamment dans le cas de problématiques environnementales. Néanmoins, malgré leur utilisation croissante, les méthodes multicritères restent souvent peu lisibles aux yeux de l'utilisateur non spécialiste. Cet article a pour objectif de donner à l'utilisateur des clefs de compréhension.

La méthode d'analyse multicritère ELECTRE III est fondée sur la construction d'un classement d'alternatives, par le biais d'une approche d'agrégation partielle des performances. Cette méthode est ici appliquée à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain, pour lesquelles des techniques de contrôle à la source sont de plus en plus utilisées en milieu urbain et péri-urbain. Si l'on considère la diversité des techniques et les différents critères de jugement influençant le choix d'une technique ou d'un groupe de techniques, le recours aux méthodes d'analyse multicritère permet de guider les gestionnaires de l'eau dans le processus de décision. Les résultats présentés montrent ainsi que différentes stratégies d'action (planification, classement d'alternatives relativement proches) rendent possible l'obtention d'un consensus entre les différents acteurs impliqués dans le processus de décision.

DOMAINE : Environnement et génie urbain.

ABSTRACT

THE "ELECTRE III" MULTI-CRITERIA METHOD:
DEFINITIONS, WORKING PRINCIPLE AND EXAMPLE OF AN
APPLICATION TO URBAN STORMWATER MANAGEMENT

Reliance upon multi-criteria decision-aid methods has considerably intensified over the past few years, especially in environmental problem areas. Despite their increasing use, multi-criteria methods often remain ambiguous in the eyes of non-specialist users. This article is intended to provide such users with the keys to improved comprehension.

The "ELECTRE III" multi-criteria analytical method is based on the generation of an alternative ranking, via a partial performance aggregation approach. This method is applied herein to the management of urban stormwater, for which source control techniques are becoming more heavily utilized in at both the urban and suburban scales. In considering the diversity of techniques available along with the various assessment criteria influencing the choice of a given technique or group of techniques, the reliance upon multi-criteria analytical methods serves to guide the water resource manager through the decision-making process. The results presented reveal that various action strategies (planning, ranking of rather similar alternatives) make it possible to reach a consensus among the range of actors involved in the decision-making process.

FIELD: Environment and urban engineering.

INTRODUCTION

L'utilisation de méthodes d'aide à la décision fondées sur un critère unique de décision (par exemple l'analyse coûts-bénéfices) a rapidement montré ses limites pour résoudre des problèmes de choix multiples dans le domaine de l'environnement. En effet, l'optimisation d'une fonction économique s'avère délicate quand le problème à prendre en compte fait intervenir des facteurs tels que le bruit, la pollution ou l'impact paysager, difficilement quantifiables en terme de coûts.

Le recours aux méthodes d'aide à la décision multicritère s'est donc largement répandu depuis quelques années. Les méthodes multicritères présentent plusieurs types d'avantages. Tout d'abord, elles permettent de prendre en compte différents points de vue dans le processus de décision. Les différents points de vue ou stratégies d'action s'expriment à travers l'importance accordée par chacun des acteurs (ou décideurs) aux critères de jugement considérés. La prise en compte des différents points de vue dans le processus de décision permet ainsi de gérer des situations conflictuelles entre plusieurs acteurs. Enfin, les méthodes multicritères d'aide à la décision permettent d'orienter la réflexion vers un

ensemble de solutions possibles ou envisageables. Dans leur ouvrage dédié à l'analyse multicritère, Roy et Bouyssou [1993] précisent bien que « dans un processus d'aide à la décision multicritère, le principal objectif n'est pas de découvrir une solution, mais de construire ou créer un outil considéré comme utile aux yeux d'un acteur prenant part au processus de décision ».

Malgré leur utilisation croissante, les méthodes multicritères présentent souvent l'inconvénient majeur d'être obscures et peu lisibles aux yeux de l'utilisateur non spécialiste. Cet article a donc pour objectif de donner à l'utilisateur des clefs de compréhension. Parmi les nombreuses méthodes multicritères existantes, ELECTRE III [Roy, 1978] s'avère être l'une des plus couramment utilisées, notamment dans le cas de problématiques liées à l'environnement : alimentation en eau potable dans les zones rurales [Roy et al., 1992], assainissement pluvial en milieu urbain [Azzout, 1996 ; Castro et Baptista, 2004], gestion des ressources en eau [Bella et al., 1996], gestion des déchets [Karagiannidis et Moussiopoulos, 1997 ; Hokkanen et Salminen, 1997] et aménagement urbain [Neji et al., 2004].

Cet article comporte trois parties. La première détaille les principes de base de l'aide à la décision, la deuxième expose le principe de fonctionnement d'ELECTRE III et, la troisième, présente un exemple d'utilisation de la méthode ELECTRE III pour aider à la prise de décision dans le domaine du contrôle à la source des eaux pluviales en milieu urbain.

PRINCIPES DE BASE DE L'AIDE À LA DÉCISION

Ensemble des actions potentielles

Une action potentielle est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins [Roy et Bouyssou, 1993]. Au terme d'*action* se substitue parfois celui d'*alternative* ou bien de *solution*. Une action réelle est issue d'un projet complètement élaboré, pouvant être mis à exécution. Parallèlement, une action fictive correspond à un projet idéalisé, non complètement élaboré. Il est important à ce stade de définir l'objectif principal recherché. En effet, l'analyse multicritère peut apporter divers types d'aides, parmi lesquelles Barraud et al. [2001] distinguent :

- la comparaison des performances de solutions ou d'améliorations potentielles pour un même site ;
- l'étude de la performance d'un ouvrage au travers d'indicateurs de performance permettant de faire le suivi et éventuellement de juger de l'amélioration possible de l'ouvrage en terme de structure et de gestion ;
- la comparaison des performances de solutions en différents sites.

L'ensemble A des actions potentielles est *stable* s'il remplit les conditions de stabilité interne (compte tenu de sa conception interne, la phase d'étude ne remet pas en cause la définition initiale de l'ensemble A des actions potentielles) et externe (compte tenu du contexte extérieur, les recommandations résultant de la phase d'étude n'ont pas pour conséquences de modifier l'ensemble A des actions potentielles) [Roy et Bouyssou, 1993].

Critère et famille cohérente de critères

Définition et propriétés

Un critère est un outil permettant la comparaison de deux actions selon un certain point de vue, généralement représenté par une fonction à valeurs réelles. L'ensemble des critères forme une « famille cohérente de critères » J si et seulement si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

- ❶ exhaustivité : tous les critères pertinents doivent être pris en compte ;
- ❷ cohérence entre une préférence locale (pour un critère) et une préférence globale (pour tous les critères) : cette condition suppose qu'une action a est considérée comme étant meilleure qu'une action b si, toutes évaluations égales par ailleurs, elle est meilleure au moins selon un critère [Maystre et al., 1994 ; Roy et Bouyssou, 1993] ;
- ❸ non-redondance : cette condition consiste à interdire la présence de critères superflus. La famille de critères F est exempte de critères redondants si le retrait de n'importe quel critère de F met en défaut les conditions d'exhaustivité et de cohérence énoncées précédemment [Roy et Bouyssou, 1993].

Types de critères

Le choix du type de critère est conditionné par le problème posé par les décideurs, qui peuvent faire le choix d'une logique « nette » ou « floue ». La logique nette sous-entend que l'on approche la

résolution du problème par le biais de « vrai-critères » (c'est-à-dire dépourvus de marges d'erreurs). En revanche, la logique floue fait intervenir d'autres types de critères (quasi, pseudo ou pré-critères), caractérisés chacun par l'existence de marges d'erreur. ELECTRE III fonctionne avec des pseudo-critères, associés à des seuils d'indifférence (q) et de préférence (p), qui permettent de définir les incertitudes associées aux valeurs des critères.

Matrice des performances

Les données d'entrée de l'analyse multicritère sont synthétisées dans un tableau à double entrée désigné sous le nom de matrice des performances (ou matrice des alternatives) (Tableau I). L'évaluation de la performance de l'action a_i pour le critère j est classiquement notée $g_j(a_i)$. De façon générale, le processus d'évaluation des performances des actions au regard de l'ensemble des critères peut se faire selon plusieurs modes, laissant plus ou moins au décideur la possibilité d'exprimer ses préférences :

- la notation : attribution d'une note sur une échelle de valeurs ;
- l'évaluation numérique : quantification numérique d'un impact ou d'une valeur.

Des méthodes ont été proposées pour pouvoir intégrer ces deux types d'informations à travers une même matrice [Hinlopen *et al.*, 2004].

TABLEAU I
Structure de la matrice des performances

		Critère			
		j_1	j_2	...	j_n
Alternative	a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$...	$g_n(a_1)$
	a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$...	$g_n(a_2)$

	a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$...	$g_n(a_n)$

Définir la problématique d'aide à la décision

Une des premières étapes du processus de décision consiste à définir le type de problème auquel un décideur se trouve confronté et le type de solution qu'il souhaite dégager. Roy et Bouyssou [1993] distinguent quatre types principaux de problématique d'aide à la décision : le choix (α), le tri (β), le rangement (γ) et la description (δ). La problématique α pose le problème en terme de choix d'un sous-ensemble contenant les actions « les meilleures » ou à défaut, « les plus satisfaisantes ». On parle alors de procédure de sélection. La problématique β pose le problème en terme de tri par affectation des actions à des catégories prédéfinies. On parle alors de procédure d'affectation. La problématique γ pose le problème en terme de rangement de classes d'équivalence, composées d'actions ordonnées de façon complètes ou partielles. On parle alors de procédure de classement. La problématique δ pose le problème en terme de description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences. On parle alors de procédure de cognition. Le détail des différentes problématiques est donné dans de nombreux recueils dédiés aux méthodes multicritères, parmi lesquels Roy et Bouyssou [1993] ; Maystre *et al.* [1994].

ELECTRE III est une méthode multicritère fondée sur une procédure de classement ($P.\gamma$) des alternatives, de la (des) meilleure(s) à la (aux) moins bonne(s).

Définir l'approche opérationnelle

La seconde étape du processus de décision consiste à définir le type d'agrégation des performances (c'est-à-dire l'opération mathématique consistant à faire la synthèse des informations regroupées dans la matrice des performances). Trois types d'approches opérationnelles existent dans la littérature. La revue bibliographique proposée par Ben Mena [2000] distingue clairement :

- l'agrégation complète ou approche par critère unique de synthèse, dont l'objectif est d'inclure toutes les performances dans une fonction d'utilité (ou d'agrégation), en leur attribuant d'éventuels

poids (exemple de la somme ou de la moyenne pondérée). Cette méthode suppose que les jugements sont commensurables. Cette approche (d'inspiration américaine) s'apparente au calcul d'un score global pour chaque action potentielle pour en déduire directement un classement sur une échelle cardinale. Elle présente en outre un fort effet compensatoire ;

➤ l'agrégation partielle ou surclassement de synthèse, qui respecte les possibilités d'incommensurabilité entre deux actions, et permet l'incomparabilité et l'intransitivité. Cette approche (d'inspiration française) compare les alternatives deux à deux et génère un classement sous la forme d'un pré-ordre partiel ;

➤ l'agrégation locale (ou approche par jugement local interactif avec itérations essais - erreurs), appliquée dans des cas où le nombre d'actions potentielles est très élevé, voire défini de manière implicite. Le principe consiste alors à choisir une solution de départ (aussi bonne que possible) et à examiner s'il n'existe pas de meilleure solution autour de la solution de départ.

Les approches d'agrégation complète et partielle ont été comparées dans Roy et Bouyssou [1993], dans le cas d'un problème concernant le choix de sites d'implantation d'une centrale nucléaire. Sans rejeter l'une ou l'autre des méthodes d'agrégation, les auteurs spécifient que la procédure d'agrégation complète relève d'une démarche descriptive, alors que la procédure d'agrégation partielle relève plutôt d'une démarche constructive. De manière plus explicite, Roy et Bouyssou [1993] définissent les démarches descriptive et constructive de la façon suivante :

➤ une démarche est dite descriptive quand elle s'inscrit dans un modèle d'aide à la décision élaboré en faisant l'hypothèse qu'il existe, dans l'esprit des intervenants pour qui s'exerce l'aide, un système de préférences qu'il s'agit d'appréhender de la manière la plus fidèle, sans le perturber ;

➤ une démarche est dite constructive quand elle considère que les préférences des intervenants pour qui s'exerce l'aide sont souvent conflictuelles, peu structurées, appelées à évoluer au sein du processus de décision, et influencées du fait même de la mise en œuvre du modèle.

ELECTRE III est une méthode multicritère fondée sur une démarche constructive (approche opérationnelle d'agrégation partielle des performances).

Modéliser des préférences

La modélisation des préférences permet de représenter les préférences des individus en ayant la possibilité de tenir compte des phénomènes d'imprécision et d'incertitude. La méthode multicritère ELECTRE III permet de modéliser les préférences en faisant intervenir trois relations au niveau de chaque critère (l'indifférence I, la préférence faible Q, la préférence stricte P) et deux relations au niveau global (le surclassement S, qui se traduit par l'existence d'une relation I, Q ou P entre deux actions, et l'incomparabilité R, quand aucune des relations I, Q ou P n'existe entre deux actions).

Une relation de surclassement est une relation binaire dont la signification est la suivante : une action a surclasse une action b si des arguments convaincants permettent d'affirmer que « a est au moins aussi bonne (ou pas pire) que b ».

Pondérer les critères

L'étape de pondération des critères est souvent délicate car elle reflète les préférences propres à chaque acteur impliqué dans le processus de décision. Certaines méthodes multicritères (exemple d'ELECTRE IV [Roy et Hugonnard, 1982]) permettent de s'affranchir de cette étape de pondération, en considérant « qu'aucun critère n'a, à lui tout seul, une importance supérieure ou égale à celle d'une coalition rassemblant au moins la moitié des critères » [Roy et Bouyssou, 1993].

Le plus généralement, les méthodes d'aide à la décision multicritère induisent l'attribution de poids à chaque critère de jugement. Simos [1990] donne une revue des différentes techniques de pondération des critères. Parmi de nombreuses méthodes, on peut citer :

➤ la hiérarchisation (*categorisation*), qui demande aux pondérateurs de classer les critères dans des catégories telles que « très important », « moyennement important » et « peu important » ;

➤ la méthode ordinale (*ranking*), qui consiste en un classement des critères du plus au moins important ;

➤ la notation (*rating*), qui demande aux pondérateurs de noter sur une échelle de 1 à 10 l'importance qu'ils attribuent à chaque critère, cette méthode étant la plus communément utilisée ;

➤ la méthode des questions sur les rapports d'importance (*ratio questioning*), qui demande aux pondérateurs de répondre à des questions du type « quel est le rapport d'importance entre les

critères C1 et C2 ? ». Si m représente le nombre de critères, au moins $m-1$ questions doivent être posées ;

- la méthode de distribution des poids, qui demande aux pondérateurs de répartir 100 points en fonction de l'importance accordée aux critères ;
- la méthode du taux de substitution (*indifference trade-off*), qui demande aux pondérateurs de répondre à des questions du type « quelle variation du critère 1 consentez-vous pour obtenir le critère 2 ? » ;
- la méthode d'analyse du risque (*decision analysis weighting*), qui consiste à trouver la probabilité p pour laquelle le décideur est indifférent entre le fait qu'un critère ait sa meilleure valeur et tous les autres critères leur pire valeur, et une loterie où il y ait p chances pour que tous les critères aient la même valeur (1- p) chances pour que tous les critères aient leur pire valeur ;
- la régression multiple (*multiple regression*), qui demande aux décideurs de classer des alternatives, les poids des critères étant obtenus par régression multiple ;
- la méthode des cartons, qui consiste en un classement par ordre décroissant des préférences, avec possibilités d'ex-aequo ainsi que d'espacements. La méthode des rangs peut ensuite être utilisée pour transformer le classement en poids. La méthode des cartons est souvent préconisée [Simos, 1990 ; Maystre et al., 1994] et utilisée [Georgopoulou et al., 1997] car elle permet aux pondérateurs d'attribuer de manière simple, compréhensible et objective leurs préférences respectives pour chacun des critères ;
- les méthodes d'aide à la pondération des critères qui reposent sur des fondements mathématiques plus poussés. On peut citer l'exemple de la méthode DIVAPIME (Détermination d'Intervalle de Variation des Paramètres d'Importance des Méthodes ELECTRE), développée par le LAMSADE [Mousseau, 1995]. Par le biais de questions posées aux pondérateurs, il est demandé d'indiquer les préférences entre deux actions fictives mais réalistes (raisonnablement comparables). Les réponses permettent d'induire des informations sur l'importance accordée aux critères et sur l'attribution finale des poids [Maystre et al., 1994].

LA MÉTHODE ELECTRE III

Pourquoi avoir choisi ELECTRE III ?

Outre le fait que la méthode multicritère ELECTRE III ait été largement utilisée et validée dans le cas de problématiques liées à l'environnement, et qu'une source d'information non négligeable soit disponible, trois raisons ont justifié le choix d'ELECTRE III.

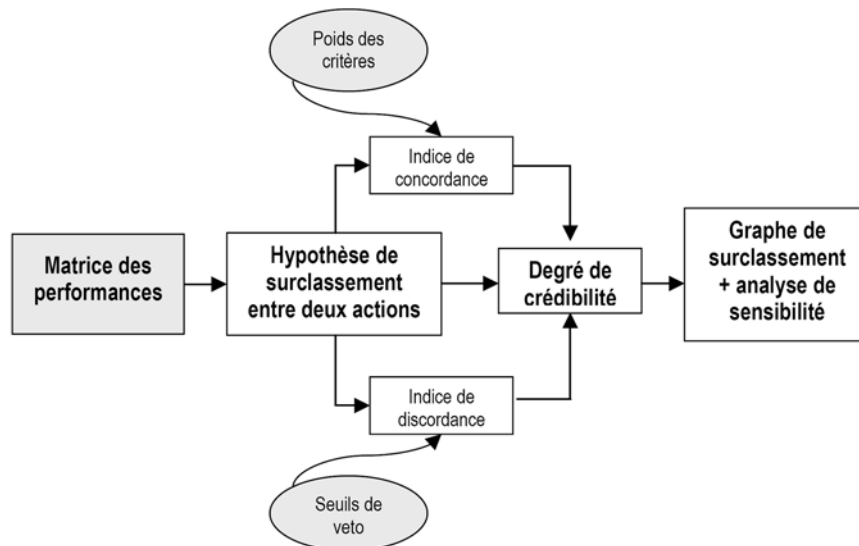
Tout d'abord, cette approche d'analyse multicritère est fondée sur une démarche constructive. En effet, le contexte dans lequel les outils multicritères sont utilisés est voué à évoluer au cours du temps et de l'information acquise. De plus, l'analyse multicritère s'avère être un outil d'aide à la décision, permettant de mettre en place une concertation entre différents acteurs. En ce sens, il semble nécessaire de laisser aux acteurs impliqués la possibilité de construire la démarche au fur et à mesure des avancées de l'étude.

Ensuite, ELECTRE III permet de prendre en compte les poids donnés aux critères de jugement. Cette étape de pondération permet aux différents acteurs de donner leurs opinions et d'exprimer d'éventuelles différences de jugement. L'application de méthodes multicritères ne débouche pas forcément sur l'obtention d'un consensus. Si tel est le cas, l'une des solutions possibles consiste à modifier les jeux de poids initiaux et à réitérer l'application de la méthode, en faisant valoir aux acteurs que leurs différences d'opinions ne permettent pas d'atteindre un consensus. Leyva-Lopez et Fernandez-Gonzales [2003] ont également développé une extension de la méthode d'ELECTRE III permettant d'aider un groupe de décideurs (ou d'acteurs) à trouver un consensus à partir d'un jeu d'alternatives possibles et de systèmes de valeurs différents.

Enfin, ELECTRE III est une méthode multicritère fondée sur les principes de la logique floue, permettant de prendre en compte les incertitudes liées aux calculs et à l'évaluation des performances à travers l'utilisation de pseudo-critères. C'est l'une des principales caractéristiques de la méthode de pouvoir traiter, du fait de l'existence des seuils, d'évaluations dont la définition est difficile.

Principe de la méthode

Le principe de la méthode ELECTRE III (Fig. 1) repose sur la construction d'une hypothèse de surclassement entre les actions. Les actions sont en effet comparées par paires (a, b). Chaque paire



□ **Figure 1**
 Algorithme d'ELECTRE III (inspiré de Maystre et al., 1994).

d'actions est caractérisée par une relation de surclassement ($a S b$, avec $S = I, Q, P$ en fonction de la valeur de la différence entre les performances des actions et de la valeur donnée à différents seuils). L'hypothèse de surclassement n'est pas entièrement acceptée ou rejetée, mais on évalue le degré de crédibilité (compris entre 0 et 1) de cette hypothèse, à travers deux indices : l'indice de concordance et l'indice de discordance. Deux préclassements sont ensuite construits par le biais de deux procédures de distillations antagonistes (ascendante et descendante). Le croisement de ces deux préclassements aboutit à un classement final. Une analyse de sensibilité est ensuite réalisée pour juger de la stabilité des résultats suite à des variations de valeurs des paramètres du modèle.

Pseudo-critères

Chaque critère j dans ELECTRE III peut être accompagné de trois seuils (indifférence, préférence et veto, respectivement q_j , p_j et v_j), permettant de définir des zones de préférence entre deux actions. Les deux premiers seuils permettent de former un pseudo-critère. Considérant deux actions a et b appartenant à l'ensemble des actions potentielles, et deux seuils q_j , p_j tels que $q_j < p_j$, on définit les relations suivantes :

- a et b sont indifférentes quand la différence entre les performances des deux actions est inférieure au seuil d'indifférence :

$$(a I b) \Leftrightarrow g_j(a) - g_j(b) \leq q_j(g_j(a)) \quad (1)$$

- a est faiblement préférée à b quand la différence entre les performances des deux actions est comprise entre les seuils d'indifférence et de préférence :

$$(a Q b) \Leftrightarrow q_j(g_j(a)) \leq g_j(a) - g_j(b) \leq p_j(g_j(a)) \quad (2)$$

- a est strictement préférée à b quand la différence entre les performances des deux actions est supérieure au seuil de préférence stricte :

$$(a P b) \Leftrightarrow p_j(g_j(a)) \leq g_j(a) - g_j(b) \quad (3)$$

En outre, lorsque pour un critère j , l'action a est moins bonne que l'action b , on regarde si la différence entre les performances des actions a et b dépasse le seuil de veto v_j , c'est-à-dire un seuil au-delà duquel il est prudent de refuser toute crédibilité au surclassement de l'action a par l'action b . Ainsi, dans les conditions de l'équation 4, le surclassement de l'action a par b n'est plus possible, même s'il existe sur tous les autres critères :

$$\text{non } (a S b) \Leftrightarrow g_j(a) - g_j(b) \geq v_j(g_j(a)) \quad (4)$$

Les seuils d'indifférence q et p peuvent être considérés respectivement comme l'incertitude minimale et maximale liée à l'évaluation des performances [Maystre et al., 1994]. Les seuils q_j , p_j et v_j

peuvent être définis comme une constante ou comme une fonction (pourcentage par exemple) de la performance g de l'action considérée.

Indice de concordance

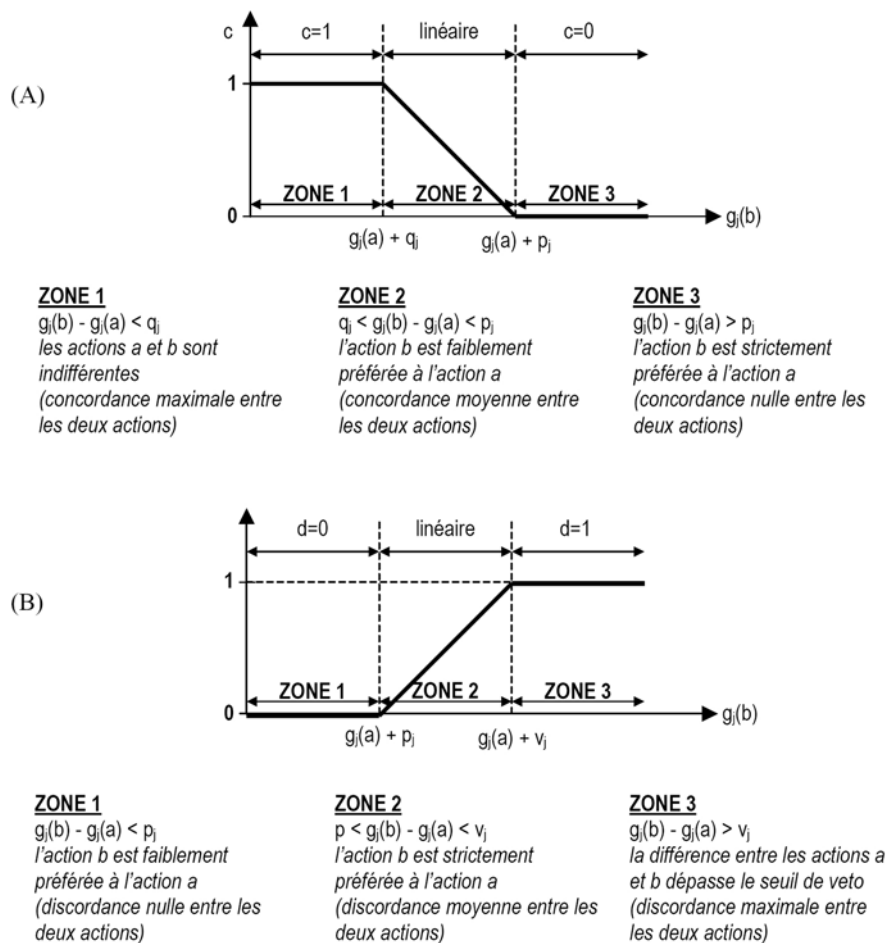
L'indice global de concordance indique dans un premier temps l'importance de l'affirmation « a S b ». Deux actions sont d'autant plus concordantes que l'indice de concordance est fort (Fig. 2A). Il s'exprime sous la forme :

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j \cdot c_j(a, b)}{\sum_{j=1}^m W_j} \quad (5)$$

avec W_j le poids du critère j et $c_j(a, b)$ l'indice de concordance par critère défini par la relation suivante :

Pour tout critère $j \in J$ (fcc)

$$\begin{aligned} c_j(a, b) &= 0 & \text{si } p_j < g_j(b) - g_j(a) \\ 0 < c_j(a, b) < 1 & \text{si } q_j < g_j(b) - g_j(a) < p_j \\ c_j(a, b) &= 1 & \text{si } g_j(b) - g_j(a) < q_j \end{aligned} \quad (6)$$



□ Figure 2

Indices de concordance (A) et de discordance (B) entre deux actions (extrait de Vallée et Zielniewicz, 1994).

Indice de discordance

À l'inverse de l'indice de concordance, deux actions sont d'autant plus discordantes que l'indice de discordance est fort (Fig. 2B). L'indice de discordance est évalué à partir des seuils de préférence (p_j) et de veto (v_j). Il est noté $D_j(a, b)$ et s'exprime sous la forme :

Pour tout critère $j \in J$ (fcc)

$$\begin{aligned} D_j(a, b) &= 1 \quad \text{si} \quad v_j < g_j(b) - g_j(a) \\ 0 < D_j(a, b) < 1 & \quad \text{si} \quad p_j < g_j(b) - g_j(a) \leq v_j \\ D_j(a, b) &= 0 \quad \text{si} \quad g_j(b) - g_j(a) \leq p_j \end{aligned} \quad (7)$$

Degré de crédibilité

Considérant les valeurs des indices de concordance et de discordance, le degré de crédibilité indique si l'hypothèse de surclassement est plausible ou non. Il est noté $(\delta_{(a,b)})$ et s'exprime sous la forme :

Pour tout critère $j \in J$

$$\delta_{(a,b)} = \begin{cases} C(a, b) & \text{si} \quad \forall j, D_j(a, b) > C(a, b) \\ C(a, b) \cdot \prod_{j \in J} \frac{1 - D_j(a, b)}{1 - C(a, b)} & \end{cases} \quad (8)$$

L'expression mathématique précédente signifie que pour une même paire d'actions :

- si l'indice de concordance est supérieur ou égal à l'indice de discordance, alors le degré de crédibilité est égal à l'indice de concordance ;
- si l'indice de concordance est strictement inférieur à l'indice de discordance, alors le degré de crédibilité est égal à l'indice de concordance affaibli des indices de discordance.

Étude de la relation de surclassement à travers les procédures de distillation ascendante et descendante

La relation de surclassement flou est obtenue à partir des degrés de crédibilité et d'un seuil de discrimination, qui représente en quelque sorte un « niveau de coupe » fixé par l'utilisateur pour parvenir à classer les hypothèses selon leur crédibilité.

Un algorithme de classement est proposé pour établir les relations de surclassement flou. Cet algorithme fait intervenir les degrés de crédibilité calculés précédemment, ainsi qu'un seuil supplémentaire dit seuil de discrimination s (λ). Le seuil de discrimination s'exprime en fonction de λ , qui représente la plus grande valeur de tous les degrés de crédibilité. Il s'exprime sous la forme* :

$$s(\lambda) = \alpha + \beta \cdot \lambda \quad \text{avec le plus souvent} \quad \alpha = 0,30 \quad \text{et} \quad \beta = -0,15 \quad (9)$$

Le seuil de discrimination permet de définir les couples d'actions sur lesquels la crédibilité du surclassement est suffisamment élevée et significativement supérieure au surclassement inverse. Il correspond donc à un niveau de coupe permettant de séparer les relations de surclassement valables et non valables. La relation de surclassement est valable si et seulement si le seuil de discrimination est proche de λ et si la différence entre $\delta_{(a,b)}$ et $\delta_{(b,a)}$ est significative, c'est-à-dire si :

$$\delta_{(a,b)} \geq \lambda - s(\lambda) \quad \text{et} \quad \left| \delta_{(a,b)} - \delta_{(b,a)} \right| \leq s(\lambda) \quad (10)$$

Ensuite, pour chaque action (a_i), un nombre de qualification (noté $Q(S_i)$) est calculé comme la différence du nombre d'actions qui sont surclassées par a_i et du nombre d'actions qui surclassent a_i . Les actions avec la meilleure qualification reçoivent le rang 1 et sont retirées du jeu initial d'actions. La même procédure est répétée avec le nouveau jeu d'actions : cela sous-entend également un nouveau degré maximal de crédibilité (λ), un nouveau nombre de qualification ($Q(S_i)$) et un nouveau classement. Ces opérations successives constituent la procédure de distillation ascendante. En outre, une procédure de distillation descendante est exécutée, en classant les actions des plus mauvaises aux meilleures. Le croisement du résultat de ces deux distillations conduit au classement final.

* Nota : le fichier d'aide du logiciel précise que l'utilisateur a la possibilité de modifier les valeurs de α et β , mais il est préférable de conserver leurs valeurs initiales, ces paramètres ne devant être modifiés qu'avec prudence.

Analyse de sensibilité et de robustesse

L'objectif de l'analyse de sensibilité est d'élaborer un ensemble de solutions valables sur une gamme spécifique de variation des paramètres. Cette analyse est d'autant plus nécessaire que l'on travaille dans le cadre d'une approche constructive, et que la méthode demande de spécifier de nombreux paramètres dont l'interprétation n'est pas toujours évidente.

Si les résultats ne sont pas sensibles aux variations des valeurs des paramètres, la solution peut alors être considérée comme robuste. Dans ELECTRE III, l'analyse de sensibilité peut être menée sur les poids des critères, les seuils d'indifférence, de préférence et de veto. Il convient de noter l'importance de cette étape d'analyse de sensibilité dans le processus de décision, celle-ci pouvant aider à augmenter le niveau d'acceptation de la méthode face à des utilisateurs souvent peu convaincus et relativement réticents.

APPLICATION DE LA MÉTHODE ELECTRE III À LA GESTION DES EAUX PLUVIALES EN MILIEU URBAIN

Contexte du cas d'étude

Le contrôle à la source des eaux pluviales est apparu depuis plusieurs années comme une solution alternative à l'évacuation des eaux par les réseaux d'assainissement. Le développement de ces techniques dites « alternatives »* (bassin d'infiltration et de rétention, chaussées poreuses à structure réservoir, puits d'infiltration, tranchées drainantes, noues, toitures stockantes, etc.) a ainsi permis de lutter contre les problèmes d'inondations et de pollution dus aux eaux pluviales en milieu urbain. Du fait de la diversité des techniques de gestion à la source des eaux pluviales et de la définition souvent insuffisante des besoins, les gestionnaires de l'eau se trouvent confrontés à de nombreuses difficultés. Des outils d'aide à la décision sont donc nécessaires pour guider les gestionnaires de l'eau dans la ville vers la ou les meilleures solutions possibles, dans un contexte particulier. Les méthodes d'analyse multicritère trouvent donc naturellement leur place dans le développement de tels processus d'aide à la décision. Ce travail s'ajoute et complète ceux déjà réalisés portant sur l'aide à la décision appliquée au choix des techniques alternatives en assainissement urbain [Azzout, 1996 ; Castro et Baptista, 2004].

Les « Best Management Practices »

Huit types de BMP ont été considérés dans ce travail :

- ① les bassins à ciel ouvert, en eau (A1) : ouvrages destinés à stocker temporairement les eaux urbaines excédentaires lors d'événements pluvieux avant de les restituer au milieu récepteur ;
- ② les bassins à ciel ouvert, secs (A2) : ouvrages entièrement conçus de manière à stocker l'eau de pluie et à la restituer en totalité ;
- ③ les bassins enterrés (A3) : ouvrages dissimulés, mais restant accessibles, destinés à stocker en souterrain l'eau de pluie ;
- ④ les noues (A4) : espaces verts temporairement submersibles, s'assimilant à des fossés larges et peu profonds ;
- ⑤ les chaussées poreuses à structure réservoir (A5) : ouvrages routiers permettant de stocker temporairement de l'eau dans le corps de la chaussée et de la restituer à débit limité vers un exutoire de surface ou dans le sol ;
- ⑥ les tranchées d'infiltration (A6) : système d'assainissement linéaire caractérisé par une excavation de profondeur et de largeur relativement faibles ;
- ⑦ les toitures stockantes (A7) : revêtement d'étanchéité implanté sur les toitures de bâtiments, protégé par des gravillons et conçu pour retenir temporairement les eaux pluviales ;
- ⑧ les puits d'infiltration (A8) : dispositifs permettant le transit du ruissellement vers un horizon perméable.

Une enquête de satisfaction a été réalisée par le CETE (Centre d'études techniques de l'équipement) du Sud-Ouest à Bordeaux auprès d'un échantillon de 524 organismes incluant des établissements

* Attention à ne pas confondre les techniques ou solutions « alternatives » et les « alternatives » ou actions ou solutions contenues dans la matrice des performances de l'analyse multicritère. Pour simplifier et éviter les confusions, le terme de « Best Management Practices » (BMP), désignant en anglais les techniques alternatives sera employé par la suite.

publics (DDE : Directions départementales de l'équipement), des collectivités territoriales et des aménageurs privés [Teyssandier, 2003]. Avec un taux de réponse de 20 %, cet échantillon représente environ 13 millions d'habitants et 3500 BMPs disséminées dans l'ensemble des régions de France. Le questionnaire portait sur les BMPs en place sur un secteur de référence : quel type de BMP est implanté de façon privilégiée ? quelle est la satisfaction des utilisateurs au regard de différents critères (technique, hydraulique, environnemental, sociologique, développement urbain, opération et maintenance, coûts) ? Toutes BMPs confondues, les résultats de l'enquête montrent que la performance hydraulique des BMPs est la mieux jugée par les utilisateurs. En revanche, les opérations de maintenance et d'entretien représentent la contrainte la plus forte associée aux BMPs. De plus, la comparaison des différentes BMPs montre que les tranchées d'infiltration sont utilisées de façon préférentielle, contrairement aux chaussées poreuses à structure réservoir qui présentent un faible indice de satisfaction [Jaunier, 2004].

Les critères

Hormis les critères de site, pouvant être discriminants dans le choix de telle ou telle BMP, six objectifs principaux sont considérés dans le processus d'analyse multicritère (Tableau II) [Ellis et al., 2004]. On distingue :

- ❶ les objectifs scientifiques et techniques (TEC), qui permettent de prendre en compte l'efficacité de la solution compensatoire, en terme de débordements, risques de colmatage, et son aptitude à retenir les pollutions, qu'elles soient particulières ou dissoutes. Ce critère permet également de rendre compte des capacités d'adaptation ou de modification de la solution dans le temps et l'espace ;
- ❷ les objectifs d'opération et de maintenance (O&M), qui permettent de prendre en compte l'ensemble des opérations de maintenance (entretiens préventifs et curatifs), que ces dernières soient régulières ou occasionnelles ;
- ❸ les objectifs environnementaux (ENV), qui permettent de prendre en compte l'impact en termes quantitatifs et qualitatifs des rejets sur le milieu naturel. La diversité écologique est également prise en compte dans ce critère ;
- ❹ les objectifs sociaux et porteurs de bénéfices pour la communauté (SOC), qui permettent de prendre en compte l'impact paysager, le caractère multifonctionnel de la solution (notamment les fonctions de loisirs), l'impact sur la population (en terme d'information et de risques), la contribution aux politiques de développement durable (consommation d'énergie, recyclage des déchets) ;
- ❺ les objectifs économiques (ECO), qui permettent de prendre en compte les coûts d'investissement, de fonctionnement, d'opération et de maintenance (incluant les prix des terrains, les charges liées à l'assainissement pluvial), ainsi que les risques financiers liés au projet et la rentabilité à long terme du projet ;
- ❻ les objectifs réglementaires (REG), qui permettent de prendre en compte le respect des différentes législations (locales, nationales, européennes), la conformité aux normes de construction, ainsi que le statut légal de l'ouvrage.

Pour permettre une évaluation plus précise des différentes BMPs, les 6 objectifs principaux sont divisés en sous-objectifs, eux-mêmes associés à 19 critères particuliers. Le tableau II présente les différents niveaux de détail proposés. Parmi les critères proposés, certains sont dépendants d'un site ou d'un contexte particulier (indiqués en italique dans le tableau), d'autres sont en revanche spécifiques à chaque BMP (soulignés dans le tableau).

Évaluation des performances

L'évaluation des performances de l'ensemble des BMP au regard des différents objectifs proposés a été effectuée en combinant plusieurs types d'outils ou documents : études bibliographiques, travaux et études sur sites, notamment pour les chaussées poreuses à structure réservoir, avec l'exemple de la rue de la Classerie à Rezé (44) [Azzout et al., 1994 ; Vigneron et al., 1998 ; Raimbault, 2000], retours d'expérience des utilisateurs.

Selon les données à disposition, l'utilisateur peut choisir un niveau de détail plus ou moins grand. Par exemple, l'utilisateur peut ne pas connaître les taux de rétention des pollutions particulières et dissoutes, mais seulement avoir connaissance de l'efficacité générale de telle ou telle technique en matière de rétention de la pollution. De même, les unités proposées dans le tableau II ne sont que des suggestions, et si l'utilisateur préfère utiliser un autre système de notation, il est totalement libre de le modifier (en s'assurant de la cohérence des informations données et de l'incertitude liée à cette donnée).

TABLEAU II
Niveau de détail des différents critères de jugement

Objectif	Sous-objectifs		Critère	Unité
	Primaires	Secondaires		
Technique et scientifique (TEC)	Performance du système	Contrôle hydraulique	<i>Période de retour</i>	ans
			<i>Durée de la période de temps sec antécédente</i>	jours
			<i>Taux de réponse pour des événements superposés</i>	m ³ /ha/h
		Contrôle chimique	<u>Rétention de la pollution particulaire</u>	% (mg/l)
			<u>Rétention de la pollution dissoute</u>	% (mg/l)
Opération et Maintenance (O&M)	Fiabilité et durabilité du système	Gestion des risques	<u>Probabilité de dysfonctionnement</u>	%
	Maintenance et approvisionnement de service	Besoins d'O&M	<u>Besoins et fréquence des opérations de maintenance</u>	+++ / +++ / +
Environnement (ENV)	Impact sur le milieu naturel récepteur	Contrôle de la pollution	<u>Impact sur la qualité des eaux souterraines</u>	1 ... n
			<i>Respect des objectifs de qualité</i>	% an
		Diversité écologique	<i>Indices biologiques</i>	1 ... n
Social et porteur de bénéfices à la communauté urbaine (SOC)	Agrément et esthétique	Inclusion sociale et caractère multi-usage	<u>Niveau d'agrément</u>	+++ / +++ / +
	Développement durable	Vie urbaine durable	<u>Contribution aux politiques de développement durable</u>	+++ / +++ / +
Économique (ECO)	Cycle de vie	Coûts d'investissement et de maintenance	<u>Capital et coûts d'entretien</u>	€/an
	Accessibilité	Coût pour la communauté	<i>Taxes</i>	+/-
		Prévisions à long terme	<i>Couvertures / garanties</i>	+++ / +++ / +
	Coût du terrain	Emprise foncière	<i>Coût du m²</i>	€/m ²
Réglementaire (REG)	Gestion des eaux pluviales urbaines	Réglementations eaux pluviales	<u>Réglementations locales et nationales</u>	O/N
		Autres réglementations	<i>Constructions immobilières</i>	O/N
	Réglementation et développement urbain	Conformité aux normes de construction	<i>Nombre d'unités de logement</i>	1...n

Dans le cadre de cet exemple et dans un but d'apprentissage de la méthode ELECTRE III, l'évaluation des BMPs n'a été réalisée que pour 9 critères (seuls les critères soulignés dans le tableau II ont été considérés, les critères spécifiques à un site n'étant pas retenus). Par ailleurs, les évaluations du critère « Réglementations locales et nationales » sont identiques pour toutes les

BMPs. Ce critère n'est donc pas déterminant dans le processus de décision et ne peut influencer à lui seul le classement de la meilleure à la moins bonne des solutions. Il peut donc être supprimé. En définitive, le système utilisé ici se résume donc à 8 alternatives (A1 ... A8) et 8 critères (C1 ... C8) (Tableau III). Ce tableau présente également les sens de variation des critères :

- ↑ signifie que la performance de l'alternative i au regard du critère j est d'autant plus forte que sa valeur est élevée (on cherche à maximiser le critère) ;
- ↓ signifie que la performance de l'alternative i au regard du critère j est d'autant plus faible que sa valeur est élevée (on cherche à minimiser le critère).

Les critères « rétention de la pollution », « besoins et fréquence des opérations de maintenance », « impact sur la qualité des eaux souterraines », « niveau d'agrément » et « contribution aux politiques de développement durable » ont été évalués d'après l'analyse des résultats d'une enquête de satisfaction sur l'utilisation des techniques alternatives en assainissement pluvial. Ils sont évalués sur une échelle de 1 à 5 ou de 1 à 3. Le critère « probabilité de dysfonctionnement » est évalué en %, d'après une étude bibliographique sur les différentes techniques alternatives. Les critères « coûts d'investissement » et « coûts d'entretien » sont évalués numériquement, respectivement en € et €/an.

TABLEAU III
Matrice des performances

CRITÈRE		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
		Rétention de la pollution	Probabilité de dysfonctionnement	Besoins et fréquence O&M	Impact sur la qualité des eaux souterraines	Niveau d'agrément	Contribution aux politiques de DD	Coût d'investissement	Coût d'entretien	Réglementation
ALTERNATIVES										
Unité		1 ... 5	%	1 ... 5	1 ... 5	1 ... 5	1 ... 3	€/UF*	€/UF/an	O/N
Sens de variation du critère		↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓
A1	Bassins à ciel ouvert en eau	4	20	3	2	5	3	38	32	O
A2	Bassins à ciel ouvert sec	4	20	3	2	5	3	54	32	O
A3	Bassins enterrés	4	20	2	2	1	1	370	32	O
A4	Noues	4	40	3	2	3,5	3	13	30	O
A5	Chaussées poreuses à structure réservoir	4	60	2	2	2,5	2	54	4,5	O
A6	Tranchées	4	60	2	2	2,5	2	39	1,2	O
A7	Toitures	1	40	2	5	1	2	0**	2	O
A8	Puits	4	60	2	1	1	1	4	2	O

* Unité Fonctionnelle. Les coûts donnés dans ce tableau sont donnés à titre indicatif et inspirés de différentes sources (CETE Sud-Ouest, Vigneron et al., 1998, Azzout et al., 1994). Ils sont fonction du dimensionnement du système que l'utilisateur doit prendre en compte (pour les bassins en eau, à sec, enterrés, les noues, l'UF est le m³ ; pour les chaussées poreuses à structure réservoir, les tranchées, l'UF est le m²).

** Une toiture terrasse ne présente pas de surcoût supplémentaire d'investissement. Pour l'entretien, il est estimé de façon similaire à l'entretien d'une dalle béton gazon ou de l'entretien de la surface réceptrice d'un puits, à savoir environ 0,18 €/m²/mois, soit environ 2 € par an.

Pondération des critères

La pondération des critères permet de donner un poids plus important à un ou plusieurs critères parmi le jeu initial de critères. Parmi les différentes techniques de pondération proposées, la méthode des cartons [Simos, 1990] a été choisie. Pour chaque jeu de poids, les critères sont classés par ordre

d'importance croissante, e, autorisant les ex-aequo ainsi que les blancs entre deux critères. Trois jeux de poids sont ainsi définis, représentatifs de trois types d'acteurs (Tableau IV) :

- ① acteur 1 : logique de planification ;
- ② acteur 2 : logique de développement urbain ;
- ③ acteur 3 : logique de protection de l'environnement.

L'acteur 1 choisit de privilégier les critères économiques (coût d'investissement et d'entretien, besoin et fréquence des opérations de maintenance). L'acteur 2 choisit, dans une optique de développement durable urbain, d'accorder une importance plus forte aux critères sociaux et porteurs de bénéfices à la communauté urbaine (niveau d'agrément et contribution aux politiques de développement durable). L'acteur 3, dans un souci de protection des milieux naturels, privilégiera les critères environnementaux (rétention de la pollution et impact sur la qualité des eaux souterraines).

TABLEAU IV
Les trois jeux de poids considérés dans l'analyse multicritère (exprimés en %)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Acteur 1	5	12	19	5	5	12	23	19
Acteur 2	15	4	4	15	21	21	10	10
Acteur 3	21	8	10	21	16	16	4	4

Détermination des seuils

Les seuils s'expriment de façon affine en fonction de la performance $g(a)$. La différence entre deux actions est donc comparée aux seuils attribués à l'action dont la performance est la plus élevée. Selon le type de critère, les seuils sont définis en fonction de la performance des actions (C1, C3), ou sont caractérisés par une constante (C2, C4, C5, C6, C7, C8) (Tableau V).

Si l'on prend l'exemple du critère C1 (rétention de la pollution), les seuils sont définis en fonction de la valeur de la performance des deux actions comparées. Cela signifie que :

- si la différence entre deux actions est inférieure à 10 % de la plus grande performance, les deux actions sont indifférentes ;
- si la différence entre deux actions est comprise entre 10 et 40 % de la plus grande performance, l'action de plus forte performance est faiblement préférée à l'action de plus faible performance ;
- si la différence entre deux actions est comprise entre 40 et 80 % de la plus grande performance, l'action de plus forte performance est fortement préférée à l'action de plus faible performance ;
- si la différence entre deux actions est supérieure à 80 % de la plus grande performance, l'action de plus petite performance ne pourra jamais, pour un autre critère, surclasser l'action de plus grande performance.

Le principe est le même pour les autres critères, quel que soit le mode de définition. Pour les critères C5 (niveau d'agrément) et C6 (contribution aux politiques de développement durable), l'effet de veto est supprimé, considérant de façon arbitraire que la nature de ces deux critères n'amène pas forcément à refuser le surclassement d'une action sur l'autre si la différence de leurs performances dépasse une certaine valeur.

Les valeurs des seuils ont été attribuées de façon arbitraire, et une analyse de sensibilité a été réalisée pour juger de l'influence de la variation de ces paramètres sur les résultats de l'analyse multicritère.

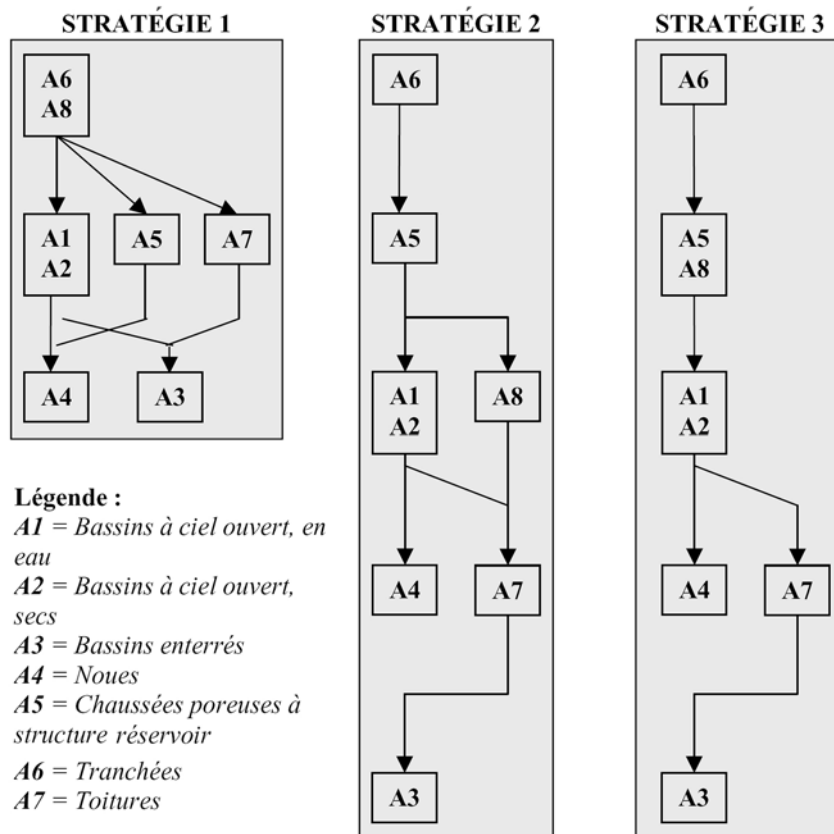
TABLEAU V
Valeurs des seuils d'indifférence (q), de préférence (p) et de veto (v) attribués aux critères C1 à C8

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
q	10 %	10	5 %	1	1	1	25	5
p	40 %	30	40 %	2	2	2	50	10
v	80 %	60	80 %	4	-	-	100	30

Résultats

Relations de surclassement

Les relations finales de surclassement sont présentées sur la figure 3 (stratégies 1, 2 et 3). Dans cette figure, deux actions sont indifférentes deux à deux lorsqu'elles sont contenues dans la même case (exemple des bassins à ciel ouvert, secs ou en eau, qui sont systématiquement indifférents, quelle que soit la stratégie). Deux actions sont incomparables lorsqu'elles sont placées dans deux cases différentes, non reliées par une relation de surclassement.



□ Figure 3

Relations finales de surclassement pour la situation témoin et les trois stratégies d'action analysées.

Dans le cas de la situation témoin, les tranchées surclassent les chaussées poreuses à structure réservoir, qui elles-mêmes surclassent les puits d'infiltration. Viennent ensuite les bassins à ciel ouvert, secs ou en eau, et les toitures, puis les noues et les bassins enterrés qui sont deux solutions incomparables.

Les résultats des stratégies de planification, de développement urbain et de protection de l'environnement ne diffèrent pas de façon importante de la situation témoin. En effet, pour chacun des trois cas examinés (stratégies 1, 2 et 3), les tranchées sont toujours en position favorable, suivies des chaussées poreuses à structure réservoir et des puits. Les bassins enterrés sont toujours situés en dernière position, cela étant dû aux coûts importants d'investissement (même dans le cas de la stratégie de protection de l'environnement, où les coûts d'investissement et de maintenance ont un coefficient de pondération de 4 %).

Les résultats des stratégies d'action 2 et 3 sont très peu différents. La seule différence concerne les chaussées poreuses à structure réservoir et les puits d'infiltration, qui sont deux solutions indifférentes dans le cas de la stratégie d'action 3, tandis que dans le cas de la stratégie d'action 2, les chaussées poreuses à structure réservoir surclassent les puits d'infiltration.

Ces résultats montrent que des relations de surclassement relativement proches peuvent être obtenues en considérant trois jeux de poids différents, attestant du rôle prépondérant de l'étape

d'évaluation des performances dans le processus d'aide à la décision. L'évaluation des performances des BMPs doit donc être réalisée de façon indépendante par la communauté scientifique, pour offrir aux acteurs impliqués dans le processus de décision de solides bases de concertation.

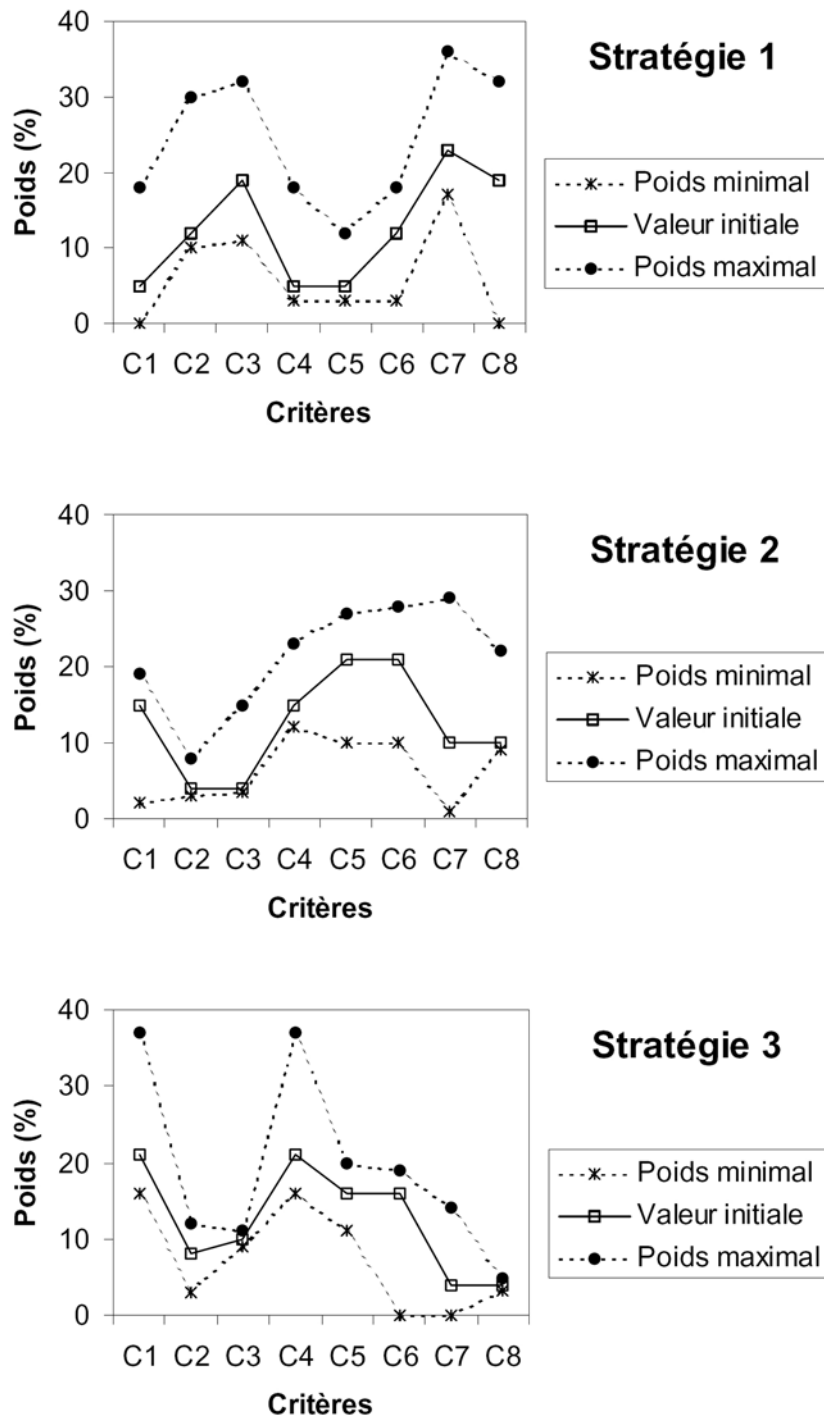
Analyse de sensibilité

Prenant en compte la part importante d'arbitraire dans l'analyse multicritère (notamment ce qui concerne la définition des valeurs des seuils et des poids), l'analyse de sensibilité a deux objectifs : établir en quelle mesure la solution choisie est stable et définir la gamme de variation des paramètres qui conditionne le plus étroitement la solution choisie. L'analyse de sensibilité a été menée sur les valeurs des seuils d'indifférence, de préférence et de veto (Tableau VI), ainsi que sur les poids (Fig. 4), en faisant varier un paramètre et en conservant la valeur initiale des autres paramètres.

De façon générale, l'analyse de sensibilité montre que les résultats (graphes de surclassement) sont peu sensibles à une variation de la valeur des seuils supérieure à $\pm 10\%$. Des exceptions subsistent, notamment pour le seuil de veto du critère C8, dont la variation fait automatiquement varier le résultat de l'analyse multicritère pour la situation témoin, et les stratégies 2 et 3. Ce genre de résultat amène à réfléchir à nouveau sur la valeur donnée au seuil de veto pour ce critère. L'analyse de

TABLEAU VI
Analyse de sensibilité sur les valeurs des seuils q_j , p_j et v_j du modèle

Critère	Paramètre	Acteur 1			Acteur 2			Acteur 3		
		Min	V init	Max	Min	V init	Max	Min	V init	Max
C1	q	0	10 %	40	0	10 %	40	0	10 %	40
	p	10	40 %	80	10	40 %	80	10	40 %	80
	v	40	80 %	100	40	80 %	100	40	80 %	100
C2	q	0	10	30	0	10	30	0	10	30
	p	10	30	45	10	30	56	22	30	60
	v	44	60	–	43	60	–	47	60	–
C3	q	0	5 %	25	0	5 %	19	0	5 %	15
	p	5	40 %	58	5	40 %	46	38	40 %	43
	v	40	80 %	–	–	80 %	–	–	80 %	–
C4	q	0	1	2	0	1	2	0,9	1	2
	p	1	2	3,5	1	2	3	1	2	3,9
	v	3,2	4	4,1	3,5	4	4,2	3,4	4	4,4
C5	q	0	1	2	0,7	1	2	0,4	1	2
	p	1	2	3,4	1,9	2	3,8	1,8	2	2,7
C6	q	0,5	1	1,9	0,3	1	1,9	0,6	1	2
	p	1	2	3,9	1	2	2,9	1	2	–
C7	q	11	25	36	0	25	50	0	25	50
	p	38	50	57	25	50	100	25	50	100
	v	50	100	533	50	100	–	56	100	354
C8	q	0	5	10	0	5	10	0	5	10
	p	5	10	29	5	10	12	5	10	11
	v	10	30	41	28	30	30	30	30	30



□ **Figure 4**

Analyse de sensibilité sur les poids des critères pour les trois stratégies d'action analysées. Les valeurs minimales et maximales représentent celles n'engendrant pas de modification dans la relation finale de surclassement.

sensibilité permet aussi de mettre en évidence des paramètres superflus : exemple du seuil de veto du critère C3 qui n'intervient jamais car la valeur du seuil est systématiquement supérieure à la différence maximale entre deux évaluations. Cela montre, que dans certaines circonstances, les différences de performances peuvent ne jamais dépasser des valeurs inacceptables.

Concernant les poids des critères, les résultats montrent que le graphe de surclassement final est assez peu sensible à une variation des jeux de pondérations. En effet, les valeurs des poids de l'ensemble des critères supportent une variation minimale de $\pm 10\%$ de leur valeur initiale sans influencer les relations finales de surclassement entre actions (cf. Fig. 4).

CONCLUSION

ELECTRE III est une méthode d'analyse multicritère fondée sur la construction de relations de surclassement entre alternatives, à travers une approche d'agrégation partielle des performances. Déjà largement appliquée pour résoudre des questions liées à des problématiques environnementales, ELECTRE III est ici appliquée à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Huit alternatives et huit critères de jugement sont considérés dans la construction de la relation de surclassement.

Dès lors, un travail de concertation et de négociation peut s'ouvrir entre les différents décideurs, dans le but de parvenir à un consensus. Cet exemple montre qu'une grande concertation doit être instaurée entre les utilisateurs de l'outil, décideurs et partenaires scientifiques qui procèdent à l'analyse. Dans de nombreuses situations, les décideurs ou utilisateurs sont confrontés à la complexité des méthodes multicritères. Il est du ressort du partenaire scientifique de poser clairement les principes de fonctionnement de la méthode et de faire le lien avec les attentes des décideurs. Une fois cette étape passée, l'analyse multicritère s'avère être un outil très utile dans le cas de processus de décision où différentes opinions sont confrontées.

D'un point de vue plus général, on constate l'importance d'un travail de recherche en amont, notamment sur l'évaluation des performances. En effet, différents types de stratégies (planification, développement urbain, protection de l'environnement) peuvent conduire à des relations de surclassement présentant de nombreuses similitudes. Dans cet exemple, la similarité des résultats est ici due à des performances relativement proches pour l'ensemble des alternatives, qui sont très discriminantes et prédominent sur l'influence des poids des critères. Les recherches futures doivent donc se concentrer sur les modes d'évaluation des performances des techniques alternatives au regard des différents critères de jugement. Une homogénéisation des modes d'évaluation entre les différents pays européens est à ce jour étudiée dans le cadre du projet européen DayWater.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Maud JAUNIER, Yves RUPERD et Jean-Daniel BALADÈS du CETE du Sud-Ouest pour l'ensemble des données fournies et pour leur agréable collaboration à ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AZZOUT Y., BARRAUD S., CRES F.N., ALFAKIH E., *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien*, Technique et Documentation Lavoisier, Paris, **1994**, 372 pages.

AZZOUT Y., *Aide à la décision appliquée au choix des techniques alternatives en assainissement pluvial*, Thèse de l'INSA de Lyon, **1996**, 245 pages.

BARRAUD S., BARDIN J.P., ALFAKIH E., ABDELMALKI L., *Construction d'indicateurs de performances techniques, économiques et environnementales des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain*, INSA, Lyon, Compte-rendu final de l'action de recherche initiée dans le cadre de l'Action Concertée Incitative VILLE, **2001**, 129 pages.

BELLA A., DUCKSTEIN L., SZIDAROVSKY F., A Multicriterion Analysis of the Water Allocation Conflict in the Upper Rio Grande Basin, *Applied Mathematics and Computation*, **77**, **1996**, pp. 245-265.

BEN MENA S., Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **4(2)**, **2000**, pp. 83-93.

CASTRO L.M.A., BAPTISTA M.B., *Indicators proposition for urban drainage systems evaluation in developing countries*, Novatech'2004, vol. 2, Lyon, **2004**, pp. 1333-1340.

ELLIS J.B., DEUTSCH J.-C., MOUCHEL J.-M., SCHOLLES L., REVITT M.D., Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff, *Science of the Total Environment*, **334-335**, **2004**, pp. 251-260.

GEORGOPOULOU E., LALAS D., PAPAGIANNAKIS L., A multicriteria decision aid approach for energy planning problems : the case of renewable energy option, *European Journal of Operational Research*, **103**, **1997**, pp. 38-54.

HINLOOPEN E., NIJKAMP P., RIETVELD P., Integration of ordinal and cardinal information in multi-criteria ranking with imperfect compensation, *European Journal of Operational Research*, **158**, **2004**, pp. 317-338.

- HOKKANEN J., SALMINEN, P., Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis, *European Journal of Operational Research*, **98**, 1997, pp. 19-36.
- JAUNIER M., *Gestion intégrée des eaux pluviales en milieu urbain : évaluation statistique des techniques alternatives*, Centre d'Études Techniques de l'Équipement, Bordeaux, 2004, 68 pages.
- KARAGIANNIDIS A., MOUSSIOPOULOS N., Application of ELECTRE III for the integrated management of municipal solid wastes in the Greater Athens Area, *European Journal of Operational Research*, **97**, 1997, pp. 439-449.
- LEYVA-LOPEZ J.C., FERNANDEZLONZALES E., A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology, *European Journal of Operational Research*, **148**, 2003, pp. 14-27.
- MAYSTRE L.Y., PICTET J., SIMOS J., *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994, 323 pages.
- MOUSSEAU V., *Eliciting information concerning the relative importance of criteria*, in P. Pardalos, Y. Siskos and C. Zopounidis, editors, *Advances in Multicriteria Analysis*, Kluwer Academic, Dordrecht, 1995, pp. 17-43.
- NEJI J., NEIFAR M., TURKI S.Y., Application de la méthode multicritère ELECTRE III pour la conception d'un outil d'aide à la décision en matière d'aménagement urbain, *Revue Générale des Routes*, **828**, 2004, pp. 44-50.
- RAIMBAULT G., *Bilan de la chaussée à structure-réservoir de la rue de la Classerie à Rezé : dix ans après sa construction*, LCPC. éd., 2000, 117 pages.
- ROY B., ELECTRE III : un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples, *Cahiers du CERO*, **20(1)**, 1978, pp. 3-24.
- ROY B., HUGONNARD J.-C., Classement des prolongements de lignes de métro en banlieue parisienne (Présentation d'une méthode multicritère originale), *Cahiers du CERO*, **24(2-3-4)**, 1982, pp. 153-171.
- ROY B., SLOWINSKI R., TREICHEL W., Multicriteria programming of water supply systems for rural areas, *Water Resources Bulletin*, **28(1)**, 1992, pp. 13-32.
- ROY B., BOUYSSOU D., *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*, Économica, Paris, 1993, 695 pages.
- SIMOS J., *Évaluer l'impact sur l'environnement : une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1990, 261 pages.
- TEYSSANDIER A., *Gestion intégrée des eaux de temps de pluie : évaluation des techniques alternatives, aide au choix des stratégies*, Centre d'Études Techniques de l'Équipement, Bordeaux, 2003, 117 pages + annexes.
- VALLÉE D., ZIELNIEWICZ P., ELECTRE III-IV, version 3.x. *Aspects méthodologiques*, LAMSADE, Université de Paris Dauphine, 1994, 52 pages.
- VIGNERON S., BALADÈS J.-D., TRINCAT A.-M., OUSTIC A., *Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial. Éléments-clés pour leur mise en œuvre*, 1998, Centre d'études techniques de l'Équipement, Bordeaux, 155 pages.