

Record Number: 11960
Author, Monographic: Abi-Zeid, I.
Author Role:
Title, Monographic: L'application de l'analyse multicritère au contrôle des niveaux des Grands Lacs
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1997
Original Publication Date: Octobre 1997
Volume Identification:
Extent of Work: 42
Packaging Method: pages incluant 2 annexes
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 515
Location/URL:
ISBN: 2-89146-307-2
Notes: Rapport annuel 1997-1998
Abstract:
Call Number: R000515
Keywords: rapport/ ok/ dl

**L'APPLICATION DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE AU
CONTRÔLE DES NIVEAUX DES GRANDS LACS**

**Rapport préparé
par**

Irène Abi-Zeid

**Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau
2800, rue Einstein, Case postale 7500, Sainte-Foy (Québec), G1V 4C7**

**Rapport de recherche No R-515
Octobre 1997**

©

INRS-Eau, 1997
ISEN 2-89146-307-2

RÉSUMÉ

En août 1986, les gouvernements américain et canadien demandaient à la *International Joint Commission* (IJC) d'examiner et de recommander diverses méthodes pour alléger les impacts négatifs des fluctuations des niveaux d'eau dans le bassin des Grands Lacs - fleuve St-Laurent. Ce travail illustre l'application de la méthodologie d'aide multicritère à la décision (MMCAD) à ce problème de gestion des ressources hydriques. Bien que le cas étudié soit réel, les chiffres utilisés sont fictifs. Ces chiffres ont été fournis par un expert en hydrologie qui a évalué au mieux de sa connaissance la performance de quelques 12 actions par rapport à quelques 14 critères sur une échelle ordinaire à 11 échelons. Les résultats obtenus ne devraient toutefois pas être considérés comme étant les meilleures solutions à adopter dans le contexte réel de l'étude de l'IJC.

La démarche utilisée pour formaliser le problème est celle décrite par Roy (1985). La méthode de surclassement ELECTRE I est utilisée afin d'arriver à une "solution", à savoir obtenir une relation de surclassement sur les actions et dégager les actions non dominées.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 Bref aperçu de la littérature	2
2. DESCRIPTION DU PROBLÈME	5
2.1 Formalisation du problème	8
3. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS	13
3.1 Choix d'une d'agrégation multicritère (PAMC)	13
3.2 La méthode ELECTRE I	14
3.3 Résultats	14
4. CONCLUSION	20
5. BIBLIOGRAPHIE	22
6. ANNEXE I: LES MESURES PROPOSÉES	26
7. ANNEXE II: LES OBJECTIFS À RESPECTER	32

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1: Le graphe de surclassement S	17
Figure 3.2: Le graphe de surclassement S'.....	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: L'ensemble A des actions retenues	9
Tableau 2.2: Les critères retenus	11
Tableau 3.3: La grille d'évaluation	15
Tableau 3.4: Matrice de concordance	15
Tableau 3.5: Matrice de discordance	16

1. INTRODUCTION

En août 1986, les gouvernements américain et canadien demandaient à la *International Joint Commission* (IJC) d'examiner et de recommander diverses méthodes pour alléger les impacts négatifs des fluctuations des niveaux d'eau dans le bassin des Grands Lacs - fleuve St-Laurent. Le mandat de la commission consistait en plusieurs points dont l'évaluation de diverses actions qui incluaient des mesures de régulation et de contrôle de l'usage des terrains, des mesures incitatives, des mesures structurelles, des mesures adaptatives, des mesures d'urgence, et des mesures d'information du public. 119 actions possibles furent proposées au total (annexe I). Ces actions devaient être évaluées en tenant compte de 41 objectifs (annexe II) tels que l'impact sur les installations publiques, la navigation commerciale, l'agriculture, la génération de puissance hydroélectrique, les installations commerciales, la pêche, et les Amérindiens.

L'évaluation d'actions en fonction de critères conflictuels et non commensurables est un problème qui se prête bien à l'analyse par la méthodologie d'aide multicritère à la décision (MMCAD). D'ailleurs, l'analyse multicritère était une des méthodes suggérées dans le cadre du travail de l'IJC. Les autres méthodes incluaient l'analyse coût-bénéfice, le processus Delphi, et l'assemblée américaine.

Notre travail se veut une illustration de l'application de la MMCAD pour résoudre ce problème très pratique de gestion des ressources hydriques. Les résultats obtenus ne devraient pas être considérés comme étant les meilleures solutions à adopter dans le contexte réel de l'étude de l'IJC. D'ailleurs cette étude a été complétée et le rapport dans lequel la IJC a fait ses recommandations publié (International Joint Commission, 1993).

La démarche que nous avons suivie pour formaliser ce problème de décision dans un contexte multicritère est celle décrite par Roy (1985). Afin d'amener le problème à une dimension raisonnable, nous avons réduit l'ensemble des actions et des critères. Nous avons utilisé des évaluations action/critère qui ont été avancées au mieux de ses connaissances par un expert en hydrologie.

Nous commençons par présenter un bref aperçu de certains travaux qui ont appliqué l'analyse multicritère aux problèmes de gestion des ressources hydriques. Le chapitre 2 décrit la problématique des fluctuations des niveaux des Grands Lacs. Le chapitre 3 présente la méthodologie multicritère suivie ainsi que les résultats. Le chapitre 4 contient la conclusion.

1.1 Bref aperçu de la littérature

L'usage des méthodes multicritères comme outil d'évaluation et de prise de décision dans le contexte des problèmes reliés aux ressources de l'eau est courant dans la littérature (Ridgley *et al.*, 1997; Prathpar *et al.*, 1997; Lotov *et al.*, 1997; Netto *et al.*, 1996; Bella *et al.*, 1996; Stewart et Scott, 1995; Abu-Taleb et Mareschal, 1995; Ridgley, 1995; Roy *et al.*, 1992). Dans Teclé *et al.* (1988), ELECTRE I est utilisée pour choisir des méthodes de gestion des eaux usées des villes Nogares, Arizona, et Sonora, Mexique. Dans Shafike *et al.* (1992), on utilise ELECTRE II pour analyser les techniques de gestion du problème de contamination des eaux souterraines. Duckstein *et al.* (1991) utilisent des méthodes multicritères pour estimer les paramètres d'une distribution de probabilité de conditions hydrologiques extrêmes. Dans Bårdossy et Duckstein (1992), une analyse multicritère floue de la gestion d'une nappe karstique dans la région transdanubienne de Hongrie est effectuée. Dans Bogardi et Duckstein (1992), des méthodes multicritères aident à déterminer des solutions au problème de transfert et d'allocation d'eau aux divers clients du bassin Chao Phraya en Thaïlande, ainsi qu'au problème d'opération du réservoir Ubol Ratana en Thaïlande.

Aux États-Unis, un grand nombre des agences gouvernementales fédérales, d'état et locales utilisent des méthodes multicritères pour la planification, le design et l'implantation des activités reliées aux ressources en eau. Une des premières études du genre fut NAR (North Atlantic Regional Study, 1971) dont le but était de calculer le coût minimal de la demande en eau de divers sous-bassins. Ces méthodes furent aussi utilisées pour la planification de projets autour du Rio Colorado, Argentine (1973), la construction d'un barrage sur le Big Walnut Creek en Indiana (1974), l'identification de solutions aux problèmes autour du bassin de la rivière Maumee (1973), et la gestion des ressources en eau du McGee Creek, Oklahoma (1976).

Ces exemples ne sont que quelques-uns illustrant l'usage des méthodes multicritères pour étudier des problèmes reliés à la planification, au développement et à la gestion des ressources en eau tels que le contrôle des inondations, le stockage et la conservation de l'eau, la génération de l'hydroélectricité, les activités récréatives, le contrôle de l'érosion, la navigation, et la gestion des eaux usées.

2. DESCRIPTION DU PROBLÈME

En avril 1987, la *International Joint Commission* (IJC) débutait la phase I du projet qui devait examiner et recommander des méthodes pour réduire les impacts négatifs des fluctuations des niveaux d'eau dans le bassin des Grands Lacs - fleuve St Laurent. Le rapport final de cette phase fut déposé en août 1989 (*Project Management Team*, 1989). Ce rapport accompagné de 7 annexes décrivait la vie dans la région des Grands Lacs, les fluctuations de niveaux passées et futures anticipées, les écosystèmes de la région, les divers intérêts et politiques, les actions potentielles, les instruments d'évaluation, et les programmes d'information du public. Cette phase a permis d'identifier des problèmes reliés à la gestion des niveaux d'eau et d'explorer des avenues potentielles pour la résolution de ces problèmes. Une approche pour la planification d'étapes futures fut recommandée.

Les gouvernements reconnaissaient les travaux antérieurs de la commission et les rapports sur la régulation du niveau des Grands Lacs qui ont encouragé diverses juridictions visant à améliorer les méthodes de gestion des rives. Mais depuis ces travaux, les stocks en eau avaient été dépassés, les conditions économiques avaient changé, et de nouvelles techniques analytiques étaient devenues disponibles. Les gouvernements canadien et américain avaient donc conclu que plus d'investigation était requise pour réviser les rapports précédents et développer de nouvelles méthodes pour réduire l'impact des niveaux extrêmes. En février 1990, un comité fut établi avec le mandat d'entreprendre la phase II de l'étude dont le but était d'examiner et de recommander diverses actions possibles. L'étude disposant d'un budget de 6 millions dollars fut complétée en 1993 (*International Joint Commission*, 1993). La participation du public devait être assurée et de grandes lignes directrices devaient être proposées aux gouvernements. Plus précisément, le mandat de la commission consistait à :

- Proposer et évaluer des mesures que les gouvernements pourraient prendre, en situation de crise, pour alléger les problèmes créés par des niveaux bas ou élevés de lacs.
- Réviser les études de régulation des lacs précédentes, l'ingénierie ainsi que les évaluations économiques et environnementales.

- Examiner les changements passés, présents et futurs possibles en ce qui a trait à l'usage et à la gestion des rives des grands lacs, des canaux et du St-Laurent.
- Déterminer dans la mesure du possible, les coûts socio-économiques et les bénéfices associés à un usage différent des rives et à des politiques de gestion différentes et les comparer avec les coûts et les bénéfices des plans existants de régulation des lacs.
- Examiner les méthodes faisables pour améliorer la capacité d'écoulement des canaux reliés au St-Laurent.
- Développer un programme d'information et de sensibilisation qui pourrait être mis en oeuvre par des agences gouvernementales pour mieux informer le public des fluctuations des niveaux des lacs.
- Considérer toute autre action que la commission jugeait pertinente à cette étude.

La commission devait prendre en considération les effets des actions étudiées sur:

- Les quantités d'eau potable domestique ainsi que les installations sanitaires.
- La navigation.
- Les quantités d'eau pour buts industriels, commerciaux et de génération de puissance.
- L'agriculture.
- Les propriétés riveraines, publiques et privées.
- Le contrôle des inondations.
- La flore, la faune et les aspects environnementaux.

- Les activités récréatives et le tourisme.
- Tout autre impact et effet que la commission jugeait pertinent.

L'accent était mis sur la participation du public et un comité de citoyens de 18 membres fut établi. Le comité d'étude était composé d'une section canadienne et d'une section américaine. Chaque section était constituée de cinq membres, un membre d'une agence fédérale, deux membres d'une agence provinciale ou d'état, un représentant du public et un représentant non gouvernemental choisi par la commission. Quatre sous-comités furent formés: sous-comité I avait comme mandat d'assurer la participation du public et son information, sous-comité II étudiait l'usage des terrains et leur gestion, sous-comité III examinait les régulations existantes et les conditions de crise, et le sous-comité IV était chargé de développer les objectifs, d'obtenir un consensus sur l'approche utilisée, de mener une évaluation des actions et de faire des recommandations.

L'objectif de notre travail est d'illustrer l'applicabilité de l'analyse multicritère dans le contexte de la gestion des niveaux des Grands Lacs. Notons que dans un contexte réel d'étude, les résultats présentés dans ce rapport feraient normalement partie d'une stratégie d'évaluation complexe incluant la description des actions, l'identification des objectifs et des contraintes, l'examen des actions, l'analyse d'impact, les critères d'évaluation, l'évaluation multicritère, les forums publics et finalement les recommandations. Or, seule l'étape de l'évaluation multicritère est abordée dans ce travail. Cette démarche a normalement lieu après les évaluations d'impact et après la consultation avec le public et les groupes d'intérêt. Pour mieux situer notre travail par rapport au projet d'étude de la IJC, on peut l'associer à un des multiples aspects du mandat du sous-comité IV, et plus précisément à l'étape "évaluation des actions".

Pour les fins de ce travail, l'aide d'un expert en hydrologie qui a été impliqué d'assez près avec le comité d'étude a été sollicitée pour évaluer les différentes actions par rapport aux différents critères.

2.1 Formalisation du problème

La démarche que nous avons suivie pour formaliser le problème est celle présentée par Roy (1985). Celle-ci implique la définitions des actions, des critères et des échelles d'évaluation correspondantes (codage).

2.1.1 Les actions

L'annexe I contient une liste de 119 mesures proposées à la commission pour répondre aux problèmes de niveaux des Grands Lacs. Celles-ci comprennent des mesures structurelles ainsi que non structurelles. Les mesures structurelles incluent le design, la construction et l'opération de barrages, de digues, de centrales hydroélectriques, de canaux en ciment et de murs anti-vagues. Les mesures non structurelles incluent la relocalisation des familles, l'implantation de politiques de conservation d'eau, la conversion de zonage de certaines régions en parcs, en terrains de golf etc. Nous considérons ces 119 mesures comme des actions selon la définition par Roy (1985) d'une action comme "la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale, susceptible d'être envisagée de façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à la décision".

L'IJC avait mené un sondage auprès d'experts leur demandant de trier les actions en accordant une note à chacune d'elles comme suit:

- 3 s'ils considèrent que l'action **doit** être prise en considération
- 2 si l'action **devrait** être prise en considération
- 1 si l'action **ne devrait probablement pas** être prise en considération
- 0 Si l'action **ne doit pas** être prise en considération

On avait demandé aux experts d'assigner ces notes basées sur la capacité des actions à rencontrer les objectifs du mandat en tenant compte des diverses contraintes, et non uniquement de la possibilité de réduire les problèmes associés aux fluctuations des niveaux d'eau.

Suite à ce sondage, les actions furent triées et classées. Le total des points obtenus ainsi que le rang de chacune des actions selon ce total figurent dans l'annexe I (colonnes 3 et 1 respectivement). Une fois ce rangement obtenu, les experts se sont rencontrés afin de

discuter des actions qui devraient être retenues pour l'étude d'évaluation. L'accent était mis sur les mesures de régulation ainsi que sur le contrôle de l'usage des terrains.

Étant donné le grand nombre d'actions, nous avons réduit l'ensemble des 119 actions à un ensemble A de 12 actions décrites au tableau I. Le choix de ces 12 actions fut dicté par les rangs qu'elles ont obtenus suite au classement des experts. Elles sont parmi les 15 premières actions telles que rangées par le sondage. De plus, les commentaires de notre expert qui a assisté à la réunion ont confirmé notre choix d'actions.

L'ensemble A des actions retenues	
Action	Description
1	1.1.2 Modifier le plan de régulation existant pour le lac Ontario
2	1.1.1 Modifier le plan de régulation existant pour le lac Supérieur
3	1.2.7 Régulation complète des 5 grands lacs
4	2.2.1 Acquisition par la communauté des terres à risque
5	2.2.3 Relocalisation des structures ailleurs que dans les régions à risque
6	2.2.2 Protection et amélioration des habitats côtiers
7	4.1.11 Élimination des subventions ou prêts pour développement dans les régions à risque
8	5.2.3 Prévisions météorologiques des orages
9	6.5 Maximisation de l'usage des structures de régulation existantes et procédures/ information du public et éducation/ cartographie des terres à risque
10	6.3 Cartographie des terres à risque/ zonage structurel/ information et éducation du public
11	6.6 Acquisition par la communauté des terres à risque/ régulation de l'usage de propriétés dans les régions à risque
12	4.3.4 Coordination et échange d'information

Tableau 2.1: L'ensemble A des actions retenues

L'ensemble A des actions retenues pour ce travail est bien défini suivant Roy (1985). Chacune de ces actions a un sens par elle-même, elle peut être considérée isolément de toute autre action sans pour autant perdre sa portée décisionnelle. Ces actions sont réelles et réalistes, certaines sont globales, exclusives de toute autre action introduite dans le modèle, telles les actions 1 et 6, et d'autres sont, au contraire, fragmentaires telles les actions 2 et 9. Cet ensemble A est un ensemble discret d'actions potentielles, il est stable puisqu'il rencontre les deux conditions de stabilité, interne et externe, c'est-à-dire que la définition

initiale de A n'est pas susceptible d'être mise en cause et que A jouit d'une définition exhaustive durable sans éventuel caractère transitoire.

2.1.2 Les critères

Selon Roy (1985) une fonction critère est "une fonction g à valeurs réelles définie sur A (l'ensemble des actions) appréhendant le sous-nuage des conséquences d'une action". Dans notre cas, l'ensemble des conséquences identifiées (objectifs à rencontrer) est présenté dans l'annexe II, elles sont numérotées de A à J sous le titre catégorie d'impact. Les sous-éléments A1 à J3 sont des conséquences élémentaires puisqu'elles sont suffisamment bien identifiées pour que les acteurs en comprennent la signification, et suffisamment bien perçues pour qu'on puisse les détecter suite à une action. On distingue trois niveaux de conséquences: niveau individuel tel que les effets sur les pêcheurs, les riverains ou les Amérindiens, niveau collectif tel que les effets sur la navigation ou l'agriculture, et niveau structurel tel que la construction de barrages, digues ou anti-vagues. Dans ce travail, les critères sont identifiés aux conséquences élémentaires. Il faudra toutefois déterminer le codage qui permettra d'obtenir la fonction g .

2.1.3 Le codage

Les échelles de préférence naturellement associées avec les 41 conséquences élémentaires de l'annexe II sont plus ou moins facilement identifiables. Toutefois pour définir une fonction critère, rien ne s'oppose à l'usage d'un codage différent du codage identité. Dans notre étude, étant donné que les vraies valeurs sur l'échelle des divers coûts ne sont pas disponibles et que plusieurs des conséquences à évaluer ont un caractère qualitatif difficile à chiffrer, nous avons utilisé pour tous les critères un codage unique qui correspond à une échelle de 0 à 10, et ce sans perte d'information. Une note de 10 indique que l'action est excellente pour rencontrer l'objectif du critère et une note de 0 signifie qu'elle est très mauvaise. Une note de 5 indique qu'elle est moyenne. L'écart entre les notes pour deux actions pour un même critère est d'autant plus grand que la supériorité d'une action sur l'autre est marquée pour ce critère.

Les différences de performance sur chaque critère sont représentatives des différences de préférences, rendant la graduation de l'axe de signification de chaque critère mesurable. Les critères ci-haut sont graduables dans le sens que la différence $g_i(a') - g_i(a)$ reflète, d'un point

de vue qualitatif, l'importance de l'écart qui sépare ces deux actions. La graduation est conforme à l'axe de commensurabilité des écarts de préférences selon l'axe de signification, c'est-à-dire les différences de performance sur chaque critère représentent les différences de préférence. Ceci équivaut à dire que nous avons une échelle intervalle selon la terminologie de la théorie du mesurage (Roberts, 1979).

2.1.4 Les critères retenus

Il est important de travailler avec un nombre relativement faible de critères afin qu'il soit facile de raisonner sur cette base. Suite à des agrégations, nous sommes passés de 41 critères possibles (annexe I) à 14 critères (tableau 2.2). Les critères qui ont été agrégés se rapportent tous à des conséquences élémentaires suffisamment voisines, étant tous exprimés en une unité monétaire. Notons toutefois que nous n'avons pas agrégé tous les critères qui donnent lieu à une évaluation monétaire, nous avons plutôt procédé par catégorie d'impact.

No	Les critères retenus
1	Réduire les coûts d'opération, de design, de construction, et des dommages attribuables à des niveaux extrêmes
2	Minimiser les changements à la hausse en contamination chimique ou biologique, en sédimentation et en turbidité attribuables à l'action
3	Réduire les coûts d'opération et de modification pour la navigation
4	Réduire les coûts d'opération, design et de construction des installations génératrices d'énergie pour fins commerciales et industrielles
5	Réduire les dommages aux installations industrielles et commerciales
6	Réduire les coûts de l'agriculture, d'irrigation, et de dommages aux propriétés dus aux niveaux extrêmes
7	Réduire les pertes résidentielles dues à des niveaux extrêmes d'eau
8	Réduire l'impact social négatif causé par l'érosion, les inondations et les bas niveaux
9	Réduire le changement dans la surface totale d'habitat d'un point de vue environnemental
10	Réduire les changements dans les habitats de poisson
11	Réduire les pertes en revenus des pêcheurs
12	Réduire la perte d'usage des installations publiques due aux fluctuations extrêmes
13	Réduire l'impact négatif sur le style de vie des Amérindiens en terme de changement dans leurs condition et statut
14	Éviter les impacts négatifs sur les droits inhérents, droits par traités, et les réclamations de terres des Amérindiens

Tableau 2.2: Les critères retenus

2.1.4.1 Famille cohérente de critères.

Dans le cadre d'une analyse par la MMCAD, une famille de critères doit être cohérente, c'est-à-dire qu'elle doit satisfaire les exigences d'exhaustivité, de cohésion et de non redondance où l'exhaustivité implique qu'aucun critère ne devrait être oublié, la cohésion implique que les préférences modélisées sur chacun des critères doivent être cohérentes avec les préférences globales exprimées sur les options, et la non-redondance impose de ne pas retenir de critères superflus.

Une étude approfondie dans ce sens n'a pas été effectuée ici. Toutefois, ce travail étant une simulation en l'absence d'acteurs multiples, on peut affirmer que la condition d'exhaustivité est satisfaite dans le sens que les critères cernent suffisamment toutes les conséquences des actions et que l'agrégation de ces critères n'a pas violé l'exigence d'exhaustivité. Il semble aussi que l'exigence de cohésion soit respectée, et il est presque certain qu'il n'y a pas de redondance entre les critères, étant donné qu'ils se réfèrent principalement à des conséquences différentes se rapportant à des classes différentes de parties prenantes.

3. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

Dans le cas qui nous préoccupe, la problématique en est une de choix $P.\alpha$ dont l'objectif est d'éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action, ce sous-ensemble contenant des meilleures actions ou à défaut, des actions satisfaisantes (Roy, 1985). Nous avons donc cherché à ranger les actions en permettant des ex aequo et des incomparabilités.

3.1 Choix d'une d'agrégation multicritère (PAMC)

En ce qui a trait à la procédure d'agrégation multicritère (PAMC), nous avons considéré la méthode AHP (Saaty, 1980), la méthode PROMÉTHEE (Vincke, 1989), et les méthodes ELECTRE I et ELECTRE IS (Roy, 1985). La méthode AHP a été rejetée car nécessitant trop de comparaisons (924) dont le sens n'est pas toujours évident. Étant donné qu'on n'a pas de résultats réels d'évaluation action/critère, il aurait été trop difficile pour notre expert de comparer les actions deux par deux relativement à chacun des critères. De toute façon, le but n'est pas nécessairement de dégager la meilleure solution de l'ensemble des actions. Pour ce qui est de la méthode PROMÉTHEE, il aurait été difficile de définir des fonctions de préférence qui représentent les préférences de tous les acteurs, étant donné que notre simulation est construite à partir de l'opinion et des valeurs d'un seul expert. De plus, puisque les buts idéaux à atteindre ne peuvent pas être fixés dans le contexte de cette étude, il aurait été difficile de définir des fonctions de préférence sur les écarts des valeurs des attributs.

Après avoir suivi la démarche de formalisation telle que décrite par Roy (1985), il est raisonnable de vouloir utiliser une des méthodes ELECTRE. Dans le cas où la problématique est de choix, et que l'approche adoptée en est une de surclassement acceptant l'incomparabilité, Roy (1985) suggère soit la méthode ELECTRE I ou ELECTRE I'. Dans le cas qui nous concerne, nous avons choisi d'utiliser la méthode ELECTRE I pour sa simplicité.

3.2 La méthode ELECTRE I

La méthode ELECTRE I est utilisée pour obtenir un sous-ensemble $N \subset A$ d'actions tel que toute action qui n'est pas dans N est surclassée par au moins une action de N . C'est l'ensemble dans lequel se trouve le meilleur compromis recherché (le noyau). Elle consiste à calculer des indices de concordance entre deux actions $c(a,b)$ et de discordance $d(a,b)$ comme suit:

$$c(a,b) = \frac{1}{K} \sum_j k_j, \text{ où } g_j(a) \geq g_j(b), \text{ et } K = \sum_j k_j \quad (3.1)$$

$$d(a,b) = 0 \text{ si } g_j(a) \geq g_j(b)$$

$$d(a,b) = \frac{1}{\delta} \max_j (g_j(b) - g_j(a)), \delta = \max [g_j(c) - g_j(d)] \text{ sinon} \quad (3.2)$$

Les poids k_j reflètent l'importance que l'on souhaite accorder à chacun des critères. Ces coefficients d'importance sont d'autant plus élevés que le critère j est jugé plus important; leur somme $K[C] = \sum_j k_j, j \in C$, est d'autant plus grande que la coalition de critères C est jugée plus importante. Ces valeurs sont attribuées en prenant appui d'une part sur un rangement des critères par ordre d'importance croissante, et sur une comparaison d'importance de quelques coalitions judicieusement choisies d'autre part.

L'indice $c(a,b)$ mesure en quelque sorte les arguments en faveur de l'affirmation "a surclasse b". L'indice $d(a,b)$, au contraire, est d'autant plus grand que la préférence de b sur a est forte sur au moins un critère.

3.2.1 Relation de surclassement

Ayant défini un seuil de concordance c' (relativement grand, compris entre 0.5 et $1 - \min k_j$) et un seuil de discordance d' (relativement petit) on définit la relation de surclassement S par: aSb ssi $c(a,b) \geq c'$ et $d(a,b) \leq d'$.

3.3 Résultats

La grille d'évaluation pour ELECTRE I (tableau 2.3) notant chaque action par rapport à un critère sur une échelle 0 à 10 a été remplie par un expert en hydrologie qui a aussi fixé les poids k_j accordés aux critères.

La grille d'évaluation													
Critères	Poids	Actions											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10	8	8	9	0	8	9	9	3	8	6	4	5
2	15	5	5	5	0	0	7	0	0	0	0	2	0
3	5	9	9	9	0	0	0	0	7	7	3	0	5
4	10	7	7	7	0	10	0	0	6	7	7	4	5
5	5	5	5	5	0	10	9	8	2	8	8	7	7
6	5	6	6	6	5	0	5	7	4	7	5	7	5
7	15	8	8	8	8	0	9	9	7	9	8	8	8
8	10	7	7	7	8	0	5	9	0	8	7	6	0
9	20	5	5	5	0	0	9	0	0	0	0	0	0
10	15	4	4	4	0	0	3	0	0	0	0	0	5
11	12	4	4	4	0	0	7	0	3	5	2	2	8
12	8	7	7	7	5	8	8	9	0	7	7	7	7
13	18	8	8	9	0	8	8	8	4	5	5	8	5
14	12	7	7	8	0	9	7	7	0	5	5	7	5

Tableau 3.3: La grille d'évaluation

On remarque dans la grille d'évaluation que les actions 1 et 2 enregistrent les mêmes performances selon tous les critères. Ceci est dû au fait que l'expert a eu du mal à distinguer ces deux actions fautes de données et d'information complètes. Dans le contexte réel, il est très probable que ces deux actions soient différentes l'une de l'autre.

Les tableaux 3.4 et 3.5 présentent les matrices de concordance et de discordance respectivement.

Matrice de concordance												
Action	Action											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1.00	0.75	0.94	0.78	0.47	0.67	1.00	0.71	0.97	0.94	0.80
2	1.00		0.75	0.94	0.78	0.47	0.67	1.00	0.71	0.97	0.94	0.80
3	0.93	0.93		0.86	0.78	0.46	0.66	0.93	0.63	0.89	0.86	0.73
4	0.16	0.16	0.16		0.61	0.19	0.48	0.63	0.38	0.50	0.41	0.41
5	0.39	0.39	0.22	0.81		0.36	0.70	0.77	0.71	0.71	0.64	0.68
6	0.72	0.72	0.53	0.94	0.83		0.86	0.91	0.81	0.84	0.84	0.74
7	0.52	0.52	0.33	1.00	0.83	0.58		0.83	0.83	0.83	0.77	0.74
8	0.00	0.00	0.00	0.76	0.61	0.09	0.48		0.34	0.42	0.39	0.38
9	0.47	0.47	0.41	1.00	0.67	0.28	0.64	1.00		1.00	0.72	0.83
10	0.30	0.30	0.30	0.94	0.61	0.19	0.51	0.89	0.64		0.69	0.80
11	0.39	0.39	0.21	0.94	0.72	0.38	0.70	0.83	0.58	0.75		0.68
12	0.34	0.34	0.34	0.94	0.61	0.29	0.48	0.91	0.63	0.78	0.63	

Tableau 3.4: Matrice de concordance

Matrice de discordance												
Action	Action											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0.00	0.10	0.10	0.50	0.40	0.30	0.00	0.30	0.30	0.20	0.40
2	0.00		0.10	0.10	0.50	0.40	0.30	0.00	0.30	0.30	0.20	0.40
3	0.00	0.00		0.10	0.50	0.40	0.30	0.00	0.30	0.30	0.20	0.40
4	0.90	0.90	0.90		1.00	0.90	0.90	0.70	0.80	0.80	0.80	0.70
5	0.90	0.90	0.90	0.80		0.70	0.10	0.70	0.90	0.80	0.80	0.80
6	0.90	0.90	0.90	0.30	1.00		0.40	0.70	0.70	0.70	0.40	0.50
7	0.90	0.90	0.90	0.00	1.00	0.70		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
8	0.70	0.70	0.70	0.80	0.90	0.90	0.90		0.80	0.70	0.50	0.70
9	0.50	0.50	0.50	0.10	0.40	0.90	0.30	0.00		0.00	0.30	0.50
10	0.60	0.60	0.60	0.10	0.40	0.90	0.30	0.40	0.40		0.30	0.60
11	0.90	0.90	0.90	0.20	0.60	0.90	0.50	0.70	0.70	0.20		0.60
12	0.70	0.70	0.70	0.80	0.50	0.90	0.90	0.20	0.80	0.70	0.60	

Tableau 3.5: Matrice de discordance

3.3.1 Relation de surclassement S

Nous avons obtenu la relation de surclassement à partir des tableaux 3.4 et 3.5 pour un seuil de concordance c' de 0.85 et un seuil de discordance d' de 0.2. Cette relation S, illustrée sur la figure 3.1, est donnée par:

$$aSb \text{ ssi } (a,b) \in \{(1,2), (1,4), (1,8), (1,11), (2,1), (2,4), (2,8), (2,11), (3,1), (3,2), (3,4), (3,8), (3,11), (7,4), (9,4), (9,8), (9,10), (10,4), (11,4), (12,8)\}.$$

Le noyau (ensemble d'actions non dominées) est composé de l'ensemble des actions $\{3,5,6,7,9,12\}$. Cet ensemble comprend sûrement la solution qui est le meilleur compromis.

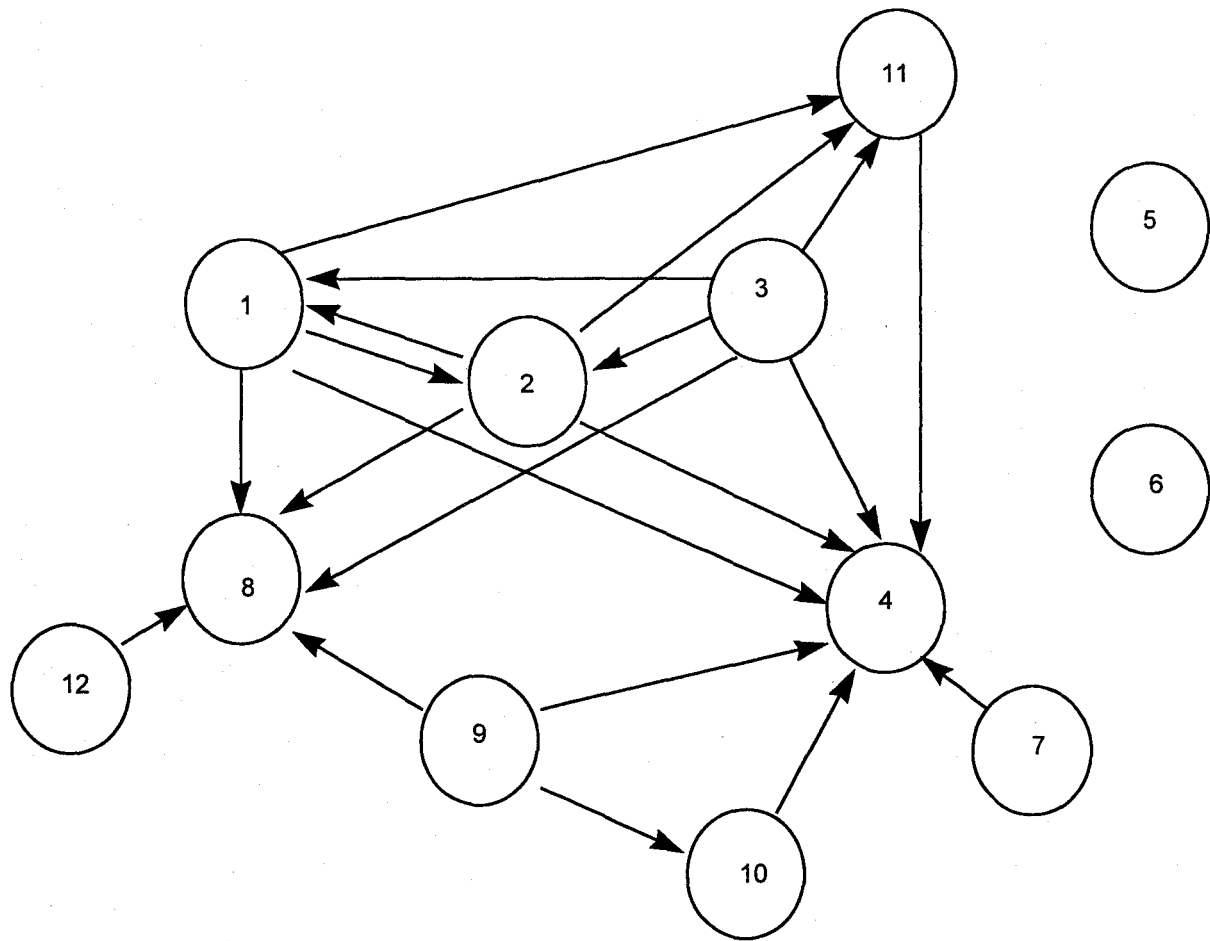


Figure 3.1: Le graphe de surclassement S

3.3.2 Relation de surclassement S'

Afin de vérifier la robustesse de la méthode par rapport aux seuils de concordance et discordance, nous avons obtenu une relation de surclassement pour $c' = 0.75$ et $d' = 0.3$. Cette relation S', illustrée sur la figure 3.2, est donnée par:

$$aS'b \text{ ssi } (a,b) \in \{(1,2), (1,3), (1,4), (1,8), (1,10), (1,11), (2,1), (2,3), (2,4), (2,8), (2,10), (2,11), (3,1), (3,2), (3,4), (3,8), (3,10), (3,11), (6,4), (7,4), (9,4), (9,8), (9,10), (10,4), (11,4), (11,10), (12,8)\}.$$

Le noyau du graphe de surclassement de S' est $\{3,5,6,7,9,12\}$, ce qui est aussi le noyau de la relation S.

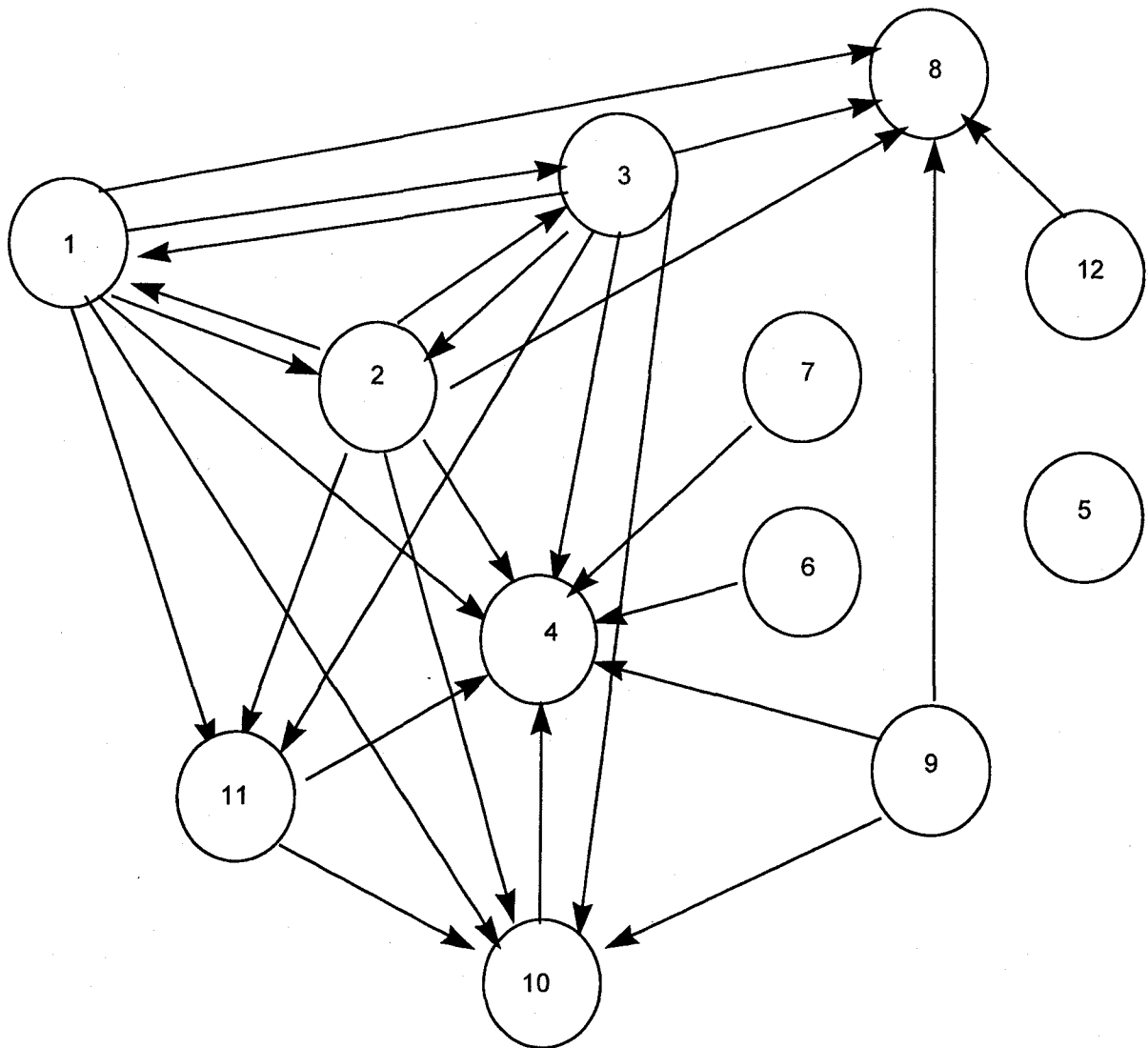


Figure 3.2: Le graphe de surclassement S'

3.3.3 Résumé des résultats

L'utilisation de la méthode ELECTRE I, a permis d'identifier un ensemble restreint de 6 actions à savoir $\{3,5,6,7,9,12\}$, qui ne sont dominées par aucune autre action. Ainsi, l'ensemble des actions qui devraient être analysées et examinées de plus près afin d'en dégager celle qui serait appliquée, pour minimiser les problèmes causés par les niveaux extrêmes des Grands Lacs, est passé de 12 à 6. De plus, on constate que cette méthode semble robuste par rapport aux seuils de concordance et de discordance utilisés.

4. CONCLUSION

Ce travail a permis d'illustrer l'application de la méthodologie d'aide multicritère à la décision (MMCAD) à un problème spécifique de gestion de ressources hydriques, à savoir le choix de mesures à adopter afin de réduire l'impact négatif des fluctuations et des niveaux d'eau extrêmes des Grands Lacs. Bien que le cas étudié soit réel, les chiffres utilisés sont fictifs. Ces chiffres ont été fournis par un expert en hydrologie qui a évalué au mieux de sa connaissance la performance de quelques 12 actions par rapport à quelques 14 critères. Les nombres d'actions et de critères qui ont servi à l'étude ont été réduits afin d'amener le problème à des dimensions raisonnables.

La démarche utilisée pour formaliser le problème est celle décrite par Roy (1985). La méthode ELECTRE I de surclassement est celle qui a permis d'arriver à une "solution", à savoir identifier un ensemble d'actions non dominées.

Cette étude est une simplification d'un cas problème complexe, et ne prétend pas avoir identifié l'ensemble des meilleures actions qui devraient être exécutées dans un contexte réel. Son objectif était d'illustrer l'applicabilité de la méthodologie d'aide à la décision multicritère à ce problème complexe qu'est la gestion des fluctuations des niveaux des Grands Lacs.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire remercier le professeur B. Bobée de l'INRS-Eau qui fut l'expert qui a fourni les évaluations des actions par rapport aux critères, ainsi que les divers documents de travail nécessaires.

5. BIBLIOGRAPHIE

Abu-Taleb, M.F., et B. Mareschal (1995), Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multicriteria method, European journal of operational research, vol. 81 no 3.

Bardossy, A., et L. Duckstein (1992), Analysis of a karstic aquifer management problem by fuzzy composite programming, Water Resources Bulletin, vol. 28, no 1, pp. 63-73.

Bella, A., Duckstein, L., et F. A. Szidarovszky (1996), Multicriterion Analysis of the Water Allocation Conflict in the Upper Rio Grande Basin, Applied Mathematics and Computation, vol. 77, no 2.

Bogardi, J., et L. Duckstein (1992), Interactive multiobjective analysis embedding the decision maker's implicit preference function, Water Resources Bulletin, vol. 28, no 1, pp. 75-88.

Duckstein L., Bobée, B., et F. Ashkar (1991), A multiple criteria decision modelling approach to selection of estimation techniques for fitting extreme floods, Stochastic Hydrology and Hydraulics, vol. 5, no 3, pp. 227-238.

International Joint Commission (1993), Methods of Alleviating the Adverse Consequences of Fluctuating Water Levels in the Great Lakes-St. Lawrence River Basin: A Report to the Governments of Canada and the United States, Washington, DC and Ottawa, Ontario, 53 pp.

Lotov, A.V., Bushenkov, V.A., et O. L. Chernykh (1997), Multicriteria DSS for River Water-Quality Planning, Microcomputers in Civil Engineering, vol. 12, no 1.

Netto, O. C., Parent, E., et L. Duckstein (1996) Multicriterion Design of Long-Term Water Supply in Southern France, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 122, no 6.

Prathapar, S.A., Meyer, W.S., et E. Alocilja (1997), SWAGMAN Options: A Hierarchical Multicriteria Framework to Identify Profitable Land Uses that Minimize Water Table Rise and Salinization, Applied Mathematics and Computation, vol. 83, no 2.

Project Management Team (1989), Living With the Lakes: Challenges and Opportunities. Progress Report to the International Joint Commission. Burlington, Ontario and Chicago, Illinois, 108 pp.

Roberts, F.S. (1979), Measurement Theory with Applications to Decision Making, Utility and the Social Sciences, Addison-Wesley.

Ridgley, M. A. (1995), A Multicriterion Approach to Setting Instream Flow Standards, Journal of Environmental Systems, vol. 24, no 1.

Ridgley, M. A., Penn, D. C., et L. Tran (1997), Multicriterion Decision Support for a Conflict over Stream Diversion and Land-Water Reallocation in Hawaii, Applied Mathematics and Computation, vol. 83, no 2.

Roy, B. (1985), Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Économica.

Roy, B., Slowinski, R., et W. Treichel (1992), Multicriteria Programming of Water Supply Systems for Rural Areas, Water Resources Bulletin, special issue on multiple objective decision making in water resources, vol. 28, no 1.

Saaty, T. L. (1985), The Analytical Hierarchical Process, McGraw-Hill, New York.

Shafike, N.G., Duckstein, L., et T. Maddock III (1992), Multiobjective analysis of aquifer management, Water Resources Bulletin, special issue on multiple objective decision making in water resources, vol. 28, no 1.

Stewart, T. J., et L. Scott (1995) A scenario-based framework for multicriteria decision analysis in water resources planning, Water Resources Research, vol. 31, no 11.

Teclé, A., Fogel, M., et L. Duckstein (1988), Multicriterion selection of Waste Water Management Alternatives, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 114, no 4.

Vincke, P. (1989), L'aide multicritère à la décision, Statistiques et Mathématiques Appliquées, Éditions Ellipses.

6. ANNEXE I: LES MESURES PROPOSÉES

Nous présentons dans cette annexe la liste des 119 mesures que le comité d'étude devait analyser. Suite au sondage effectué auprès d'experts pour déterminer les mesures qui devaient être considérées, le *Rank* indique le classement global de la mesure: un rang de 1 signifie que cette mesure a obtenu le plus haut score (total).

Rank	Description	Total
	REGULATION PRACTICES	
8	1.1.2, Modify Existing Regulation Plan for Lake Ontario (Plan 1958-D)	99
13	1.1.1, Modify Existing Regulation Plan for Lake Superior (Plan 1977)	95
14	1.2.7, Full System Regulation of All Five Great Lakes	94
24	1.1.4, Better Coordination between Lake Ontario and Ottawa River Regulation	78
25	1.2.4, Revise Existing Regulation for Lake Superior (Plan 1977) with a Different Objective such as Mod 77,	78
34	6.7, Full Regulation of Lake Erie with Downstream Modifications to Lake Ontario Regulation Plan 1958-D and Increased Channel Capacity in the St. Lawrence River (Measures 1.2.1+1.1.2+1.4.2)	75
35	1.1.5, Optimization of Benefits using Mathematical Programming Techniques	74
36	1.4.2, Increase Channel Capacity and Reduce Flood Damage through Channel Enlargement and Remedial Works in the St. Lawrence River	74
42	1.2.1, Full Regulation of Lake Erie such as Plan 50N	72
44	1.2.8, Expanded Full System Regulation of All Five Great Lakes	70
48	1.2.2, Limited Regulation of Lake Erie such as Plans 6L, 15S, and 25N	68
53	1.3.1, Manipulation of Interbasin Diversions such as Long Lac-Ogoki and Chicago Diversions	66
55	1.3.9, Increase Lake Erie Outflows via Black Rock Lock Modifications	65
56	1.4.3, Installation of Ice Control Measures at Lakes' Outlets and Channels	65
59	1.2.3, Full Lakes Michigan-Huron Regulation	64
63	1.3.3, Increase or Decrease Lake Erie Outflows via Manipulation of Welland Canal Diversion	62
77	1.4.5, St. Clair - Detroit River Compensating Works	54
81	1.3.2, Increase Lakes Michigan-Huron Outflows via Increased Chicago Diversion	53
82	1.4.1, Regulate Lake Erie via Hydro Development in Niagara River	52
100	1.3.8, Increase Lake Erie Outflows via New York State Barge Canal	39
102	1.4.4, Placement of Sills at Lakes' Outlets	38
107	1.2.5, Control Supplies to the Great Lakes through Tributary Streamflow Regulation	35
108	1.3.4, Increase Lake Erie Outflows via new Lake Erie - Lake Ontario Diversion Scheme	35
111	1.1.3, Return to Pre-Project or Natural Lake Level-Outflow Conditions	32
114	1.3.5, A 50,000 CFS Diversion in and Out of the Great Lakes System	26
116	1.3.7, Increase Lake Erie Outflows via new Lake Erie-Ohio River Canal	18

Rank	Description	Total
117	1.3.6, Increase Lakes Michigan-Huron Outflows Through Groundwater Aquifer Recharge	17
118	1.2.6, Construction of a New (6th) Great Lake	9
	LAND USE CONTROL PRACTICES	
1	3.1.1, Setbacks for Structures in Zoning Requirements	108
3	2.2.1, Community Acquisition of Hazard Land	102
6	4.3.3 Hazard Mapping	100
10	2.2.3, Relocation of Structures out of Hazard Area	97
12	2.2.2., Protection and Enhancement of Coastal Habitats	96
17	3.1.2, Elevations for Structures in Building Code Requirements	86
18	3.1.6, Combined Options to Move Structures and/or Transfer to Public Ownership	86
19	4.1.16, Incorporate Capacity for Extreme Conditions in Public Infrastructure within Recognized Hazard Areas	83
20	3.2.5, Coastal Habitat Protection Regulations	81
23	4.1.15, Locate Public Infrastructure Outside of Hazard Areas	80
26	3.1.3, Floodproofing Through Building Code Requirements	78
27	3.2.1.,3.2.2, Regulate Shore Protection Work and Navigation Structure Construction	78
28	3.1.4, Other Planning and Development Requirements	77
33	3.2.3, 3.2.4, Regulate Extraction of Beach and Nearshore Deposits and Landfilling and Alteration of the Shoreline	75
38	3.1.5, Deed Restrictions on Property Use	74
86	3.3.5, Regulation of Land or Water Use to Control Stormwater	49
101	2.3.7, Public Investment in Stormwater Management	39
	LAND USE - INCENTIVE BASED PRACTICES	
15	4.1.11, Eliminate Grants or Loans for Development in Hazard Areas	88
29	4.3.5, Real Estate Disclosure	77
39	4.2.4, Property Tax Abatement for Non-Development of Flood Storage or Wetland Areas	73
50	4.2.5, Tax Abatements for Relocation Behind Designated Setback Limits	68
62	4.1.24, Modification of National Flood Insurance Program in US	63
64	4.1.13, Provide Conditional Disaster Aid to Groups Affected by Fluctuating Water Levels	62
72	4.1.3, Grants for Capital Investments in Non-Structural Methods for Dealing with the Potential for Losses due to Fluctuating Water Levels	55
73	4.1.8, Guaranteed/Subsidized Loans for Capital Investments in Non-Structural Methods for Dealing with the Potential for Losses due to Fluctuating Water Levels	55
74	4.1.17, Mandatory Actuarial Rate Insurance for Properties Located in a Recognized Hazard Area	55

Rank	Description	Total
75	4.2.8, Increase Taxes for Development in Hazard Areas	55
76	4.2.9, Increase Taxed to Reflect Increased Government Costs of Coping with Fluctuating Water Levels	55
83	4.1.10, Guaranteed/Subsidized Loans for Removal of Existing Structures which Exacerbate the Problems Associated with Fluctuating Water Levels	52
85	4.1.20, Optional Actuarial Rate Insurance for Properties Located in a Recognized Hazard Area	50
87	4.2.1, Increased Taxes to Fund Coordinated Completed-Reach Shore Protection Works	49
89	4.1.5, Grants for Removal of Existing Structures which Exacerbate the Problems Associated with Fluctuating Water Levels	47
90	4.1.23, Eliminate or Reduce the Availability of Insurance in Recognized Hazard Areas	46
91	4.1.6, Guaranteed/Subsidized Loans for Capital Investments that Reduce the Potential for Losses in Low Water Conditions	44
92	4.2.3, Tax Abatements for Shore Protection Works Designed to Withstand Specific Extreme Events	44
93	4.2.7, Tax Abatements for Initial Construction Adapted to Extreme Conditions When Hazard Area Location Cannot be Avoided	44
95	4.1.18, Require Mandatory Conditional Subsidized Rate Insurance for Recognized Hazard Areas	43
96	4.1.7, Guaranteed/Subsidized Loans for Capital Investments in Structural Methods for Dealing with the Potential for Losses due to Fluctuating Water Levels	42
97	4.2.2, Tax Abatements for Capital Investments that do not Increase Loss Potential for Others	42
98	4.2.6, Tax Abatements for Initial Construction Outside Recognized Hazard Area	40
104	4.1.21, Provide Optional Conditional Subsidized Rate Insurance for Recognized Hazard Area	37
105	4.1.2, Grants for Capital Investments in Structural Methods for Dealing with the Potential for Losses due to Fluctuating Water Levels	36
106	4.1.22, Make Available Unconditional Subsidized Rate Insurance for Recognized Hazard Areas	36
109	4.1.1, Grants for Capital Investments that Reduce the Potential for Losses in Low Water Conditions	35
110	4.1.19, Require Mandatory Unconditional Subsidized Rate Insurance for Recognized Hazard Areas	34
112	4.1.9, Guaranteed/Subsidized Loans for Increased Operating Costs During Extreme Water Level Conditions	32
113	4.1.4, Grants for Increased Operating Costs During Extreme Water Level Conditions	30
115	4.1.12, Provide Unconditional Disaster Aid to Groups Affected by Fluctuating Water Levels	24

Rank	Description	Total
	LAND USE - NON-STRUCTURAL PRACTICES	
54	2.1.12, Structural Floodproofing	66
	STRUCTURAL SHORE PROTECTION	
52	5.2.4, Diking and Other Protective Works in the St-Lawrence	68
60	2.1.4, Breakwaters	64
67	2.1.2, Dikes and Levees	59
69	2.1.1, Seawalls	58
79	2.1.3, Groins and Jetties	54
80	2.1.10, Revetments	54
84	2.1.5, Barrier Island Construction	50
103	2.1.11, Artificial Headlands	38
	NON-STRUCTURAL SHORE PROTECTION	
32	2.1.7, 2.1.8, 2.1.9, Vegetation Planting, Bluff Grading, and Bluff Drainage	75
79	2.1.6, Beach Nourishment	54
	ADAPTIVE PRACTICES	
37	2.3.5, Adaptive Design of Harbor Structures	74
43	3.3.1, Regulate Use of Great Lakes Resources in Accordance with Fluctuating Water Levels	71
46	3.3.3, Regulation of Water Withdrawals	69
57	2.3.1, Channel and Harbor Dredging	65
58	2.3.3, Regionalization and Adaptive Design of Water Supply and Sewage Treatment Systems and Infrastructure	65
61	3.3.4, Navigation Regulations	63
65	3.3.3, Power Demand/Capacity Management	61
66	2.3.2, Increases in Lock Capacity	60
68	2.3.6, Improved Ship Navigation Procedures	59
70	5.1.7, Regulate Water Withdrawal/Consumptive Uses	57
94	2.3.4, Power Grid Interconnections	43
119	5.1.1, Weather Modification to Change Local Precipitation	6
	EMERGENCY RESPONSES	
7	5.2.3, Storm Forecasting	100
30	5.2.1, Emergency Sandbag and Diking Assistance	76
40	5.1.6, Manipulation of Existing Diversions	73
41	5.2.2, Government Program for Disaster Assistance	73
47	5.1.2, Increase Niagara River Flows via Black Rock Lock	69
49	4.1.14, Eliminate or Reduce Disaster Aid in Recognized Hazard Areas	68
51	5.1.3, Storage of Water in Lake Superior	68
88	5.1.5, Outlet/Channel Enlargement or Placement of Sills	49
99	5.1.4, Storage of Water in Tributary Reservoirs/Streams	40

Rank	Description	Total
	COMBINATION PRACTICES	
2	6.5, Maximize Use of Existing Regulatory Structures and Procedures/Hazard Land Mapping/Public Information and Education (Measures 1.1.5+4.3.3+4.3.1)	105
5	6.3, Hazard Land Mapping/Structural Setback Zoning/Public Information and Education/Real Estate Disclosure (Measures 4.3.3+3.1.1+4.3.1+4.3.5)	101
9	6.6, Community Acquisition of Hazard Land/Regulate Use of Property in Hazard Areas (Measures 2.2.1+3.1)	99
31	6.2, Full Regulation of Lake Erie with Structural Setback Zoning (Measures 1.2.1 +3.1.1)	76
45	6.1, Full Regulation of all the Great Lakes by Combining Lake Erie Plan 50N with the Placement of a Sill in the St. Clair River which is the Outlet of Lakes Michigan-Huron, and Structural Setback Zoning (Measures 1.2.1+1.4.4+3.1.1)	70
71	6.4, Breakwater Construction/Public Information and Education (Measures 2.1.4+4.3.1)	57
	INSTITUTIONAL PRACTICES	
22	1.1.6, Development and Operation of Central Control Center	80
	COMMUNICATION PRACTICES	
4	4.3.1, Public Information and Education Programs	101
11	4.3.4, Information Coordination and Exchange	97
16	7.1, Coordinated Communication Program	87
21	4.3.2, Youth Education Program	81

7. ANNEXE II: LES OBJECTIFS À RESPECTER

Cette annexe présente la liste des objectifs dont le comité d'étude devait tenir compte. Ils sont divisés en 10 catégories (A à J) et 41 sous-objectifs en total. Ces sous-objectifs sont considérés comme des critères dans un cadre d'analyse multicritère.

Impact Category	Study Planning Objective	Method of Measurement	Lead Responsibility
A. Infrastructure, Including Domestic Water Supply, Sanitation and Other Public Facilities	A.1. Reduce Operating Costs to Water Works Utilities Under Extreme High and Low Lake Level and River Flow Conditions	A.a. Determine the Difference in Long Run Average Annual Operating Costs With and Without the Measure (\$)	WC-4
	A.2. Reduce Remedial Design and Construction Costs for Facilities (e.g. better adaptability to extreme water level and flow conditions)	A.2. Determine Remedial Capital Cost Savings With versus Without the Measure (\$)	WC-4
	A.3. Reduce Design and Construction Costs to Future Plants (e.g. better siting to avoid vulnerable shoreline areas)	A.3. Determine Reduced Design and Construction Costs to Future Plants, With versus Without the Measure, using specific examples as may be available (\$)	WC-4
	A.4. Reduce Disruption Costs to Water and Sewerage Utility Customers under Extreme Lake Level and River Flow Conditions	A.4. Determine the Average Annual Difference in the Monetary Costs (\$) and Non-Monetary Adverse Impacts, using specific examples as may be available, With versus Without the Measure	WC-4
	A.5. Avoid Adverse Impacts to Water Quality under Extreme Lake Level and River Flow Conditions	A.5. Identify Possible Changes in Chemical or Biological Contamination, Sedimentation, and Turbidity, With versus Without the Measure	WC-2
	A.6. Reduce Flood Damages to Roads and other Public Infrastructure not Already Identified	A.6. Determine the Average Annual Difference in Repair and Replacement Costs to Roads etc. With versus Without the Measure (\$). Representative Site Studies are expected to be Developed to Update Stage Damage Curves	WC-2
	A.7. Reduce Erosion Damages to Roads and other Public Infrastructure not Already Identified, Attributable to Extreme Water Levels and Flows	A.7. Determine the Average Annual Difference in Repair and Replacement Costs to Roads, etc. With versus Without the Measure	Wc-2

Impact Category	Study Planning Objective	Method of Measurement	Lead Responsibility
B. Commercial Navigation	B.1. Reduce Operating Costs due to Extreme Water Levels and Flows	B.1. In Sequence Determine: <ul style="list-style-type: none"> Hydrologic Changes Reduce Occurrences Below Low Water Datum Balance Levels Among Lakes, so that clearances are consistent at all reaches Then Determine the Difference in Average Annual Lake Transportation Costs, With versus Without the Measure (\$) 	WC-3
	B.2. Minimize System Channel Modifications Necessary to Accommodate a Measure	B.2. Determine the Lowest Dollar Cost to Achieve the Objective (A). Maximum Flow Velocities are not to Exceed Four Feet Per Second in the Navigation Channels	WC-3
C. Water Supply for Power Generation, Industrial and Commercial Purposes	C.1. Reduce Costs for Utilities Generating Hydropower under Extreme Levels and Flow Conditions	C.1. Determine Changes in Average Annual Kilowatt Hour Production and Electric Generation Replacement Costs, With versus Without the Measure (\$)	WC-3
	C.2. Reduce Operating Costs to Thermal Power and Industrial Plants under Extreme Water Level and Flow Conditions	C.2. Describe Potential Changes in Average Annual Operating Costs to Facilities, With versus Without the Measure	WC-3
	C.3. Reduce Remedial Design and Construction Costs to Facilities Under Extreme Water Level and Flow Conditions	C.3. Determine the Difference in Remedial Capital or Emergency Costs Expended, With versus Without the Measure (\$)	WC-4
	C.4. Reduce Design and Construction Costs for Future Water Supply	C.4. Determine Reduced Design and Construction Costs, Using Specific Examples which may be Available, With versus Without the Measure (\$)	WC-4
D. Industrial and Commercial Facilities	D.1. Reduce Flood Damages to Industrial and Commercial Lands, Property, etc., not otherwise considered, under Extreme Water Level and Flow Conditions	D.1. Determine the Average Annual Difference in Damages Experienced versus Without the Measure (\$)	WC-2
	D.2. Reduce Erosion Damages to Industrial and Commercial Lands, Property, etc., not otherwise Considered and attributable to Extreme Water Levels	D.2. Determine the Average Annual Difference in Damages Experienced With versus Without the Measure (\$)	WC-2

Impact Category	Study Planning Objective	Method of Measurement	Lead Responsibility
E. Agriculture	E.1. Reduce Agricultural Real and Personal Property Losses due to Shoreline Erosion and Flooding	E.1. Determine the Average Annual Difference in Real and Personal Property Losses With versus Without the Measure	WC-2
	E.2. Reduce Agricultural Crop Losses due to Shoreline Flooding	E.2. Determine the Average Annual Difference in Crop Production, With versus Without the Measure	WC-2
	E.3. Reduce Diking Costs due to Water Level and Flow Extremes	E.3. Determine the Average Annual Difference in Diking Costs, With versus Without the Measure	WC-2
	E.4. Reduce Pumping or Irrigation Costs due to Water Level and Flow Extremes	E.4. Determine the Average Annual Difference in Pumping or Irrigation Costs, With versus Without the Measure	WC-4
F. Residential Shore Property	F.1. Reduce Private Residential Shoreline Erosion Losses to Land and Structures, Including Shore Protection Works	F.1. Determine the Difference in Average Annual Erosion Damage to Private Residential and Shore Property, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	F.2. Reduce Private Residential Losses under Extreme Water Level and Flow Conditions, Including Shore Protection Works	F.2. Determine the Difference in Average Annual Damage to Private Residential and Shore Property due to Extreme High and Low Water Levels and Flows, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	F.3. Reduce Losses of Personal Property and Property Uses Caused by Shoreline Erosion, such as: Boating, Boathouse, and Dock Use Beach Use on Personal Property Other Effects	F.3. Determine the Difference in Losses (or costs incurred) from Use of and Protection on Personal Property along Shoreline Areas Vulnerable to Erosion, either Quantitatively or Qualitatively, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	F.4. . Reduce Losses of Personal Property and Property Uses Caused by Shoreline Flooding, such as: Boating, Boathouse, and Dock Use Beach Use on Personal Property Other Effects	F.4. Determine the Difference in Losses (or costs incurred) from Use of and Protection on Personal Property along Shoreline Areas Vulnerable to Flooding or Low Water Conditions, either Quantitatively or Qualitatively, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	F.5. Reduce Negative Social Impacts Caused by Shoreline Erosion	Determine the Difference in Negative Social Impacts Experienced, as the Result of Shoreline Erosion, either Quantitatively or Qualitatively, With versus Without the Measure	WC-2
	F.6. Reduce Negative Social Impacts Caused by Shoreline Flooding and Low Level Conditions	F.6. Determine the Difference in Negative Social Impacts Experienced, as the Result of Shoreline Flooding and Low Level Conditions, either Quantitatively or Qualitatively, With versus Without the Measure	WC-2

Impact Category	Study Planning Objective	Method of Measurement	Lead Responsibility
G. Fish, Wildlife, and Other Environmental Aspects	G.1. Avoid Adverse Impacts to Wetlands in the Basin as the Result of Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	G.1. Identify Long-Term Changes in Total Habitat Area Which Produces a Variety of Physical and Biological Outputs Essential to the Health of the Environment, With versus and Without the Measure	WC-2
	G.2. Reduce/Avoid Detrimental Effects on Water Quality in Basin Waters as the result of Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	G.2. Identify Changes in the Level of Toxic or Chemical Contamination, With versus Without the Measure	WC-2
	G.3. Avoid Adverse Impacts to Fish and Wildlife as the result of Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	G.3. Identify Changes in the Number and Types of Plant and Animal Species, With versus Without the Measure	WC-2
H. Commercial Fisheries	H.1. Avoid Adverse Impacts to Commercial Fish Stocks as the Result of Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	H.1.a. Identify Changes in Hypolimnion Size and Effects on Commercial Fish Stocks, With versus Without the Measure. The Methods of Measurements for Impact Category G will also assist here.	WC-2
		H.1.b. Identify Changes in Nursery Habitats of Commercial Fish Stock, With versus Without the Measure. The Methods of Measurement for Impacts Category G will also assist here.	
	H2. Reduce Losses in Income to Commercial Fishermen, if attributable to Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	H.2. Determine the difference in Annual Income to Commercial Fishermen, With versus Without the Measure	WC-2
	H.3. Reduce Damages to Shoreside Facilities associated with Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	H.3. Determine the Difference in Average Annual Damages to Shoreside Facilities, With versus Without the Measure (\$)	WC-2

Impact Category	Study Planning Objective	Method of Measurement	Lead Responsibility
I. Recreational and Tourism	I.1. Minimize Adverse Impacts to Recreational Boaters and Marinas Caused by Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	I.1. In Sequence: <ul style="list-style-type: none"> • Determine Hydrologic Impacts • Use Site Studies to Infer Monetary and Non-monetary Effects on Recreational Boaters and Revenues • Then Determine Average Annual Difference to Marina Operator Incomes, or Recreational Boater Expenditures, With versus Without the Measure (\$) 	WC-3
	I.2. Reduce Property Damages to Marinas and other Private Recreations Facilities Caused by Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	I.2. Determine the Difference in Average Annual Damages to Private Recreational Facilities, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	I.3. Reduce Property Damages to Marinas and other Private Recreation Facilities cause by Shoreline Erosion	I.3. Determine the Difference in Average Annual Damages to Private Recreation Facilities, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	I.4. Reduce Losses to Use of Public Beach and Recreation Facilities caused by Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	I.4. Determine Average Annual Difference in Public User Days, or Public Recreation Expenditures (\$), related to Beach Use, Nature Trails, or other Recreation Facilities Disrupted by Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes, With versus Without the Measure	WC-4
	I.5. Reduce Other Commercially/Tourism Oriented Losses caused by Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes, in areas such as: Lodging Operators Sports Fishing and Hunting Shoreline Hiking and Camping Other Effects	I.5. Determine Average Annual Difference in these Uses of Recreational/Tourism Oriented Resources, either Quantitatively or Qualitatively, With versus Without the Measure	WC-4
	I.6. Reduce Damages to Public Parks and Recreation Facilities Caused by Fluctuating Water Levels and Flows and their Extremes	I.6. Determine the Difference in Average Annual Damages to Public Parks and Recreation Facilities, With versus Without the Measure (\$)	WC-2
	I.7. Reduce Damages to Public Parks and Recreation Facilities caused by Shoreline Erosion	I.7. Determine the Difference in Average Annual Damages to Public Parks and Recreational Facilities, With versus Without the Measure	WC-2

Impact Category	Study Planning Objective	Method of Measurement	Lead Responsibility
J. Native North Americans	J.1. Reduce Negative Impacts to Native North Americans' Cultural and Traditional Reliance on the Natural Environment, if associated with Fluctuating Water Levels and their Extremes	J.1. Identify the Difference in Native North Americans' Lifestyle, With versus Without the Measure, in areas such as Harvesting of Fish, Games and Plants (wild rice, e.g.)	WC-2
	J.2. Avoid Adverse Impacts on Treaty Rights, Inherent Rights, or Land Claims of Native North Americans	J.2. Compare Conditions/Status With versus Without the Measure	WC-2
	J.3. Avoid Remedial Actions which would Impact on the Environmentally Sensitive Areas to Reduce the Overall Cost of Construction	J.3. Compare Conditions/Status With versus Without the Measure	WC-2,3,4

Note: Study Planning Objectives previously identified in other impact categories will be considered as they impact Native North Americans