

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

présentée

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

Robert Lauzon

B.Sp. Géographie

"OPTIMISATION DE L'UTILISATION DE LA
RESSOURCE EAU A L'AIDE D'UN MODELE
DE SELECTION"

Décembre 1977

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier bien particulièrement M. Jean-Pierre Villeneuve, professeur à l'INRS-Eau qui a su agir en directeur responsable et attentif; il en va de même pour M. Pierre Hubert du Centre d'Informatique Géologique de Fontainebleau qui a permis, par ses conseils judicieux, une tâche autrement fort hardue.

A M. Normand Dupont, du ministère des richesses naturelles, je suis débiteur d'un appui technique et moral essentiel et surtout soutenu.

Par leur travail de dactylographie, par leur gentillesse, leur célérité et plus particulièrement leur attention soignée, madame Francine Bordeleau et mademoiselle Sylvie Lafrenière ont permis à ce mémoire de voir le jour.

Enfin, il est impossible de passer sous silence les nombreux encouragements et remarques venus de la part de mes confrères de travail et collègues étudiants.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	ii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
1. GESTION ET AMENAGEMENT DES RESSOURCES HYDRIQUES	1
1.1 L'eau: la demande et l'offre	1
1.1.1 La "ressource" eau	1
1.1.2 La demande et l'offre: un écart sans cesse croissant	2
1.2 Pour une gestion rationnelle de la ressource eau	4
1.2.1 Le gestionnaire et son rôle	4
1.2.2 La fonction planification	5
1.2.3 La fonction aménagement	7
1.2.4 L'approche systématique	8
1.2.4.1 L'analyse de système	8
1.2.4.2 Les outils de décision	10
1.2.4.2.1 Les techniques de simulation	12
1.2.4.2.2 Les techniques d'optimisation	13
2. LES MODELES DE SELECTION ET LA GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES	16
2.1 Les techniques d'optimisation et le processus de la planification	16
2.2 Les modèles de sélection	17
2.2.1 Définition et contexte d'application	17
2.2.2 La "fonction objectif"	19

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
2.3 L'approche mathématique	20
2.3.1 La théorie mathématique	20
2.3.2 Les techniques de calcul	22
2.3.2.1 Techniques mathématiques	22
2.3.2.2 Programmation linéaire	24
3. LES FONCTIONS OBJECTIFS DANS LES MODELES DE SELECTION	29
3.1 Les fonctions objectifs	29
3.1.1 Définitions	29
3.1.2 Sélection de la fonction objectif.	30
3.2 Identification de différents types de fonctions objectifs	33
4. EXEMPLES D'APPLICATION DES MODELES DE SELECTION	38
4.1 Exemples tirés de la littérature	38
4.2 Le modèle de sélection "PROLOBEC"	44
4.2.1 Contexte d'élaboration et d'utilisation du modèle	44
4.2.2 Le modèle "PROLOBEC"	46
4.2.2.1 Organisation du modèle	46
4.2.2.2 Les fonctions objectifs	50
4.2.2.3 Applications du modèle de sélection "PROLOBEC"	53
4.2.2.3.1 Exemple Bidon	53
4.2.2.3.2 Massawipi-Coaticook-Ascot.	55
5. CONCLUSION	70

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
5.1 Le modèle PROLOBEC vs l'optimisation de l'utilisation de la ressource eau	70
5.2 Modèles de sélection vs l'optimisation de l'utilisation de la ressource eau	72
ANNEXE 1 METHODOLOGIE D'AMENAGEMENT ET BASSIN DE LA SAINT-FRANCOIS	74
ANNEXE 2 LE PROGRAMME "PROLOBEC"	80
BIBLIOGRAPHIE	112

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1. Compilation des résultats globaux	58
2. Compilation des résultats particuliers	59

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. L'approche systématique dans la planification des ressources hydriques	11
2. Problème de programmation linéaire simple à 2 variables.	26
3. Exemple de programmation linéaire	27
4. Exemple BIDON (configuration de l'espace)	54
5. Exemple BIDON (édition des données et résultats globaux)	56
6. Les trois volets de la procédure d'aménagement	78
7. Organisation des fichiers du programme "PROLOBEC".	81
8. Programme "Résolution du programme"	82
9. Programme "Scribe"	86
10. Programme "Edition"	100

CHAPITRE 1

1. Gestion et aménagement des ressources hydriques

1.1 L'eau: la demande et l'offre

1.1.1 La "ressource" eau

L'homme moderne éprouve des difficultés à étancher sa soif. Plus il devient raffiné, plus il consomme d'eau. L'eau, en tant que "ressource", est aujourd'hui affectée aux usages les plus divers: parallèlement à son utilisation pour fins domestiques, la "ressource" eau est requise, entre autres, pour des fins d'approvisionnement industriel, d'irrigation, d'hydro-électricité, de navigation, de récréation, de dilution des effluents.

Ces utilisations créent une demande en eau qui est de plus en plus difficile à satisfaire et qui conduit souvent le gestionnaire de cette ressource dans un cul de sac. La distinction "besoin-demande" est généralement peu évidente dans le domaine de l'approvisionnement en eau, principalement à cause du facteur coût qui demeure peu important pour le consommateur, ce qui est plus vrai encore pour le consommateur québécois. Il importe donc pour le gestionnaire d'examiner les problèmes de la demande, plutôt que ceux des besoins, tout au moins à court et moyen terme; cette décision relève déjà d'un choix politique.

A la variété des problèmes posés par la maîtrise de l'eau, on doit associer la diversité des intérêts impliqués par l'aménagement de sa distribution. La prise de conscience en est récente, car longtemps l'abondance relative des ressources permit aux différents secteurs de l'économie d'assurer chacun de leur côté l'approvisionnement en eau nécessaire à leur équipe-

ment (au moins dans les pays développés de climat tempéré où se manifeste précisément l'extrême complexité des demandes); cette distinction inclue l'oecoumène québécois. Le "bilan hydraulique" est devenu une des préoccupations majeures des Etats; son établissement suppose une réflexion approfondie sur la nature, l'évolution et l'ordre de priorité des utilisations de l'eau.

1.1.2 La demande et l'offre: un écart sans cesse croissant

Pourquoi manquerait-on d'eau alors que ce liquide est la plus abondante de toutes les substances naturelles? Parce que la demande s'accroît à un rythme beaucoup plus grand que les disponibilités locales. On peut citer en exemple la ville de New York qui, durant l'été 1965, faillit épuiser complètement ses réserves alors que la ville est traversée par le fleuve Hudson, hélas! trop pollué par les eaux usées, industrielles et domestiques (Overman, 1970).

Des volumes toujours plus grands d'eau sont nécessaires pour satisfaire les besoins créés par le "progrès" de notre civilisation et par l'augmentation de la population (Butcher, Sundar, 1973).

Ces besoins sont normalement satisfaits par l'utilisation des rivières, des lacs et eaux souterraines. C'est justement parce que l'eau est souvent disponible en des endroits, des quantités et des qualités autres que ceux que nos usages exigent que, les réservoirs, les réseaux de distribution et de traitement sont conçus pour pondérer et pallier aux "inconséquences" de la nature.

Le développement de chacune des utilisations, indépendamment des autres et suivant ses propres intérêts, a fait naître des conflits d'utilisation.

"Il y a encore peu de temps, l'aménagement de la ressource eau était surtout relié à un problème spécifique de développement comme l'approvisionnement des villes, l'irrigation, la navigation et le contrôle des inondations. Avec la croissance démographique et industrielle, cette démarche sectorielle a généré des conflits, d'une part, au niveau des diverses utilisations de la ressource eau et, d'autre part, au niveau de la qualité de l'environnement" (Lavigne, 1973).

On se retrouve donc face à un problème où l'on doit essayer d'adapter les disponibilités aux besoins, en tenant compte des conflits d'usages (distribution) tout en maintenant des équilibres fragiles établis par la nature (pollution). Alors que la maîtrise des crues ou la navigabilité d'un chenal ne se contentent pas d'un seul ouvrage et requièrent une surveillance constante de l'amont à l'aval, une transformation apportée en un seul point du cours d'eau ou de la nappe affecte l'ensemble.

Les sources habituelles d'eau répondant rarement aux demandes toujours croissantes, il est devenu nécessaire de planifier, de construire et d'administrer de vastes systèmes de distribution et de gestion de la ressource eau.

La gestion de l'eau s'intègre de plus en plus à la vie courante, dans le cadre d'une intervention sans cesse croissante de l'homme en vue de modifier les sources naturelles d'eau pour les canaliser à son avantage et vers des usages précis. Cependant, la notion de gestion de l'eau, impliquant une certaine limitation de la liberté d'action et le respect d'un objectif pré-déterminé, est récente au Québec (Louchard, 1976). C'est pour des raisons d'abondance et de bonne qualité relative que la planification des ressources en eau a été relativement négligée au Québec; compte tenu du développement rapide du territoire habité et de l'accentuation des problèmes de

pollution, il est devenu nécessaire de recourir à la planification de l'utilisation de cette ressource vitale et de prévoir les aménagements utiles à cette fin (Villeneuve *et al.*, 1975).

1.2 Pour une gestion rationnelle de la ressource eau

1.2.1 Le gestionnaire et son rôle

Historiquement, le rôle du planificateur s'est résumé à quatre tâches principales:

- estimer (mesurer) les ressources disponibles;
- évaluer (fixer) les différentes demandes, spatialement, temporellement et surtout fournir un ordre de grandeur, et ce, pour tous les produits ou services existants;
- déterminer une utilisation optimale et une stratégie d'intervention, de façon à satisfaire le plus possible toutes les facettes de la demande;
- respecter les divers objectifs, contraintes, et autres directives dans l'accomplissement des trois premières étapes.

Fondamentalement, le rôle du gestionnaire de l'eau a toujours été le même, soit d'organiser une utilisation optimale des ressources disponibles pour satisfaire une demande diversifiée, exigeante et croissante. Ce sont les moyens mis à sa disposition qui ont évolués; la sophistication de la technologie de l'aménagement, tout en étant responsable d'un dynamisme sans précédent dans le domaine de la gestion de l'eau, n'a quand même pas été sans heurts et le scepticisme plane toujours face à ces techniques.

La rareté de l'eau, les demandes croissantes occasionnées par ses usages, et la multiplicité de ses utilisations, ont forcé le développement de nouvelles technologies pour la définition et l'analyse des systèmes de res-

sources en eau. Qashu et Benassini (1972) ont démontré que diverses expériences, de par le monde, ont montré que le nettoyage des aquifères, des rivières, des lacs et des estuaires, s'est avéré beaucoup plus difficile, quand il est possible, que la prévention de ces problèmes par une gestion rationnelle.

1.2.2 La fonction planification

Le processus de la planification consiste essentiellement en une suite de décisions, la première de celles-ci étant la sélection des objectifs devant être respectés par le plan d'aménagement. La fonction planification réunit ce qui est désiré, les objectifs, et ce qui est possible, les multiples et variés usages de la ressource (Werner, 1968).

Dans le cadre du processus de la planification, le groupe de recherches sur l'eau de l'Université Harvard estime que l'établissement de schémas d'utilisation de la ressource eau doit être fait en utilisant au maximum les sciences de l'ingénieur et de l'économie (Wolf, 1966); il scinde le processus de la planification en quatre étapes distinctes (Maas *et al.*, 1962), soit, premièrement, l'identification des objectifs, deuxièmement, la transformation de ces objectifs en "critères de choix", troisièmement, l'utilisation du critère dans le but d'en arriver à une structuration optimale du système de ressources hydriques, et, finalement, l'évaluation des conséquences des plans "optimaux".

Les objectifs de la planification les plus reconnus sont sûrement l'efficacité économique, la redistribution des revenus et la qualité de l'environnement. Ces objectifs reflètent les valeurs fondamentales de notre société, mais leurs multiples dimensions et, plus particulièrement, leurs aspects non-quantifiables, rendent souvent leur application intégrale impos-

sible, tout au moins dans le cadre d'un processus de planification dit rationnel.

Le critère économique est sûrement l'objectif le plus couramment utilisé; les sociétés, en particulier occidentales, accordent une certaine place à l'économie. Le critère économique est sans doute le plus commode mais c'est peut-être parce qu'il est le plus "normal"; l'argent est le "quantificateur" le plus généralement admis. C'est dans cet ordre d'idée que l'on situe l'utilisation extensive de l'analyse avantages-coûts comme mesure de l'efficacité économique. Le processus politique, heureusement, impose des contraintes qui reflètent la valeur, accordée par la société, aux aspects non-quantifiables et aux autres objectifs non expressément considérés par le principe de l'efficacité économique (Butcher, Sundar, 1973).

C'est au niveau du bassin que sont généralement entreprises les études en vue de la planification des ressources en eau. Les problèmes ainsi que les solutions reliés à l'eau peuvent être considérés comme internalisés dans le bassin - quoique quelques éléments nécessitent d'être analysés comme externes ou exogènes au territoire étudié -, bien plus qu'ils ne le sont dans des territoires plus petits (Werner, 1968). Le bassin permet aussi l'utilisation de l'approche systémique dans le cas de la résolution de problèmes "amont-aval". Cependant, même si la frontière du bassin est celle du bassin versant, d'autres facteurs, économiques, sociaux ou autres, extérieurs au bassin, doivent aussi être pris en considération. L'activité et les champs économiques ne respectent pas les frontières du bassin, les limites productrices et consommatrices (utilisateurs) ne coïncident que rarement avec les frontières du bassin; de même, les politiques officielles - nationales, provinciales, régionales, ... - se font généralement dans un cadre plus large que celui du simple cadre physique que constitue le bassin versant.

"La planification est l'essence même de l'action administrative, car elle en détermine les objectifs dans le temps et dans l'espace, hiérarchise ces objectifs, c'est-à-dire établit des priorités et indique les moyens de réalisation (Lahaie, 1968, p. 4).

1.2.3 La fonction aménagement

La fonction planification assimilée, dans son sens restrictif, à la fonction affectation cherche à fixer des objectifs d'ensemble, à évaluer, face aux demandes exprimées ou déterminées, les ressources disponibles, ainsi que les perspectives de développement, pour formuler une politique appropriée. L'affectation aboutit à tracer une image du bassin selon une optique bien précise, alors que l'aménagement, c'est ce qu'il faut faire comme travaux et qu'il faut prendre comme mesure pour parvenir à cette image (Louchard, 1976). C'est dans la phase qui suit la fonction planification que se situe la fonction aménagement.

Le concept d'aménagement nous ramène à des notions bien connues d'équipements à mettre en place, de calendrier d'exécution, de coût et de financement, etc... C'est à cette étape que le gestionnaire aura recours aux techniques d'optimisation et de simulation car, une fois le type de solution décidé, il y a en fait plusieurs solutions possibles dont il faut évaluer les avantages et les inconvénients respectifs avant de faire le choix (Louchard, 1976). La fonction aménagement vise plus particulièrement la programmation chronologique et spatiale des interventions et de la mise en place des équipements. L'aménagement du territoire vise donc la mise en application concrète des objectifs et moyens globaux avancés par la planification, en favorisant l'allocation optimale des ressources disponibles compte tenu d'un niveau d'équipements satisfaisants. (Lavigne, 1973).

La fonction aménagement, ainsi que la fonction planification, ne sont que deux des étapes du processus de la gestion de la ressource; celles-ci sont précédées des étapes connaissance et contrôle, essentielles à toute gestion dite "rationnelle"; c'est cependant au niveau de la seconde étape - fonction planification - que se situent sans doute tous les espoirs de succès d'une gestion efficace de la ressource eau.

1.2.4 L'approche systématique

1.2.4.1 L'analyse de système

Il était tout à fait normal, antérieurement, de concevoir l'établissement des règles opérationnelles sur la simple base du jugement personnel; on ne songeait même pas à tester d'autres procédures. Le problème de l'opération optimale en était un de décision séquentielle; heureusement, des approches plus rationnelles ont vu le jour pour la recherche de l'optimalité.

La complexité croissante des plans de développement des ressources hydriques entraîne une augmentation importante dans le nombre de solutions possibles; la nécessité de trouver des méthodes permettant d'éliminer certaines solutions ne nécessitant pas d'analyse approfondie, prend donc une grande importance.

Il y a maintenant une vingtaine d'années, ce qui représente une longue période dans l'histoire de la révolution technologique, un petit groupe a été formé à l'Université Harvard afin d'explorer les possibilités de nouvelles approches dans l'aménagement des systèmes hydriques. Ces nouvelles approches sont étroitement dépendantes de l'utilisation de l'ordinateur qui permet d'alléger les calculs et d'appliquer, aux problèmes de "design" des systèmes de ressources hydriques, les théories complexes d'allocation opti-

male des ressources, les théories de l'hydrologie stochastique et les techniques de prises de décision.

Depuis quelques années, les instances gouvernementales, tout comme les organisations privées, ont cherché à utiliser, et généralement avec succès, l'analyse de système dans la résolution de problèmes d'envergure dans le domaine des ressources hydriques. Un système en général, est une combinaison isolée et arbitraire d'éléments (subdivisions arbitraires et abstraites) du monde réel (O'Laoghaire, Himmelblau, 1974). Les éléments constitutifs correspondent généralement aux composantes physiques du monde réel, soit, pour un bassin hydrographique, à des rivières, barrages, sources d'eau et utilisateurs d'eau.

La représentation mathématique de ce système est définie comme étant le "modèle" (mathématique" du système. Le modèle n'est qu'une approximation du monde réel; son but n'est pas nécessairement la production d'un plan optimal de développement; il s'agit plutôt d'un outil permettant au gestionnaire, à l'aide d'estimations des demandes futures, des disponibilités, des coûts, etc..., de sélectionner une gamme de solutions possibles, et d'identifier celles qui, résistant à l'analyse, devront être soumises à un examen plus approfondi.

Au cours des deux dernières décennies, un grand nombre de problèmes concernant les ressources en eau ont été analysés à l'aide des techniques de l'analyse de système; la simulation a été utilisée dans l'obtention de solutions proches de l'optimalité pour des systèmes complexes de réservoirs à des fins multiples (Maas, *et al.*, 1962; Hufschmidt, Fiering, 1966), la gestion des ressources souterraines, et même les systèmes de traitement des eaux usées (Lynn, Logan, Charnes, 1962); certains problèmes de qualité de l'eau

(Revelle *et al.*, 1968) et d'utilisation combinée des aquifères et des eaux de surface (Dracup, 1966), ont été solutionnés par des méthodes d'optimisation comme la programmation linéaire.

Il serait hasardeux de risquer une définition de l'analyse de système qui soit communément admise. Cependant, il est permis de situer l'approche systématique dans le cadre d'une tentative de recherche rationnelle de réponses à des questions qui sont posées indépendamment de tout l'assemblage complexe des interrelations entre les systèmes physiques et leurs sous-systèmes. L'analyse de système entend fournir des décisions rationnelles qui tentent d'atteindre l'optimalité, que ce soit au niveau de la construction, de la sélection ou de l'opération d'un système physique.

L'analyse de système est donc particulièrement utile dans le cas des problèmes de planification qui sont souvent trop complexes pour pouvoir être résolus par un seul homme; les spécialistes ne doivent pas être éliminés et ils ne doivent pas non plus remplacer les gestionnaires, c'est-à-dire ceux qui prennent les décisions. On a cherché (O'Laoghaire, Himmelblau, 1974) à schématiser l'approche systématique dans le cas de la planification des ressources hydriques (Figure 1).

1.2.4.2 Les outils de décision

Une fois les principales étapes de l'analyse de système terminées, deux techniques s'offrent au gestionnaire qui lui permettront de réaliser les objectifs choisis pour l'aménagement du système hydrique, c'est-à-dire déterminer le plan le meilleur dans le cadre de la configuration physique du système et de la politique opérationnelle choisie; ces deux méthodes sont la simulation et l'optimisation. Un grand nombre de modèles, possédant chacun des avantages et des limitations particulières, ont été développés

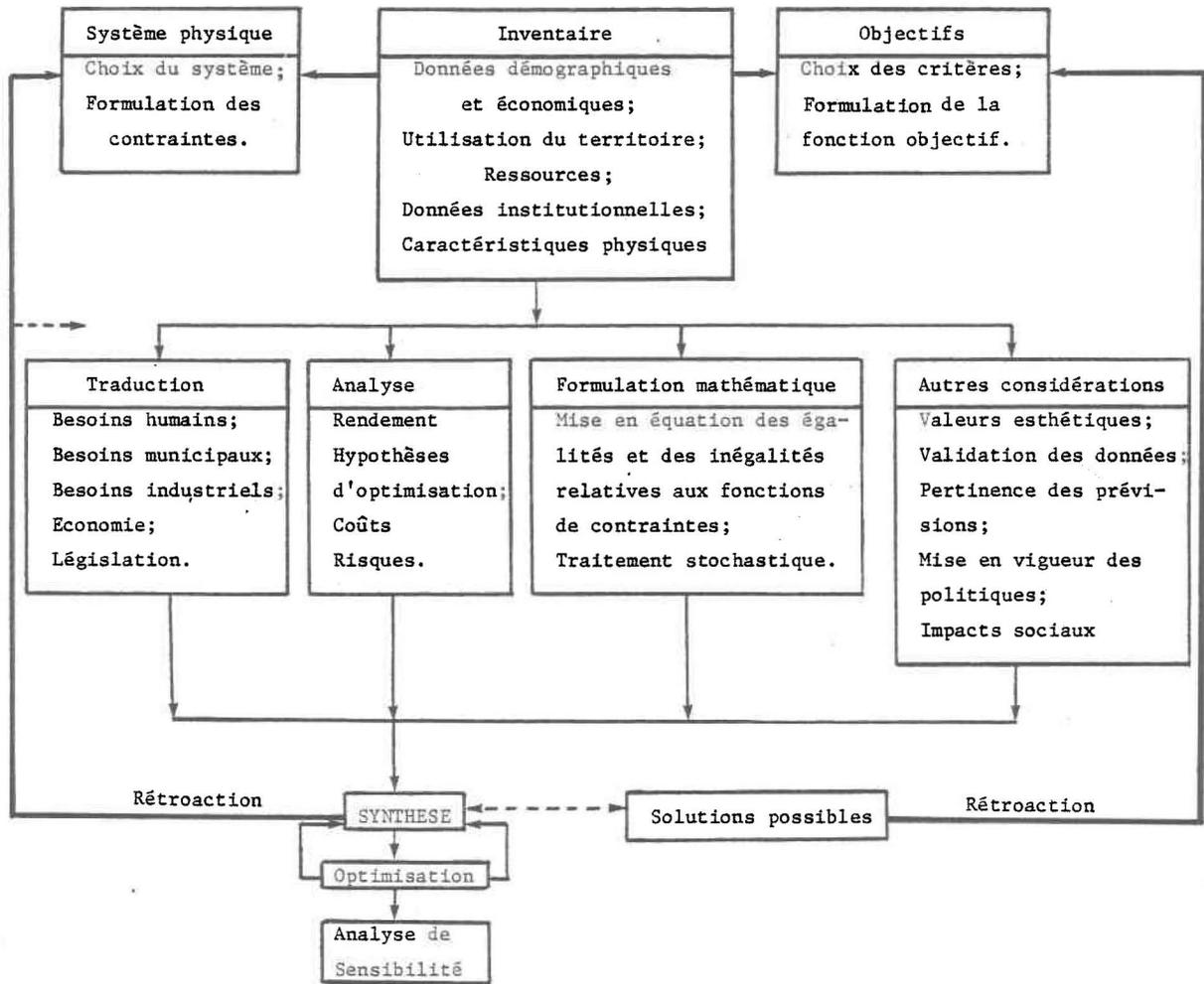


FIGURE 1. L'APPROCHE SYSTEMIQUE DANS LA PLANIFICATION DES RESSOURCES HYDRIQUES

Tiré et adapté de: O'Laoghaire, Himelblau, 1974.

pour résoudre les problèmes d'analyse des ressources en eau; c'est parmi ceux-ci qu'on retrouve les modèles de simulation et d'optimisation.

1.2.4.2.1 Les techniques de simulation

Les modèles de simulation, tout comme les modèles d'optimisation - aussi appelés modèles de programmation ou modèles analytiques -, ne sont que des expériences sur papier afin d'analyser les propriétés des différents aménagements au moyen de calculs mathématiques qui sont les moyens les moins dispendieux et les plus rapides d'y arriver. Les modèles de simulation ne contiennent pas de définition explicite de l'objectif et, par eux-mêmes, ne tendent pas vers une optimisation du système. Ces modèles évaluent plutôt le comportement de configuration du système sous certaines conditions (différents arrangements - dimensions, localisation - de réservoirs, d'usines de traitement, etc... - sujets à certaines règles opérationnelles).

La simulation a été la première technique utilisée par l'analyse de système dans la résolution de problèmes complexes des ressources hydriques. La simulation, telle qu'utilisée à l'aide des systèmes informatisés, a prouvé son utilité dans le cas de l'estimation, des performances hydrologiques et économiques futures, de propositions de politiques de gestion des eaux de surface (Ferguson, Loucks, 1972). La simulation réalise diverses expériences sur un modèle du système physique pour obtenir des résultats qui peuvent alors être analysés pour déterminer les politiques opérationnelles les meilleures.

La simulation ne conduit normalement pas à l'optimalité et à des politiques opérationnelles, mais, selon O'Laoghaire et Himelblau (1974), si suffisamment de situations sont vérifiées et si le critère utilisé n'est pas trop sensible aux variations des paramètres du système, comme c'est souvent

le cas, le meilleur plan choisi parmi toutes les situations devrait s'avérer un plan relativement satisfaisant.

1.2.4.2.2 Les techniques d'optimisation

Si les modèles de simulation sont très utiles pour l'évaluation des différentes alternatives dans le cas de réservoirs, des centrales hydro-électriques, des politiques opérationnelles, et d'autres problèmes, ils ne parviennent cependant pas à choisir ou à définir les meilleures combinaisons de capacités, d'objectifs et de politiques sur un bassin hydrographique donné.

Dans ce cas, les modèles d'optimisation ont démontré leur habileté, si ce n'est à trouver la meilleure solution, tout au moins à éliminer définitivement les solutions irréalistes ou irréalisables. Naturellement, les résultats optimaux ne sont optimaux que dans un sens très restrictif; ils sont la solution optimale d'un problème simplifié, utilisé en lieu et place du problème réel, pour des questions de facilité de résolution, et, conséquemment, ils ne sont optimaux pour le problème original qu'à l'expresse condition que les simplifications utilisées n'aient pas procédé à une altération trop profonde de la réalité. (Dorfman, 1965). Dans le cas du problème simplifié, on ne modélise délibérément, qu'une partie du système physique étudié: par exemple, l'écoulement à l'exclusion des phénomènes chimiques et biologiques; en second lieu, le niveau de connaissance des phénomènes (lois approchées), la modélisation (par discrétisation), le calcul (algorithmes), introduisent d'autres distorsions.

Les modèles d'optimisation ne peuvent pas, pour plusieurs raisons, résoudre tous les problèmes dans le domaine de la gestion des ressources hydriques. Une première limitation est d'ordre mathématique; les techniques

de résolution, appelées algorithmes, requièrent, dans le cas des modèles d'optimisation, des hypothèses simplificatrices qui peuvent être ou non limitantes. Ces hypothèses et ces approximations peuvent résulter ou non dans l'existence d'une solution optimale au problème.

Une seconde limitation des modèles d'optimisation est d'ordre informatique; la modélisation, même de petits systèmes hydriques, peut introduire un nombre tel d'expressions mathématiques, de contraintes et de variables, qu'il est souvent impossible de toutes les traiter simultanément à l'aide des ordinateurs actuels; c'est ainsi que l'on doit souvent introduire d'autres hypothèses simplificatrices qui ont pour but de réduire la taille du modèle et le coût de la solution.

Une troisième limitation des modèles d'optimisation, et peut-être la plus dangereuse, est la difficulté de conceptualisation attachée à la sélection et la quantification d'un critère de choix pour l'évaluation de chaque alternative d'aménagement; les objectifs des politiques publiques ont généralement un mélange de buts monétaires et non-monétaires, rendant la quantification très difficile.

Il existe d'autres limitations liées à la quantification des données hydrologiques, technologiques et économiques, incertaines, inappropriées ou incomplètes.

Les modèles d'optimisation permettent l'utilisation de méthodes efficaces pour cerner les optimums dans le cas de problèmes multidimensionnels, mais au prix d'une simplification qui rend les solutions souvent peu applicables aux problèmes réels. Ainsi, alors que plusieurs plans d'aménagement des ressources hydriques ont été basés sur l'utilisation d'un type spécifique de

modèle mathématique, on assiste de plus en plus à une tendance vers l'utilisation complémentaire de plusieurs modèles à l'intérieur du processus de la planification. Plus particulièrement, l'utilisation combinée d'un modèle relativement simple d'optimisation et d'un modèle de simulation plus détaillé s'est montrée une approche tentante dans le cas de l'aménagement de bassins hydrographiques d'importance. (Loucks, 1969; Sigvaldson *et al.*, 1972).

Il semble recommandable d'employer les modèles d'optimisation et les modèles de simulation en tandem. Premièrement, le problème peut alors être schématisé en une série de relations mathématiques pouvant être solutionnées en vue d'une approche d'une solution optimale définie à grands traits; c'est alors qu'on peut songer à explorer une série de variations autour de cette première solution à l'aide d'une suite de simulations (Dorfman, 1965), les points forts d'une méthode peuvent alors être utilisés pour compenser les faiblesses d'une autre. Il semble donc que même si les modèles de simulation ont plusieurs des mêmes limitations conceptuelles que les modèles d'optimisation, ils sont beaucoup moins restrictifs mathématiquement et aussi au niveau du traitement informatique, ce qui les rend aptes à réaliser l'évaluation des alternatives définies par l'optimisation ou les modèles préliminaires de sélection.

CHAPITRE 2

2. Les modèles de sélection et la gestion des ressources hydriques

2.1 Les techniques d'optimisation et le processus de la planification

Comme mentionné précédemment, les modèles d'optimisation et les modèles de simulation n'offrent pas la possibilité réelle d'identifier les meilleures alternatives de développement lorsqu'ils sont utilisés séparément. Ceci implique donc un rôle et un ordre d'utilisation des modèles dans le processus de la planification par l'analyse de système. On doit débiter par l'utilisation d'un modèle d'optimisation dont le rôle est la localisation des solutions optimales possibles, et poursuivre ensuite par l'introduction d'un modèle de simulation, dont le rôle est de simuler ces solutions, ce qui permet d'en évaluer le comportement et leur faisabilité.

En déterminant "des solutions" dont le potentiel s'avère significatif, les modèles d'optimisation permettent d'éliminer les projets qui apparaissent comme peu conformes aux objectifs recherchés. Le but d'une telle fonction de sélection est de générer tôt l'information dans le processus de planification, c'est-à-dire au moment où la politique d'investissement n'est pas encore polarisé sur un projet précis.

Les modèles d'optimisation sont utiles à deux niveaux: d'abord, ils permettent de tenir compte des liens quantifiables et mesurables entre les différentes variables du système; ensuite, ils génèrent des solutions optimales en rangeant par ordre croissant les différentes possibilités, à l'aide d'un objectif pré-sélectionné. Grâce aux modèles d'optimisation, le gestionnaire aura alors premièrement, une connaissance plus intime du sys-

tème, et deuxièmement, il pourra diriger ses efforts vers des secteurs dont la priorité d'analyse est maintenant précisée.

Les hypothèses et les simplifications analytiques sont une caractéristique essentielle des modèles d'optimisation qui doit toujours demeurer présent à l'esprit du gestionnaire.

2.2 Les modèles de sélection

2.2.1 Définition et contexte d'application

Dès maintenant, on ne parlera plus de modèles d'optimisation, mais plutôt de modèle de sélection qui est un outil mathématique utilisant des techniques d'optimisation qui permet, pour un objectif fixé, de sélectionner la meilleure solution à partir de plusieurs alternatives (Villeneuve *et al.*, 1975).

Cette technique trouve sa justification dans l'élimination de solutions de moindre importance, et la suggestion d'une configuration du système physique qui soit optimale sous certaines conditions. Les modèles de sélection sont des modèles d'optimisation digitaux et sont destinés à la sélection du plan le meilleur, parmi plusieurs alternatives, pour un objectif spécifique de planification (Viessman *et al.*, 1975).

Plus explicitement, un modèle de sélection est un outil mathématique où: (Villeneuve *et al.*, 1975)

- sont traduits mathématiquement, sous forme de fonctions objectives, les choix préférentiels, établis en fonction de la pertinence des objectifs;

- est traduit mathématiquement, sous forme de contraintes, le comportement physique du système.

Modèle analytique et statique - la dimension temps y est généralement ignorée -, le modèle de sélection détermine les meilleures alternatives d'aménagement compte tenu des simplifications du système. Il permet de déterminer de manière optimale un ensemble d'options d'aménagement satisfaisant au plan d'affectation. Dans l'alternative où le plan d'affectation ne puisse être satisfait, ou encore s'il s'avère judicieux de le modifier, c'est au niveau de modèle de sélection lui-même que s'effectue une rétroaction. (Villeneuve *et al.*, 1975).

Un des facteurs décisifs lors du choix du genre de modèle mathématique à utiliser, est la disponibilité d'une technique mathématique efficace et capable de produire les solutions désirées. Les problèmes de planification des ressources hydriques sont caractérisés par une vaste gamme de possibilités, rendant difficile, sinon impossible, l'examen de toutes les solutions. Le gestionnaire a donc dû axer ses énergies vers l'utilisation d'algorithmes permettant la recherche de l'optimum; cependant, les problèmes des ressources hydriques sont si complexes que toute quête de solution exige le recours à de nombreuses simplifications et approximations; le résultat en est que le modèle de sélection ne résout plus véritablement le problème réel; cependant, on conserve l'espoir que le problème simplifié est suffisamment représentatif de la réalité pour que les solutions retenues par le modèle de sélection soient proches des solutions optimales réelles. La marge d'erreur dans la solution optimale retenue par le modèle de sélection dépend presque essentiellement du type de problème en cause et du genre d'algorithme utilisé (Mc.Bean, Schaake, 1973). Il faut donc admettre que le résultat obtenu à l'aide du modèle de sélection n'est pas obligatoirement

"la solution optimale", de là, découle la nécessité de l'utilisation des modèles de simulation qui permettent de tester la solution retenue et de finaliser le choix des aménagements.

2.2.2 La "fonction objectif"

L'optimisation sera le fruit d'une comparaison mathématique entre les politiques possibles d'aménagement des ressources hydriques et les objectifs devant être rencontrés, lesquels auront préalablement été réunis à une mesure commune, permettant cette comparaison.

Une telle comparaison devrait pouvoir permettre une cotation par ordre de ces politiques destinées à servir de base à une prise de décision. La mesure spécifique devant faciliter cet examen peut être identifiée comme le critère d'optimisation (Walker, 1973).

Les modèles d'optimisation contiennent donc nécessairement une fonction objectif qui range les différentes possibilités; celle-ci est toujours une fonction scalaire; c'est-à-dire que peu importe le nombre de termes additionnés, la valeur de la fonction objectif doit être exprimée selon une seule et unique dimension; en effet, on ne peut pas considérer une fonction objectif qui maximiserait à la fois l'eau d'irrigation (acre-pieds/année) et la production d'hydro-électricité (mégawatt-heures/année); on peut cependant utiliser les valeurs de \$/acre-pieds et de \$/mégawatt-heure parce qu'elles contiennent une fonction scalaire (\$/année) (Fiering, 1971).

Parallèlement à la fonction objectif, on retrouve à l'intérieur du modèle un certain nombre d'éléments sous forme de contraintes: dans un

modèle d'optimisation, on doit distinguer une contrainte vraie qui ne peut pas ne pas être atteinte, et ce à n'importe quel coût, même élevé, et à n'importe quelle probabilité, même très faible, mais qui n'a aucun avantage à être dépassée, et un objectif qui peut ne pas être atteint, cela au risque d'un coût ou d'une pénalité et qui lui, a avantage à être dépassée.

On peut donc dire que la fonction objectif est tout énoncé, par lequel les conséquences ou les sorties du système peuvent être déterminées, étant donné les politiques, les valeurs initiales des variables d'état et les paramètres du système (Hall, Dracup, 1970).

2.3 L'approche mathématique

2.3.1 La théorie mathématique

Un problème d'optimisation se présente mathématiquement sous la forme d'une certaine fonction de plusieurs variables qui doit être maximisée ou minimisée en respectant certaines contraintes sur les variables:

- les variables d'état permettant de connaître l'état du système;
- les variables de décision, recherchées par le gestionnaire, sont les variables que l'on doit ajuster pour optimiser le système;
- la fonction à optimiser est appelée fonction objectif ou critère d'optimisation;
- les contraintes appliquées aux diverses variables sont constituées par des égalités ou des inégalités relatives à des fonctions de contraintes. (Lefrou, 1971).

L'optimisation, selon Hall et Dracup (1970), consiste généralement en la maximisation ou la minimisation de quantités numériques concises reflétant l'importance relative des buts et objets retenus à l'intérieur d'un processus de décision séquentiel; par eux-mêmes, ni les buts ni les objets ne mènent directement aux énoncés quantifiés précis requis par les procédures de l'analyse de système.

C'est pourquoi les objectifs à rencontrer doivent être réunis en une mesure quantifiable à laquelle les différentes alternatives pourront être comparées mathématiquement.

Prenons la fonction objectif qui est une fonction scalaire "F" des variables de décision D_i $i = 1, 2, \dots, I$, des variables d'état E_j $j = 1, 2, \dots, J$ et des paramètres du système P_k $k = 1, 2, \dots, K$ (Hall, Dracup, 1970). On présume que les contraintes agissant sur le système peuvent être exprimées par une série de "c" fonctions $g_c(D_i, E_j, P_k)$. Le problème fondamental de l'analyse de système est de sélectionner la politique particulière - les valeurs particulières de D_i - qui maximise - ou minimise - F sujet aux contraintes.

On l'exprime:

$$F = \max V(D_i, E_j, P_k)$$

sujet aux contraintes de la forme

$$g_c(D_i, E_j, P_k) \leq 0$$

Notons que la fonction objectif omet obligatoirement les aspects non-quantifiables ou non-mesurables, mais ceux-ci sont sensés être reflétés par les contraintes.

Mathématiquement (Mc.Bean, 1971), l'optimisation consiste donc en la sélection d'un plan

$$X = (x_1, \dots, x_k) \quad (\text{variables de décision})$$

techniquement possible, c'est-à-dire qu'il satisfait toutes les contraintes

$$c_i(X) = 0 \quad i = 1, \dots, m$$

et rencontre au mieux un certain objectif, dont les valeurs sont

$$F_j(X), \quad j = 1, \dots, n$$

Les objectifs sont sélectionnés de façon à être mesurables et quantifiables afin que la fonction objectif puisse être de la forme:

$$\text{Maximiser (minimiser)} \quad F = \sum_j P_j F_j(X)$$

où P_j représente le poids du " j ième" objectif.

2.3.2 Les techniques de calcul

2.3.2.1 Techniques mathématiques

Dans le contexte de la programmation mathématique, un grand nombre d'algorithmes mathématiques ont été développés permettant de solutionner les problèmes d'aménagement des ressources hydriques. Les techniques mathématiques utilisées le plus couramment sont:

- programmation linéaire;
- programmation dynamique;

mais on utilise aussi:

- programmation dynamique stochastique;
- programmation non-linéaire
- programmation en nombres entiers;

- programmation mixte;
- programmation quadratique;
- programmation géométrique;
- programmation connexe;
- programmation séparable;
- algorithmes de graphe.

Peu importe la technique, il faut admettre que le résultat obtenu avec un modèle de sélection global et qu'en raison des difficultés inhérentes à chacune de ces méthodes, la solution obtenue n'est pas obligatoirement optimale. Elle est optimale mathématiquement, mais le problème est la correspondance entre le modèle (contraintes) et le système physique, d'une part, et entre la fonction objectif et les contraintes et les objectifs sociaux, économiques et politiques, d'autre part.

Toutes ces techniques, il faut bien se le rappeler, ne sont pas des panacées pouvant solutionner tous les problèmes du gestionnaire; ils n'en constituent pas moins de puissants outils qui peuvent s'avérer souvent très efficaces. La difficulté dans le choix de la technique dépend chaque fois d'un équilibre approprié entre les résultats désirés, les données accessibles et les disponibilités informatiques.

Tous ces outils requièrent enfin l'utilisation d'une technologie étroitement dépendante de l'ordinateur. Il faut mentionner que l'utilisation de "machines" ne doit pas pallier, mais bien augmenter l'efficacité du cerveau humain; il est dangereux de regarder l'ordinateur comme un substitut à l'homme lui-même, ou comme un oracle s'exprimant au-dessus de l'esprit humain; cette mise au point s'avère nécessaire afin de replacer cet instrument qu'est l'ordinateur, à sa vraie place, soit celle d'un outil de travail voué exclusivement à une accélération de celui-ci.

2.3.2.2 Programmation linéaire

La programmation linéaire et la programmation dynamique sont, avec certaines variantes, les techniques les plus couramment employées. "La programmation linéaire est appliquée aux problèmes de décisions quand la fonction des objectifs et les contraintes sont linéaires" (Delisle, 1974). La programmation dynamique traite des problèmes où il y a plusieurs décisions à prendre à des "étages" (représentant des unités spatiales et chronologiques) différents reliés entre eux, de telle sorte que le résultat global soit optimisé (Lefrou, 1971); elle a, sur la programmation linéaire, l'avantage essentiel de permettre l'introduction de fonctions de forme quelconque (non-linéaires); elle a cependant l'inconvénient d'exiger un support informatique beaucoup plus lourd, complexifiant les calculs ou obligeant des simplifications encore plus contraignantes nécessitées par un programme informatique devenu trop astreignant.

Plusieurs des techniques citées précédemment possèdent certaines caractéristiques qui les rendent particulièrement transposables à certains problèmes, mais, une forme particulière, soit la programmation linéaire, a été expérimentée sur une plus grande échelle; les raisons que l'on invoque à cette utilisation sont multiples;

- l'on dispose déjà, sur ordinateurs, de nombreux programmes très efficaces (MPS, MPSX, ...) pouvant résoudre économiquement des problèmes de plus de 2,000 variables; ces algorithmes trouvent toujours, si elle existe, la solution optimale;
- la plupart des contraintes sont linéaires, sinon certains programmes permettent de tenir compte d'équations non-linéaires en les linéarisant par parties;

- même si la solution d'un programme linéaire n'est pas tout à fait optimale, il reste qu'elle est plus satisfaisante que d'autres obtenues différemment (Villeneuve *et al.*, 1975);
- dans les études de sensibilité, la programmation linéaire offre de plus grandes possibilités (Mc.Bean, Schaake, 1973)*;

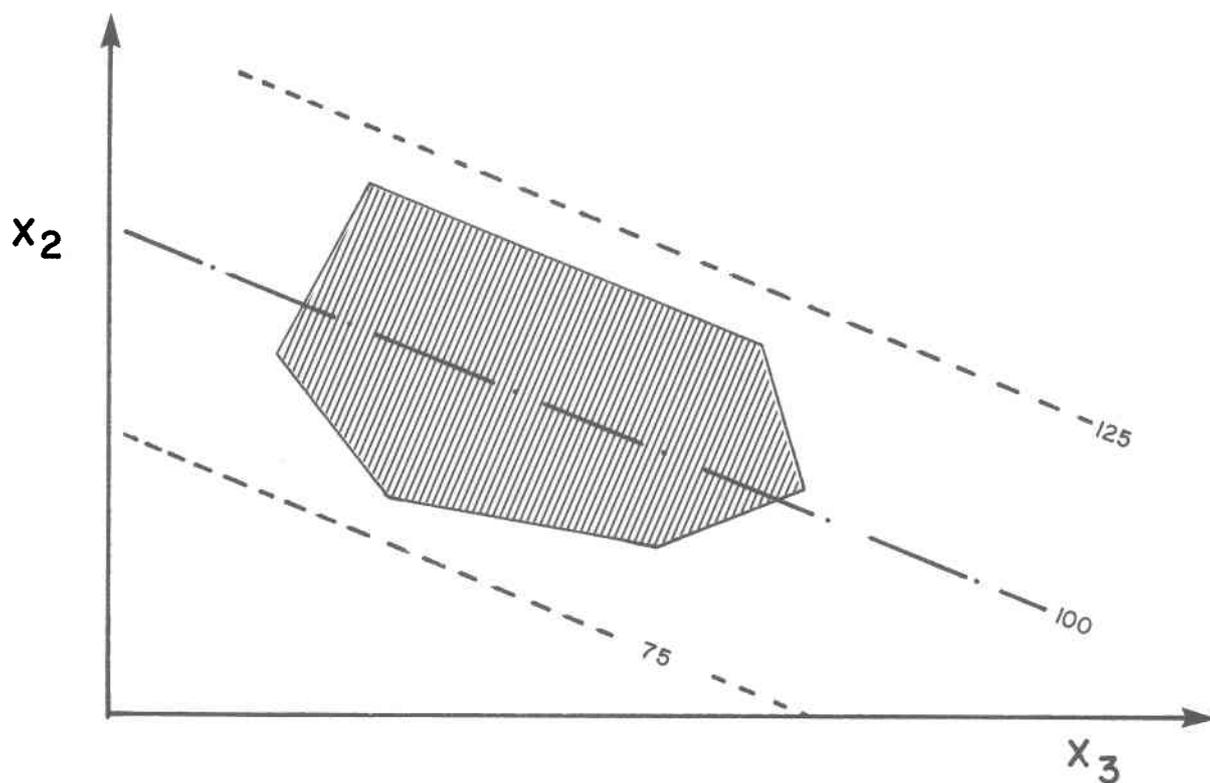
Malgré tous ces avantages, certains désavantages sont inhérents à la méthode et ils sont principalement dus :

- à la difficulté de tenir compte adéquatement de l'incertitude et de la variabilité des phénomènes hydrologiques;
- à la difficulté de représenter des relations non-linéaires, complexes, par de simples inégalités mathématiques; dans certains cas, la linéarisation totale ou par morceaux deviendrait caricaturale.

La méthode de la programmation linéaire permet donc de résoudre facilement des problèmes comprenant des variables nombreuses et beaucoup de contraintes. Des programmes sont disponibles chez toutes les sociétés de software permettant d'effectuer les calculs sur ordinateur. Il n'est donc pas besoin, pour l'appliquer, de connaître parfaitement la méthode, d'ailleurs relativement simple et décrite dans la majorité des manuels d'économétrie et de recherche opérationnelle.

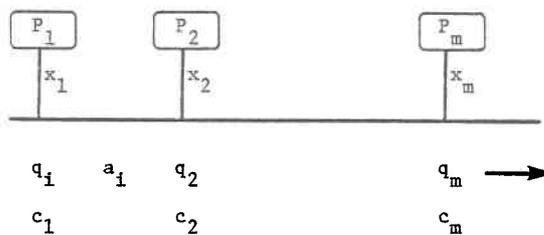
La programmation linéaire a été utilisée dans la recherche de solutions aux problèmes les plus divers dans le domaine de l'optimisation des ressources hydriques :

* L'analyse de sensibilité consiste à évaluer l'effet de petites perturbations des données d'entrée et/ou des coefficients sur les données de sortie et/ou sur la fonction objectif (Villeneuve *et al.*, 1975).



La région possible, coïncidant avec l'espace regroupant l'ensemble des solutions possibles, est localisé sur ou à l'intérieur des six lignes pleines correspondant à six contraintes indépendantes. La technique utilisée est à la recherche d'une solution correspondant à un maximum, ce à l'intérieur des intersections formées par les secteurs délimités par les différentes contraintes. Les lignes brisées correspondent ici à des contours possibles de la fonction objectif (O'Laoghaire, Himmelblau, 1974).

FIGURE 2. Problème de programmation linéaire simple à 2 variables



Soit une rivière où sont effectués "n" rejets de pollution P_i . Sur chacun de ces rejets, le niveau d'épuration est x_i , le coût de cette épuration par unité de pollution retirée est d_i . Le débit naturel en chacun de ces points est q_i et l'auto-épuration entre deux points successifs est a_i . L'objectif de qualité en chaque point est c_i et un débit supplémentaire Q peut être injecté à un prix "r" par unité de débit. On suppose que cet accroissement de débit ne modifie pas l'auto-épuration entre deux points.

Les variables d'état du système sont:

- les pollutions P_i ;
- les débits naturels q_i ;
- les coefficients d'auto-épuration a_i ;
- les objectifs de qualité c_i ;
- les prix d'épuration d_i et le coût de la régularisation r .

Les variables de décision sont:

- les taux d'épuration x_i ;
- le débit de régularisation Q .

La fonction objectif à minimiser est:

$$F = Qr + \sum_1^n P_i x_i d_i$$

Les fonctions de contrainte sont les suivantes:

$$0 < x_i < 1$$

$$Q > 0$$

$$P_1 (1 - x_1) < C_1 (Q_1 + Q)$$

$$P_1 (1 - x_1) a_1 + P_2 (1 - x_2) < C_2 (q_2 + Q)$$

$$P_1 (1 - x_1) a_1 a_2 \dots a_{n-1} + P_2 (1 - x_2) a_2 a_3 \dots a_{n-1} + \dots + P_n (1 - x_n) < C_n (q_n + Q)$$

- utilisation conjointe des eaux de surface et des aquifères, (Dracup, 1966);
- problèmes d'investissements pour le développement des ressources hydriques (Marglin, 1962; Massé et Gilbrat, 1957);
- détermination de règles d'opérations de réservoirs (Loucks, 1968; Butcher, Sundar, 1973);
- problèmes de traitement d'eaux usées (Lynn *et al.*, 1962, Revelle *et al.*, 1968);
- contrôle des inondations (Viesman *et al.*, 1975).

CHAPITRE 3

3. Les fonctions objectifs dans les modèles de sélection

3.1 Les fonctions objectifs:

3.1.1 Définitions:

Tous les problèmes ont en commun une chose: quand il existe au moins une solution, il y a normalement un nombre quasi-infini de solutions possibles. Le but de l'optimisation est justement la sélection, parmi cette multiplicité de solutions potentielles, de celle qui s'avère la meilleure, relativement à un critère décisionnel bien défini. Le choix de ce critère, traduit par une fonction objectif, constitue donc une étape essentielle de tout processus de gestion.

Une fois un problème posé, il est donc nécessaire de choisir un critère de sélection qui permettra de prendre les décisions requises, on pourra alors évaluer les résultats d'actions particulières, principalement d'une manière quantitative. La fonction objectif constitue cette mesure de la "désirabilité" de chaque alternative. La fonction objectif ou fonction critère va permettre de comparer deux (2) plans ou plus, et d'orienter le gestionnaire vers le plus désirable. Pour être vraiment effective, la fonction objectif, que l'on pourra aussi appeler fonction de classement (ranking function), doit, premièrement, mettre en ordre, croissant ou décroissant, mais de façon non-équivoque, les différents choix, et, deuxièmement, fournir un classement transitif de celles-ci (Maas *et al.*, 1962).

3.1.2 Sélection de la fonction objectif

L'objectif fondamental de toute planification des ressources hydriques a toujours été la détermination des meilleures utilisations de l'eau afin de satisfaire les besoins et demandes exprimés, ainsi que le bien-être commun. Lors de la sélection des objectifs pour le développement des ressources en eau, les principaux choix ont toujours été le bien-être national, le développement régional, la qualité de l'environnement, la redistribution du revenu et la stabilité économique (Acres, 1971). Davidson (1971) suggère que des objectifs valables pour la scène canadienne devraient être l'accélération du développement économique, la promotion de la qualité de l'environnement et la diminution des disparités régionales. Du côté américain, les orientations majeures sont généralement les mêmes; même si ce n'est pas réellement explicite dans les grandes déclarations politiques ("vie, liberté et poursuite du bonheur" ou "liberté, égalité, fraternité"), l'objectif "économique" est privilégié et il peut être considéré comme l'objectif principal du développement des ressources en eau; des objectifs secondaires, rassemblent eux aussi le consensus de la majorité: besoins sociaux, pauvreté et, peut-être, défense (Wolf, 1966).

Le "bien-être national" devient donc l'objectif fondamental de la gestion des ressources hydriques; la théorie économique est parvenue à en extraire le "bien-être économique" pour le traduire en des termes connus et quantifiables; elle n'a cependant pas pu quantifier les autres dimensions de ce "bien-être", alors qu'elle peut à peine encore le "qualifier" clairement.

Cependant, aucune optimisation n'atteindra simultanément les objectifs suivants, pourtant bien naturels: plein emploi, maximisation du revenu per capita, revenu collectif maximum, investissements minima, profits

maxima, maximisation du revenu dans chaque bassin simultanément,...; lequel de ces buts - et la liste est loin d'être exhaustive - devra guider le choix du gestionnaire? Rien n'est évident!

Les gestionnaires des ressources en eau affirment souvent que leur but est "le plus grand bien pour le plus grand nombre". On ne peut certainement pas dire qu'il ne s'agisse pas là d'un véritable objectif; cependant, il ne peut pas être décrit par une fonction objectif, tant que l'on n'y associera pas une mesure commune capable d'uniformiser les "biens" et les "nombres" (Hall, Dracup, 1970). L'usage a ainsi limité la définition de la fonction objectif aux seuls objectifs quantifiables et mesurables, aucune technique mathématique ne permettant l'optimisation d'une fonction objectif composée d'aussi peu que deux objectifs n'ayant pas la même unité de mesure. Cette absence de méthode mathématique permettant l'optimisation de fonctions objectifs non-mesurables, de même que l'obligation pour le gestionnaire de procéder lui-même - et non à l'aide de modèles - à l'optimisation de ces objectifs non-quantifiables, ne modifie pas le fait que les décisions doivent être adoptées pour une date précise, que les ressources financières, techniques et autres, sont limitées, et que l'optimalité - dans le contexte de l'application de l'analyse de système à la gestion des ressources en eau - est devenue un guide et un outil indispensable au gestionnaire.

Ces mises en garde ne doivent cependant pas mener le gestionnaire vers un rejet de ce type d'analyse et de ses méthodes; il s'agit plutôt, pour lui, de bien comprendre qu'une fois les étapes de l'analyse mathématique terminées, il devra reconsidérer, à l'aide des meilleurs outils, dont il peut disposer (intuition, expérience, cotation sociale, économique et environnementale, ...), les éléments qu'il aura écartés de l'analyse mathématique, soit pour des raisons d'efficacité, soit pour des raisons d'impossibi-

lité de quantification.

Une fois les buts définis, il faut les transformer en critères de choix (un critère de choix comprend toujours une fonction objectif qui peut ou non être sujette à des contraintes). C'est du choix de la fonction objectif dont dépend la mise en évidence d'une solution optimale; à une fonction objectif retenue, correspond une solution optimale particulière.

Les objectifs sont, tout comme les axiomes, réels, véridiques et indiscutables (Wolf, 1966). En traduisant les objectifs, politiquement ou socialement exprimés, en critères de choix, le gestionnaire devra donc faire preuve de beaucoup de prudence et de discrimination face aux objectifs devant être inclus dans la fonction objectif et à ceux devant être traités comme des contraintes. On parlera ainsi de fonction objectif multiple: une fonction critère sélectionne l'alternative répondant le mieux aux attentes d'un objectif premier, laquelle est aussi sujette à une performance spécifiée face à un autre objectif, qu'on appellera une contrainte (Werner, 1968; Maas *et al.*, 1962; Beveridge, Schechter, 1970).

De plus, la fonction objectif est sensée représenter la préférence de la collectivité; ceci n'est réalisable que dans le cas de collectivités bien identifiées avec un seul preneur de décisions; même dans ce cas, très rare, sinon inexistant, le preneur de décision se doit de connaître parfaitement ses préférences. Ce dernier argument est, en principe, contre toute modélisation; en effet, toute augmentation dans le nombre de décideurs implique une divergence croissante des intérêts individuels, rendant difficile, et même déplaisante la construction d'une fonction objectif qui doit conduire à un optimum unique (Emsellem, 1973).

3.2 Identification de différents types de fonctions objectifs

Plusieurs critères ont historiquement été appliqués afin d'atteindre les meilleures conditions pour la construction, l'opération ou la gestion des ressources en eau. L'effet d'imposer différents objectifs conduit, comme nous l'avons vu précédemment, à l'identification de différentes solutions optimales. En général, le critère économique a été le plus utilisé, mais certains autres critères sont aussi relativement connus (minimisation de rejets, minimisation des équipements,...); le grand problème confrontant les ingénieurs - puisque ce sont eux qui, jusqu'à date, ont déterminé les nouveaux courants de la planification des systèmes de ressources en eau - est de relier la description de l'environnement physique par l'utilisation de modèles mathématiques avec l'environnement social et politique.

Pratiquement, le but d'un plan est de satisfaire aux besoins actuels et futurs en eau dans une région donnée. On pourrait être tenté de réduire le problème de la sélection des objectifs à un énoncé économique simple: maximiser le bien-être économique d'une nation, d'une région, ... La grande majorité des approches économiques procède par l'introduction de cette hypothèse; sa validité, cependant, dépend entièrement de la définition accordée au "bien-être économique" et à sa mesure. Toute cette théorie économique ne se traduit cependant que dans un principe "d'efficacité économique" (economic efficiency), dont la validité dépend uniquement de l'habileté à traduire en termes monétaires, les coûts et les bénéfices rattachés à tout projet de développement des ressources en eau.

Dans tout objectif à caractère économique, les bénéfices et les coûts, de même que leur distribution constituent la préoccupation première. La traduction en termes monétaires des coûts et des bénéfices rattachés à

diverses solutions, est universellement acceptée comme unité de mesure des fonctions objectif; les fonctions objectif utilisant la valeur monétaire comme commun dénominateur, permettent l'utilisation de plusieurs objectifs souvent apparamment disparates, sous une seule et même quantité scalaire.

L'utilisation de fonctions objectif à caractère économique est sans doute la pratique la plus courante; l'efficacité économique (minimisation des investissements, maximisation des bénéfices, ...), si souvent utilisée, n'est pourtant qu'un critère possible parmi beaucoup d'autres dans la formulation et l'évaluation d'un aménagement. Pourquoi ne pas penser à une fonction objectif qui minimiserait les coûts de différentes alternatives d'amélioration de la qualité de l'eau, auxquelles on additionnerait les "dommages" associés à la qualité résultante de l'eau (Fergusson, Loucks, 1972).

L'analyse avantages-coûts (benefit-cost analysis) constitue la procédure classique dans l'analyse des systèmes de gestion des ressources en eau; elle cherche à mesurer l'excès ou le déficit des bénéfices sur les coûts d'un projet. Elle est très intéressante, car elle introduit une fonction objectif globale, permettant ainsi l'examen du problème à l'aide de la programmation mathématique et de l'analyse de sensibilité. Cependant, certaines raisons font que l'analyse avantages-coûts, plus communément appelée analyse coûts-bénéfices, les derniers n'incluant généralement que des termes facilement quantifiables monétairement, est inappropriée: premièrement, les effets induits ou indirects généralement difficiles à définir et à modéliser, sont souvent laissés de côté; deuxièmement, afin de réduire la complexité du problème, certains aspects doivent nécessairement être négligés, plus particulièrement les éléments difficilement "monayables"; troisièmement, le temps est une variable très importante, car le taux de

l'intérêt* donne une importance différente aux équipements modernes, utilisant généralement plus de capital et moins de travail, alors que les équipements usagés nécessitent un investissement moins lourd, mais plus de main-d'oeuvre; finalement, une limite et une variable ne sont pas pris également en considération par la fonction objectif; alors que la limite doit être satisfaite, une variable de production n'est pas nécessairement maximale; certains disent même qu'une limite est un objectif plus important que la fonction objectif elle-même (Deininger, 1973), car elle peut complètement déplacer l'optimum.

Ces difficultés ne sont pas impossibles à éliminer; cependant, d'un point de vue plus fondamental, l'analyse avantages-coûts utilise une seule unité, la valeur monétaire des différents éléments, et seuls les paramètres quantifiables sous cette unité peuvent être pris en considération, c'est-à-dire les paramètres du marché. On peut toujours tenter de donner une valeur monétaire aux concepts ou aux différents paramètres non-numériques comme la politique, l'environnement, la vie, ..., mais même dans le cas où on pourrait y parvenir (cotation sociale et économique, ...), l'information est généralement difficilement accessible et très criticable.

Le développement économique comme tel peut devenir l'objectif choisi; un des premiers buts de la gestion et du développement des ressources hydriques n'est-il pas la stimulation de la croissance économique d'une région particulière. Cependant, aucune théorie économique ne permet de prédire précisément le développement économique d'une région; voilà pourquoi cet objectif a toujours été traité de façon très conservatrice dans les analyses des problèmes de ressources hydriques (Hall, Dracup, 1970).

* Même dans le cas où on utilise un taux d'intérêt de 10% - ce qui est le cas au Québec -, les chances sont minces de voir un projet touchant le développement des ressources hydriques passer un test de faisabilité économique (O'Laoghaire, Himmelblau, 1974); cette simple raison devrait suggérer une approche autre que celle de l'analyse avantages-coûts traditionnelle.

Le maintien d'un niveau donné d'activité économique est aussi un objectif reconnu du développement des ressources en eau.

Heureusement, les politiques de développement des ressources hydriques n'ont pas toujours eu recours à des objectifs en termes de productivité économique; d'autres objectifs, plus socialisants existent et sont même couramment utilisés, si ce n'est au niveau de la définition propre de la fonction objectif, tout au moins comme contraintes, ou encore au niveau de l'étape subséquente à l'analyse mathématique dans le processus de gestion.

La création ou la préservation de facilités d'ordre récréatif compte parmi ceux-ci. La conservation est aussi devenue un objectif fondamental dans le processus décisionnel en matière de gestion de l'eau, et ce, malgré tous les conflits occasionnés avec sa confrontation avec les autres objectifs énoncés.

La protection contre les inondations ou les étiages constitue aussi un objectif important pour le gestionnaire de l'eau; si ici il ne s'agit plus nécessairement d'évaluer directement les bénéfices ou les coûts de tel ou tel projet, il s'agit souvent d'une minimisation des dommages susceptibles d'être causés par ces événements hydrologiques; encore là, l'argument monétaire, et plus particulièrement le rapport avantages-coûts, viennent isoler la fonction objectif de réalités sociales et écologiques toutes aussi fondamentales.

Le contrôle de la qualité de l'eau peut aussi être considéré comme un objectif de plus en plus retenu dans le domaine de la gestion des ressources hydriques. Encore ici, cet objectif peut être traduit sous une forme monétaire (coûts de traitement, ...), mais la forme technique peut aussi être retenue (minimisation de tel ou tel rejet, ...).

Une infinité de fonctions objectif autres peut exister; on pourrait, par exemple, minimiser le recours à telle ou telle source d'eau dans un projet d'aménagement par bassin; on pourrait aussi maximiser l'utilisation d'un réservoir spécifique, dans le même cas;

Cependant, peu de ces objectifs peuvent être mesurés ou quantifiés de façon suffisamment précise pour assurer une bonne optimisation de la fonction objectif; par contre, on peut toujours recourir en la transformation de ces objectifs en contraintes suffisamment rigides pour au moins tendre vers une solution optimale sous des conditions plus contraignantes que celle générée par une fonction objectif seule.

Il n'est pas toujours possible de déterminer précisément quel objectif est le plus approprié pour tel ou tel projet, ou encore, lesquels doivent être sélectionnés si plus d'un s'avère nécessaire, et, même, dans certains cas, il n'est pas évident d'établir comment un objectif peut être traduit en termes quantitatifs. Il n'en demeure pas moins primordial que le choix d'un objectif, absolument nécessaire à toute optimisation, soit défini sans ambiguïté.

4. Exemple d'application de différents types de fonctions objectifs

4.1 Exemples tirés de la littérature

L'efficacité des modèles de sélection a été maintes fois démontrée; l'exemple des travaux entrepris sur le Rio Colorado en Argentine, par les chercheurs du M.I.T. (Mc. Bean, Schaake, 1972), ne peut que confirmer les possibilités attribuables à l'utilisation de cet outil.

Le système considéré dans cette étude, composé de plus de 40 projets d'irrigation, de réservoirs et de stations hydro-électriques, a dû subir initialement plusieurs passes préliminaires de sélection afin d'obtenir préalablement un meilleur éclairage de la situation; une seconde étape de sélection, au terme de plus de 25 passes, suggéra que seules trois alternatives demandaient une attention plus approfondie, laquelle fut fournie par l'utilisation de techniques de simulation; cette phase permet d'identifier les bénéfiques nets de chacune de ces alternatives, et ce, après 5 ou 6 passes du modèle de simulation; les chercheurs purent alors communiquer aux autorités argentines la série des trois possibilités quasi-optimales identifiées par le modèle de sélection et modifiées par l'étape de simulation.

Le "Harvard Water Program" (Maas *et al.*, 1962) constitue sûrement le plus important travail des dernières décennies dans le domaine du traitement des systèmes de ressources en eau et de leur optimisation. Cette étude a introduit les objectifs, défini les concepts, développé la méthodologie, et cerné les principaux éléments responsables de l'amélioration des systèmes de ressources en eau. Pour la première fois, les techniques d'optimisation et de simulation ont pu être combinées dans la recherche de politiques optimales de développement et/ou de gestion de la ressource.

C'est de l'analyse avantages-coûts ("benefit/cost analysis") que relèvent essentiellement les fonctions objectifs privilégiées par les travaux, maintenant classiques, du groupe de l'Université Harvard qui a développé principalement l'approche de la maximisation des bénéfices nets.

C'est à l'intérieur du programme de l'Université Harvard, qu'Hufschmidt (Hufschmidt, Fiering, 1966) a procédé à une des premières études systématiques sur le dimensionnement optimal des réservoirs, composantes essentielles des systèmes de ressources en eau; il a basé leur dimensionnement sur une maximisation des bénéfices procurés par l'investissement nécessaire et sur la nécessité de rencontrer des demandes spécifiques.

La maximisation des bénéfices nets associés aux usages de l'eau est, encore aujourd'hui (Viessman, Lewis *et al.*, 1975), utilisée comme critère décisionnel lors du processus d'optimisation des ressources en eau; parallèlement, la programmation linéaire n'a pas cessé de fournir l'armature technique du processus de sélection des meilleures alternatives (Revelle, Loucks, *et al.*, 1968; De Lucia, Rogers, 1972; Viessman, Lewis *et al.*, 1975). De même, la programmation mixte en nombres entiers (M.I.P.), variante de la programmation linéaire classique, mais adaptée au fait que certaines variables ne soient pas continues, s'est frayé un chemin important dans le monde des techniques de programmation (O'Neil, 1972; Walker, 1973; Moody, Maddock III, 1972).

Parmi la catégorie de fonctions objectifs les plus couramment utilisées, on retrouve évidemment la minimisation des coûts (De Lucia, Rogers, 1972; Moody, Maddock III, 1972; Walker, 1973; Hamdan, Meredith, 1974), ainsi que toutes ses variantes (coûts de construction, d'opération, d'entretien, de remplacement; introduction et détermination d'échéanciers; ...);

celle-ci est fort peu différente, par essence, de l'objectif de maximisation des bénéfices.

Les objectifs liés à la qualité de l'eau ont beaucoup attiré les planificateurs qui ne manquent jamais d'en mentionner l'importance lors de leurs considérations préliminaires (Revelle, Loucks, Lynn, 1967; Lynn, Logan, Charnes, 1962; O'Laoghaire, Himmelblau, 1974). Cependant, bien peu sont parvenus à traduire cette préoccupation en des termes concrets, bien quantifiables, si ce n'est pas une fonction objectif devant assurer le respect de normes bien précises, par leur valeur fixée, mais combien aussi imprécises de par la réalité qu'elles tentaient de représenter. En fait, la minimisation des coûts de traitement a été généralement retenue comme solution d'intégration des préoccupations reliées à la qualité de l'eau (Revelle, Loucks, *et al.*, 1968; Walker, 1973). On a aussi cherché à considérer les aspects qualitatifs de la ressource par l'introduction, sous forme de contraintes (De Lucia, Rogers, 1972; Moody, Maddock III, 1972), de demandes différentes en qualité, soit, par exemple, une qualité dite potable et une autre qualité dite non-potable, mais utilisable directement à d'autres fins (irrigation, refroidissement industriel, ...).

On reconnaît depuis longtemps (Dorfman, 1965), la pertinence de la combinaison des modèles de sélection et de simulation dans les études portant sur des bassins complexes, principalement au niveau des économies de temps et d'argent réalisées. On peut retenir trois exemples de travaux utilisant ces deux techniques: le bassin du fleuve St-Jean (H.G. Acres, 1971), le système de distribution d'eau de l'Etat du Texas (Texas Water Development Board, 1970; Evenson, Mosely, 1970; Orlob, King, Evenson, 1970), et le bassin de la Delaware et plus particulièrement l'un de ses sous-bassins, la rivière Lehigh (Loucks, 1969 ; Jacoby, Loucks, 1972).

Un cas très intéressant d'utilisation complémentaire de tels modèles, est l'étude du bassin de la Delaware (Loucks, 1969; Jacoby, Loucks, 1972). Un modèle de simulation, ainsi que trois modèles d'optimisation ont été utilisés afin de chercher les solutions aux demandes combinées d'approvisionnement en eau, de qualité spécifique de cette même eau, d'hydro-électricité, de récréation et de contrôle des crues; les trois modèles d'optimisation s'appuyaient sur la technique de la programmation linéaire, les deux premiers étant basés sur l'utilisation de l'hydrologie déterministe, le troisième reposant sur les concepts de l'hydrologie stochastique.

La première sélection de quelques 35 réservoirs, 20 projets hydro-électriques et 9 usines d'approvisionnement en eau, a été obtenue par l'utilisation des modèles déterministes; cette sélection préliminaire a été suivie d'une seconde, basée cette fois sur l'utilisation du modèle d'optimisation stochastique, sur un nombre réduit de projets intéressants, de façon à énoncer des politiques opérationnelles près de l'optimum recherché. Par la suite, ces résultats ont été soumis à une analyse détaillée à l'aide du modèle de simulation de façon à affiner la définition du système et les politiques opérationnelles sélectionnées.

La fonction objectif utilisée par Loucks *et al.*, demeure fidèle à la conception classique, telle que développée par le groupe du Harvard Water Resource Group, soit l'analyse avantages-coûts; en effet, l'objectif utilisé consiste en la maximisation des bénéfices totaux annuels nets à chaque site considéré dans le bassin, c'est-à-dire la somme des bénéfices annuels bruts encourus par la récréation, la protection contre les inondations, la production d'hydro-électricité et l'approvisionnement en eau, diminués du coût annuel total des installations nécessitées par ces usages (Jacoby, Loucks, 1972).

L'utilisation de la programmation linéaire, comme outil d'optimisation, ainsi que de la simulation, a aussi été adoptée par le "Texas Water Development Board" dans le contexte d'une étude sur le développement et l'opération d'un vaste système de ressources en eau comprenant plusieurs sous-bassins interreliés.

Le processus comprend quatre phases principales (Evenson, Moseley, 1970; Villeneuve *et al.*, 1975):

- la phase I cherche, à l'aide d'un modèle d'allocation, à établir une série de modalités d'opération des barrages-réservoirs;
- la phase II, à l'aide de modèles d'optimisation et de simulation, procède, premièrement, à la sélection des meilleures options parmi un ensemble de choix qu'elle évalue et, deuxièmement, cherche à modifier l'échéancier des réalisations des ouvrages prévus afin d'obtenir un nombre limité de cédules quasi-optimales qui seront étudiées plus en détail à la phase suivante;
- la phase III procède à une seconde étape de sélection en poussant plus loin l'étude des alternatives sélectionnées lors des deux premières phases; l'objectif de minimisation des coûts totaux aide à déterminer de façon plus précise les cédules de réalisations et les dimensions des ouvrages;
- la phase IV, ou de sélection finale, permet, à l'aide du modèle d'allocation, de déterminer les règles d'opération optimales et le coût minimal correspondant; il s'agit, entre autres opérations, de tester le dimensionnement, ainsi que les modalités d'opération des ouvrages à l'aide de valeurs hydrologiques et

de demandes réelles; cette étape s'avère malheureusement relativement dispendieuse; c'est pourquoi il est nécessaire de choisir, lors de sélections préalables, un nombre réduit de choix possibles.

Le modèle de gestion de la qualité de l'eau, tel que développé pour le bassin du fleuve St-Jean (H.G. Acres, 1971), constitue un très bon exemple de couplage de modèle d'optimisation et de modèle de simulation.

Essentiellement, le modèle de sélection est utilisé dans le dimensionnement préliminaire des installations et dans l'obtention des coûts reliés à diverses options. Cette approche s'est avérée très enrichissante, les temps d'exécution du modèle étant très courts (environ 30 secondes sur un ordinateur IBM 360-65), et celui-ci présentant la possibilité de procéder à plusieurs passes très différentes, et ce à un coût relativement modeste. Le modèle de simulation, quant à lui, se concentre sur une définition unique du système, c'est-à-dire qu'il doit être appuyé sur des paramètres fixes, et requiert des temps d'exécution bien plus longs (environ 24 minutes sur un ordinateur IBM 360-65). Les résultats d'une simulation peuvent donc, après interprétation, être réintroduits dans le modèle de sélection afin de subir une autre optimisation; c'est pourquoi les auteurs parlent plutôt d'un modèle à la fois de sélection et de décision, dans le cas du modèle d'optimisation, alors que le modèle de simulation est plutôt considéré comme un modèle de vérification (performance-testing model).

Lors de l'identification d'un objectif approprié pour un modèle de qualité de l'eau, certaines considérations de base doivent être apportées (Sigvaldson *et al.*, 1972); dans le cas d'objectifs de développement économique, le critère normal est souvent la maximisation des bénéfices nets (Maass

et al., 1962); cependant, à cause de la difficulté d'évaluer qualitativement les bénéfices de la qualité de l'eau, les auteurs ont préféré adopter la procédure habituelle consistant à minimiser les coûts attribuables à un certain niveau de bénéfices; ces bénéfices sont pratiquement identifiés à la rencontre de standards spécifiques de qualité; c'est ainsi que les objectifs retenus sont ceux de la minimisation des coûts dus à l'opération et la construction des ouvrages de traitement, pour respecter des niveaux de qualité donnés (DBO), et de la maximisation de la qualité de l'eau (OD) pour un coût fixe (Villeneuve *et al.*, 1975).

4.2 Le modèle de sélection "PROLOBEC"

4.2.1 Contexte d'élaboration et d'utilisation du modèle

C'est dans le cadre des recommandations du rapport "Méthodologie d'Aménagement" (Villeneuve *et al.*, 1975) (cf. Annexe 1), qu'a été conçu le modèle de sélection "PROLOBEC" (cf. Annexe 2), dont on tentera de décrire le fonctionnement de la façon la plus claire et la plus concise possible. "PROLOBEC" est un modèle de sélection. Son but est en quelque sorte de dégrossir le problème de l'aménagement et de la gestion d'un bassin, mais sans prétendre en déterminer la solution optimale unique (Hubert, 1976).

Quoique ses ambitions soient plus modestes, on doit considérer "PROLOBEC" comme une version québécoise du modèle "PROLO" (Dreyfus, Hubert, Raimin, 1975), qui est un modèle de prévision pour l'aménagement et la gestion intégrés d'un grand bassin hydrographique. Le modèle "PROLO" a été développé en France par des chercheurs du Centre d'Informatique Géologique et de l'Institut Economique et Juridique de l'Energie. En fait, c'est M. Pierre Hubert, du Centre d'Informatique Géologique de Fontainebleau qui est venu initier l'étape consacrée à la confection du modèle de sélection devant être utilisé dans le cadre de la méthodologie d'aménagement proposée aux autorités du

ministère des Richesses naturelles du Québec (cf. Annexe 1).

Le modèle lui-même doit fournir des esquisses de plan d'aménagement qui devront, dans le cadre de la méthodologie proposée, être critiquées, précisées, puis soumises à une simulation destinée à vérifier leur pertinence en toutes circonstances (Hubert, 1976).

Ce modèle est différent de son proche parent "PROLO", en ce sens qu'il n'est absolument pas prévisionniste, mais plutôt destiné à travailler à court terme; la raison principale en est l'exemple d'application retenu, soit le bassin de la rivière Saint-François; celui-ci est en effet d'une taille relativement modeste, et celle-ci se révèle plus particulièrement encore au niveau de l'activité socio-économique, dont les principaux ressorts lui sont extérieurs; le problème relèvera donc dans ce cas, dans l'identification et la satisfaction des besoins (qualitatifs et quantitatifs) en eau.

Une des hypothèses principales du modèle de sélection "PROLOBEC" est la situation critique utilisée, soit une période d'étiage; celui-ci est défini par des débits spécifiques calculés selon leur durée et leur temps de retour; le modèle utilise présentement le débit spécifique moyen d'étiage basé sur une récurrence de 5 ans et une durée de 90 jours. L'utilité de travailler en période d'étiage permet de "repérer les ouvrages de retenue nécessaires au soutien des débits, les prises en eau souterraines et les installations d'épuration" (Hubert, 1976), de façon à ce que les normes imposées ou désirées puissent être rencontrées dans tous les cas, ou tout au moins, tant que le débit d'étiage supposé est rencontré.

Le fait de ne travailler que sur cette situation critique qu'est l'étiage, empêche d'aborder les problèmes de crues; ceux-ci devront être examinés dans une étape ultérieure, précédant l'entrée en fonction du modèle de simulation.

4.2.2 Le modèle "PROLOBEC"

4.2.2.1 Organisation du modèle

Concernant le fonctionnement propre du modèle, on décrit, en chaque point du réseau hydrographique, les caractéristiques de l'eau par un vecteur de flux, dont les composantes sont le flux d'eau (débit), le flux de D.B.O., le flux de coliformes fécaux et le flux de phosphore; les trois derniers flux représentent respectivement le produit de la concentration en D.B.O., coliformes fécaux et phosphore par le débit (Hubert, 1976).

Le choix de ces quatre seuls paramètres peut soulever de nombreuses interrogations de la part des spécialistes en particulier; cependant, les besoins propres de ce modèle de sélection, de même que la nécessité de simplifier le nombre des paramètres à considérer et surtout, l'obligation de ne retenir que ceux facilement disponibles, justifie ce choix, et ce, principalement, dans le cadre des buts recherchés, soit l'étude des rejets industriels et municipaux, de l'eutrophisation des lacs et de l'affectation des cours d'eau.

"Le modèle du bassin hydrographique a été formulé mathématiquement comme un système linéaire comportant des inconnues continues et des inconnues entières. Les critères de choix d'une solution que nous avons retenue ont été introduits comme des fonctions objectives (lignes non contraintes du système) elles-mêmes fonctions linéaires des inconnues. La technique d'optimisation utilisée est la programmation linéaire mixte." (Hubert, 1976)

Le programme "PROLOBEC" a subi plusieurs réaménagements structurels; la version utilisée ici utilise le langage de contrôle du système de résolution de programmes linéaires mixtes MPSX-MIP d'IBM, enrichi de deux nouvelles

instructions appelant des programmes (SCRIBE et EDITION) conçus pour des besoins spécifiques, c'est-à-dire écriture du problème et édition en clair de la solution. (cf. Annexe 2).

La programmation linéaire est une technique mathématique utilisée dans la recherche d'une solution à un système composé de contraintes linéaires, laquelle solution maximiserait ou minimiserait une fonction objectif linéaire. La programmation linéaire mixte ou programmation en nombres entiers mixte, est une technique de programmation mathématique permettant de résoudre des problèmes de programmation linéaire dans lesquels certaines variables ne peuvent prendre que des valeurs entières (IBM, 1973). Le système de résolution utilise entre autre la méthode du simplexe révisée avec des variables bornées ou libres et des contraintes de plage (range). Le système M.I.P. peut utiliser deux sortes de variables:

- des variables continues pouvant prendre n'importe quelle valeur (les problèmes classiques de programmation linéaire ne peuvent contenir que des variables continues);
- des variables entières qui sont limitées à des valeurs entières (... , -2, -1, 0, 1, 2, ...).

Ces deux types de variables peuvent, naturellement, satisfaire les contraintes du problème posé. Le bassin de la rivière Saint-François a été schématisé en 61 biefs ou tronçons de rivière, dont chaque extrémité constitue un noeud; il s'agit là d'une division arbitraire, basée sur les sous-bassins et les différents noeuds où sont concentrés les principaux utilisateurs (municipalités et industries) (Dupont, 1976).

Dans chacun de ces biefs, circulent les quatre flux retenus: eau, D.B.O.5, coliformes fécaux et phosphore; ces flux sont sujets à des phénomènes de transport, de stockage/déstockage, et de consommation (autoépuration, unités d'épuration). L'habitat dispersé et l'agriculture contribuent, sous forme d'apports spécifiques, comme l'ensemble des rejets des municipalités et des industries, aux apports en rivière.

"L'ensemble des données représentatives du bassin à étudier (ressources, besoins, normes ou objectifs, capacité d'aménagement) nous ont permis d'écrire un programme linéaire mixte destiné à déterminer une solution optimale au regard d'une politique de l'eau traduite par la fonction objectif choisie" (Hubert, 1976).

Les résultats du modèle de sélection "PROLOBEC" sont issues des choix effectués par celui-ci pour satisfaire, au mieux, une politique de l'eau. Par politique de l'eau, nous entendons un consensus social en matière d'eau, mis en forme par l'administration. Nous avons admis ici que le consensus social s'exprimait par:

- la satisfaction des besoins exprimés;
- des normes impératives (débit, qualité, niveau trophique des lacs);
- des objectifs (débit, qualité), dont on s'efforcera de se rapprocher au maximum (Hubert, 1977).

Cependant, aucune certitude n'existe quant à l'existence d'une solution au problème soumis. En effet, les contraintes imposées au départ peuvent réduire à néant les chances d'existence d'une solution au système proposé.

du bassin "(Hubert, 1977).

SOUT La fonction objectif "eaux souterraines" est utilisée pour évaluer les prises d'eau en nappes souterraines; on peut s'interroger sur l'utilité d'une telle fonction objectif dans le contexte québécois où l'utilisation des eaux souterraines n'a su, jusqu'à date, retenir l'attention que de quelques usagers peu importants; cette source d'eau n'étant justement utilisable que par de petits utilisateurs, il est douteux que la fonction objectif "eaux souterraines" en vienne à constituer une contrainte ou un objectif majeur dans la planification des systèmes de ressources en eau québécois, et ce, malgré un coût peu prohibitif.

STOK La fonction objectif "emmagasinement" évalue, quant à elle, le volume utile de stockage dans le bassin considéré; dans son cadre d'utilisation précis, il s'agira de minimiser le recours au stockage, soit l'utilisation de réservoirs; celle-ci peut s'avérer d'un recours très efficace particulièrement dans les cas de bassin présentant des possibilités d'implantation de "gros" réservoirs ou de conflits d'utilisation importants.

EPU2 La fonction objectif "épuration secondaire" évalue le débit des rejets soumis à une épuration secondaire; l'examen des solutions retenues à cet égard permettra au gestionnaire d'évaluer, à l'aide de l'examen comparé des objectifs et des résultats identifiés à chacun des biefs, l'impact réel des aménagements d'épuration secondaire.

EPU3 La fonction objectif "épuration tertiaire", lorsque utilisée, permet de minimiser le débit des rejets soumis à une épuration tertiaire.

Dans tous les cas où un système linéaire proposé se révèle impossible, une seule conclusion s'offre au planificateur, soit l'inaptitude de l'ensemble des ressources à satisfaire l'ensemble des besoins; le terme besoin est pris ici au sens de besoins en eau, et aussi de normes. Une seule solution s'offre alors au gestionnaire, soit une révision complète d'un plan d'affectation trop ambitieux ou une modification du système des ressources, c'est-à-dire la prévision de nouvelles ressources (transferts, recyclages, nouveaux types d'aménagements, ...), ces deux actions se traduisant nécessairement par une modification des contraintes initiales, introduisant de ce fait la possibilité d'une solution réelle (Hubert, 1977). On doit enfin signaler la possibilité, avec une telle méthode, d'obtenir une solution optimale entière non-nécessairement unique; effectivement, il peut exister des solutions alternatives toutes aussi optimales au regard de la fonction objectif choisie.

4.2.2.2 Les fonctions objectifs

"L'ensemble des équations et inéquations, des contraintes du modèle, constitue un système linéaire généralement indéterminé. La détermination d'un optimum se fait relativement à une fonction objectif, elle aussi linéaire, que l'on désire maximiser ou minimiser" (Hubert, 1977). La solution du système sera donc celle que l'on qualifiera d'optimum, soit celle dont la valeur de la fonction objectif sera la plus petite, toutes les fonctions objectifs utilisées par le modèle de sélection PROLOBEC étant à minimiser.

Les programmes du modèle PROLOBEC peuvent utiliser, dans la version retenue, neuf fonctions objectifs. Chacune traduit une politique de l'eau plus ou moins complexe, c'est-à-dire que "chacune d'entre elles peut être considérée comme un critère permettant d'apprécier la valeur de l'aménagement

son but est sensiblement le même que la fonction "épuration secondaire", si ce n'est qu'elle est axée vers un secteur plus complexes et plus coûteux, mais souvent bien plus pertinents aux problèmes de qualité rencontrés.

AA La fonction objectif "écart aux objectifs" peut être générée lorsque au moins un objectif de débit ou de qualité a été imposé; elle évalue l'écart global, soit au niveau du bassin, existant entre les objectifs et les valeurs atteintes. Permettant d'intégrer en une seule fonction objectif plusieurs dimensions du problème étudié, celle-ci peut s'avérer très utile au gestionnaire. A cette fin, celui-ci devra être très judicieux dans le choix et l'ordre de grandeur des objectifs qu'il fixera pour les différents biefs; ceux-ci devront être le plus près possible des objectifs pouvant être réellement atteints, à défaut de quoi, la valeur de la fonction objectif, et partant, la valeur de la solution, pourront être mis en doute. La fonction objectif "écart aux objectifs" évalue l'écart des résultats aux objectifs en additionnant toutes les valeurs absolues de ces différences; le danger de cette formule est qu'elle additionne aussi à la valeur de la fonction objectif, les différences entre les résultats et les objectifs lorsque les premiers sont supérieurs aux seconds; on risque alors d'en arriver à des solutions extrêmes où tous les objectifs fixés sont dépassés, pour obtenir finalement une valeur terminale de la fonction objectif de plus en plus élevée à mesure que l'on surpasse les objectifs; et pourtant, le sens de l'optimisation est la minimisation de la fonction objectif, c'est-à-dire que la solution dont la valeur de la fonction objectif est la plus basse, sera considérée comme la solution optimale, ce qui ne serait pas le cas dans une situation comme celle-ci.

- EPUR La fonction objectif "coûts d'épuration" minimise le coût associé à l'épuration (secondaire et tertiaire) des eaux usées; elle intègre les coûts unitaires associés à l'épuration secondaire et tertiaire dans un bassin. Cette fonction objectif composée permet au gestionnaire d'axer sa politique vers des objectifs qualitatifs, mais en s'assurant d'un déboursé minimal; cependant, tout comme pour les fonctions "épuration secondaire" et "épuration tertiaire", le gestionnaire risque d'approuver ainsi des qualités souvent douteuses des eaux, plus particulièrement s'il n'a pas su imposer des normes et des objectifs bien définis aux endroits stratégiques.
- PROV La fonction objectif "coûts d'emmagasinement et d'épuration" minimise le coût associé à l'épuration (secondaire et tertiaire), comme la fonction précédente, à laquelle elle additionne les coûts de stockage; cette fonction peut être assimilée à une minimisation des coûts totaux d'aménagement du bassin si l'on néglige les coûts de pompage des eaux souterraines (cf. fonction objectif "eaux souterraines").
- COUT La fonction objectif "coûts totaux d'aménagement" minimise le coût total associé à l'aménagement du bassin (pompage des nappes, stockage, épuration secondaire et épuration tertiaire). On est ici face à une fonction objectif plus traditionnelle (cf. chapitre 3), celui de la minimisation des coûts.
- OBJ La fonction objectif "écart aux objectifs en fonction des coûts" permet de départager des solutions équivalentes selon le critère traduit par la fonction objectif "écart aux objectifs" (fonction qui évalue l'écart entre les objectifs et les résultats obtenus)

et ce en choisissant la solution dont le coût est le plus faible (c'est-à-dire celle qui implique un aménagement minimal du bassin). Cette fonction objectif est en fait composée de trois éléments: la fonction objectif "écart aux objectifs" à laquelle on additionne la fonction objectif "coûts totaux d'aménagement", lesquels sont multipliés par un "coefficient de pondération des coûts". Le grand avantage de cette fonction objectif est qu'elle intègre réellement les aspects techniques (qualité, quantité) et les aspects économiques (coûts). La ou les solutions retenue(s) en regard de ce critère méritera(ont) donc une attention soutenue de la part du gestionnaire.

4.2.2.3 Applications du modèle de sélection PROLOBEC

4.2.2.3.1 Exemple Bidon:

Afin de vérifier le modèle, on l'a d'abord testé avec un petit exemple, appelé "exemple BIDON" parce que non-représentatif de la réalité, à cause principalement de sa trop grande simplicité. L'avantage de ce petit exemple est, cependant, qu'il contient la majorité des possibilités pouvant survenir à l'intérieur d'une application réelle, soit la présence de biefs de toutes natures (tronçons de rivière, lac, site de barrage), d'utilisateurs (municipalités et industries), d'apports diffus, de niveaux d'épuration existants et potentiels, de possibilités d'utilisation des eaux souterraines, ... (figure 4).

L'essai réalisé utilise la fonction objectif NORM, équivalente, pour la version actuelle du modèle PROLOBEC, à la fonction objectif "écart aux objectifs". On remarquera que les coûts des équipements (de traitement, de pompage et de stockage) n'ont pas été introduits, ce qui explique la va-

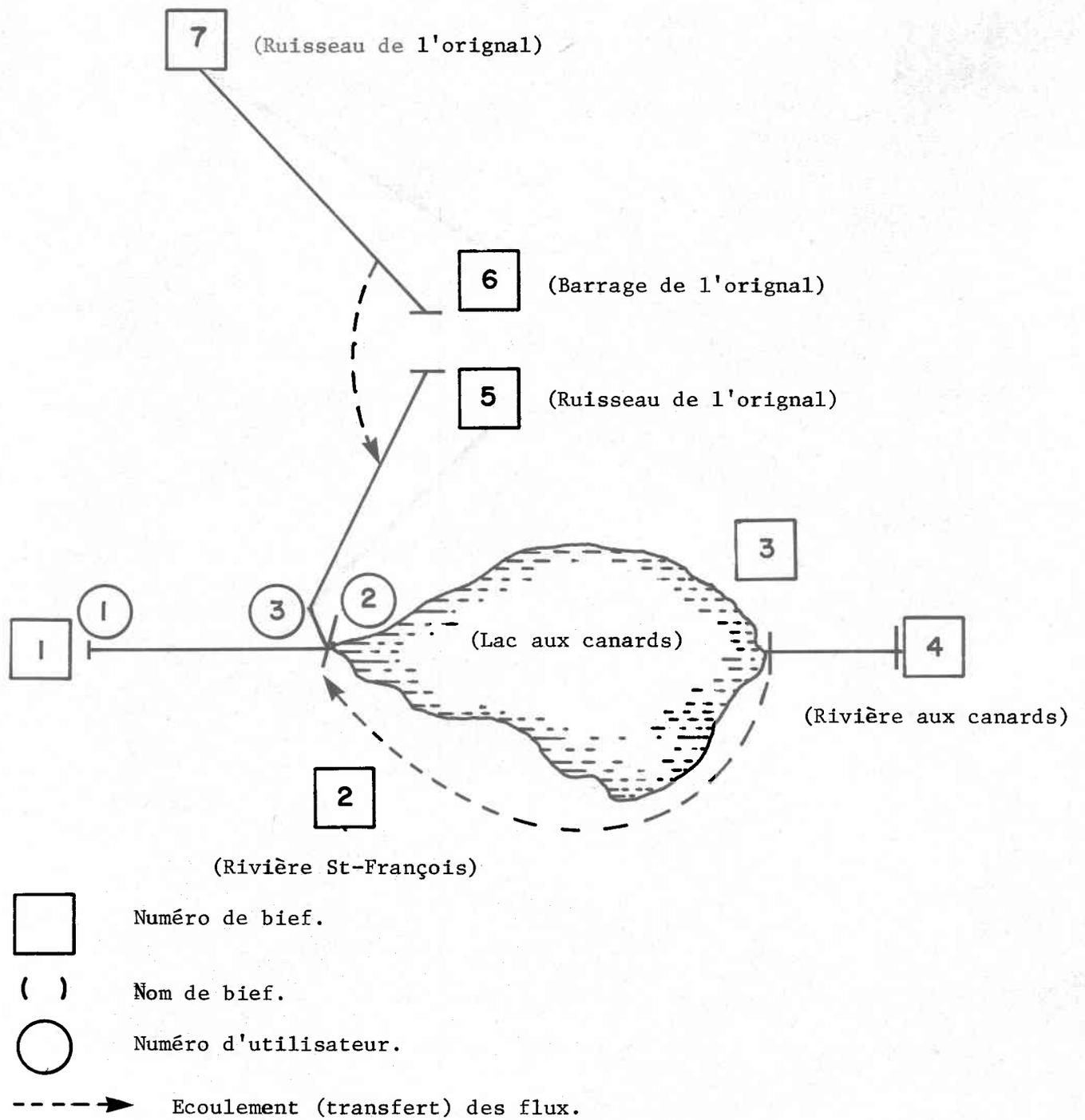


FIGURE 4. EXEMPLE BIDON

leur de la solution retenue (figure 5), tout au moins sur le plan technique, l'optimisation consistant ici en la minimisation des écarts entre les divers objectifs fixés et les résultats obtenus.

L'exemple "BIDON" aura essentiellement servi à la vérification du modèle de sélection "PROLOBEC" ainsi qu'au calibrage des différents paramètres et fonctions utilisés par celui-ci.

4.2.2.3.2 Massawipi-Coaticook-Ascot

Il aurait été intéressant d'examiner attentivement l'utilisation de la fonction objectif "coûts totaux d'aménagement" dans le cas étudié, soit le bassin des rivières Massawipi Coaticook-Ascot, un des principaux tronçons de la rivière Saint-François. Malheureusement, certaines difficultés techniques s'étant glissées dans l'évaluation des coûts totaux, il s'est avéré impossible d'utiliser les essais réalisés à l'aide de cette fonction objectif de façon efficace et surtout dans un but de comparaison avec d'autres modèles de sélection.

On peut cependant retenir, en première approximation, l'essai no. 4, utilisant la fonction objectif "coûts totaux d'aménagement"; en réalité, on s'aperçoit vite que, dû aux différents coûts réellement inclus dans son calcul, la solution retenue se rapproche bien plus de celle qui aurait été mise en évidence par l'utilisation de la fonction objectif "coûts d'épuration"; en effet, les coûts retenus sont pratiquement égaux à ceux des traitements secondaires et tertiaires.

L'utilisation de cette fonction objectif "coûts totaux d'aménagement", identifiable en réalité à la fonction objectif "coûts d'épuration", entraîne donc une minimisation de l'épuration (tertiaire principalement), et

PROLOBEC MODELE DE SELECTION

RIVIERE SAINT-FRANCOIS

Le modèle est appliqué au bassin de la rivière Saint-François soumis à un étiage dont le temps de retour est égal à 5 ans et dont la durée est égale à 90 jours.

Débit spécifique en plaine: .00265 m³/km²/s
 en montagne: .00425 m³/km²/s

On a retenu trois (3) utilisateurs d'eau particulièrement importants:

2	2	Municipalité de Saint-François	0.09 m ³ /s
3	1	Village du Lac	0.02 m ³ /s
5	3	Papeterie Lachance	2.00 m ³ /s

Le bassin comporte 15,000 habitants dont 12,500 regroupés dans des municipalités.

On a cherché à minimiser la fonction objectif norm.

Les besoins en eau exprimés des industries et municipalités sont satisfaits.

EPU2	2.11	m ³ /s	
EPU3	2.11	m ³ /s	
EPUR	0.00	millions de \$	
STOK	0.00	millions de m ³	
SOUT	200.00	puits unitaires	
COUT	0.00	millions de \$	
NORM	182.90	m ³ /s	
EPU2	Débit des rejets soumis à une épuration secondaire		
EPU3	Débit des rejets soumis à une épuration tertiaire		
EPUR	Coût de l'épuration artificielle		
STOK	Volume d'eau stockée		
SOUT	Nombre de puits unitaires		
COUT	Coût total de l'aménagement proposé du bassin		
NORM	Somme pondérée des valeurs absolues des écarts aux objectifs		

FIGURE 5. Exemple BIDON (édition des données et résultats globaux).

partant, une baisse généralisée de la qualité de l'eau (face aux autres essais), mais cette situation n'est due qu'à la mise en place d'un réservoir permettant une dilution des concentrations de polluants.

Il est intéressant de noter que malgré un coût faible* attaché aux équipements de retenue d'eau ("fonction emmagasinement"), la fonction "coûts totaux d'aménagement" utilisée a cherché à en minimiser le nombre, préférant augmenter, dans un premier temps, le recours aux eaux souterraines, et, dans un second, aggraver la qualité générale de l'eau en outrepassant, et souvent de beaucoup, les objectifs fixés (contraintes).

Si l'on se réfère au tableau 1, la solution qui minimise réellement le coût total (\$5.54 millions) est celle qui est issue de la fonction objectif "emmagasinement"; ceci est dû au fait que les coûts de stockage sont très onéreux et, la minimisation de la fonction objectif "emmagasinement" permettant la non-utilisation complète des retenues d'eau, évite des déboursés importants, limitant ceux-ci aux seuls coûts de traitement et de pompage (ces derniers étant très minimes); cependant, on remarquera aussi (tableau 2) que cette minimisation du stockage, et partant, cette diminution du débit dans la majorité des biefs, est responsable d'une aggravation de la concentration des trois flux polluants étudiés (D.B.O., C.F., P).

Par contre, la minimisation de la fonction objectif "épuration secondaire" entraîne un recours très important au stockage; cette situation est responsable de deux effets importants: premièrement, cette mise en opération de nombreux réservoirs n'est pas sans impliquer des déboursés très importants (\$16.48 millions, soit le coût le plus élevé des solutions étudiées);

* le coût utilisé lors de l'essai avec la fonction "coûts totaux d'aménagement" était de $\$.1425/10^6 m^3$ au lieu du coût réel de $\$.1425 \times 10^6/10^6 m^3$.

TABLEAU 1

Compilation des résultats globaux

ESSAI	FONCTION OBJECTIF	COEFFICIENT	EPU 2 (m ³ /s)	EPU 3 (m ³ /s)	EPUR \$106	STOK 10 ⁶ m ³	SOUT m ³ /s	OBJ m ³ /s	COUT* \$106	COUT** \$106
1	OBJ	0.0	0.28	0.28	5.54	67.68	0.02	<u>74.69</u>	5.54	15.18
2	OBJ	10 ⁻⁶	0.28	0.28	5.54	67.68	0.02	<u>80.23</u>	5.54	15.18
3	OBJ	10 ⁻⁵	0.28	0.28	5.54	67.68	0.02	<u>130.10</u>	5.54	15.18
4	COUT	----	0.28	0.06	<u>4.84</u>	36.25	0.03	152.58	<u>4.84</u>	N.D.
5	EPU 2	----	<u>0.25</u>	0.25	4.88	81.41	0.03	394.40	4.88	16.48
6	EPU 3	----	0.28	<u>0.03</u>	4.73	35.31	0.02	447.09	4.73	9.76
7	SOUT	----	0.28	0.28	5.54	36.93	<u>0.02</u>	121.29	5.54	10.80
8	STOK	----	0.28	0.28	5.54	<u>0.0</u>	0.20	127.16	5.54	5.54
9	OBJ	10 ⁻⁶	0.28	0.28	5.54	67.68	0.02	<u>89.50</u>	5.54	15.18

* Coût effectivement calculé

** Coût corrigé

Compilation des résultats particuliers

Bief Fnc. objectif	Q (m ³ /s)		DBO (mg/l)		CF (/100 ml)		P (mg/l)	
	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.
/2								
STOK		7.306	4	5	250	1517	0.050	0.027
SOUT		11.871	4	2	250	919	0.050	0.012
EPU3		11.662	4	3	250	519	0.050	0.047
EPU2		17.608	4	2	250	620	0.050	0.031
COUT		11.800	4	3	250	952	0.050	0.026
OBJ. (9)		15.825	4	2	250	365	0.050	0.009
OBJ. (3)		15.825	4	2	250	365	0.050	0.009
OBJ. (2)		15.825	4	2	250	365	0.050	0.009
OBJ. (1)		15.825	4	2	250	365	0.050	0.009
/3								
STOK		5.168		3		429		0.025
SOUT		9.732		1		186		0.008
EPU3		4.983		3		583		0.104
EPU2		9.163		2		249		0.053
COUT		9.662		2		274		0.025
OBJ. (9)		9.146		2		239		0.013
OBJ. (3)		9.146		2		239		0.013
OBJ. (2)		9.146		2		239		0.013
OBJ. (1)		9.146		2		239		0.013
/4								
STOK		2.696	4	3	250	150	0.050	0.008
SOUT		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
EPU(3)		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
EPU(2)		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
COUT		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
OBJ. (9)		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
OBJ. (3)		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
OBJ. (2)		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008
OBJ. (1)		2.582	4	3	250	150	0.050	0.008

Bief Fnc. objectif	Q (m ³ /s)		DBO (mg/l)		CF (/100 ml)		P (mg/l)	
	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.
/5								
STOK		2.573						
SOUT		2.459						
EPU3		2.459						
EPU2		2.459						
COUT		2.459						
OBJ. (9)		2.459						
OBJ. (3)		2.459						
OBJ. (2)		2.459						
OBJ. (1)		2.459						
/6								
STOK		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
SOUT		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
EPU3		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
EPU2		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
COUT		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
OBJ. (9)		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
OBJ. (3)		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
OBJ. (2)		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
OBJ. (1)		2.573	4	14	250	8396	0.050	0.063
/7								
STOK		.487		13		8631		0.031
SOUT		.487		13		8631		0.031
EPU3		.487		13		8631		0.031
EPU2		.487		13		8631		0.031
COUT		.487		13		8631		0.031
OBJ. (9)		.487		13		8631		0.031
OBJ. (3)		.487		13		8631		0.031
OBJ. (2)		.487		13		8631		0.031
OBJ. (1)		.487		13		8631		0.031

Bief Fnc. Objectif	Q (m ³ /s)		DBO (mg/l)		CF (/100 ml)		P (mg/l)	
	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.
/11								
STOK		2.157		6		2121		0.037
SOUT		2.140		6		2139		0.037
EPU3		2.140		6		2650		0.150
EPU2		6.320		2		835		0.070
COUT		6.819		2		400		0.004
OBJ. (9)		6.303		2		672		0.010
OBJ. (3)		6.303		2		672		0.010
OBJ. (2)		6.303		2		672		0.010
OBJ. (1)		6.303		2		672		0.010
/12								
STOK								
SOUT								
EPU3								
EPU2								
COUT		6.667						
OBJ. (9)								
OBJ. (3)								
OBJ. (2)								
OBJ. (1)								
/13								
STOK		2.005	3	5	50	1392		0.039
SOUT		1.988	3	5	50	1409		0.039
EPU3		1.988	3	5	50	11782		0.194
EPU2		6.168	3	2	50	2733		0.074
COUT		2.005	3	5	50	1392		0.039
OBJ. (9)		6.151	3	1	50	56	0.50	0.008
OBJ. (3)		6.151	3	1	50	56		0.008
OBJ. (2)		6.151	3	1	50	56		0.008
OBJ. (1)		6.151	3	1	50	56		0.008

Bief Fnc. Objectif	Q (m ³ /s)		DBO (mg/l)		CF (/100 ml)		P (mg/l)	
	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.
/14								
STOK		1.437		5		2558		0.012
SOUT		1.420		5		2590		0.012
EPU3		1.420		5		2590		0.012
EPU2		5.599		1		100		0.001
COUT		1.437		5		2558		0.012
OBJ. (9)		5.582		1		100		0.001
OBJ. (3)		5.582		1		100		0.001
OBJ. (2)		5.582		1		100		0.001
OBJ. (1)		5.582		1		100		0.001
/15								
STOK								
SOUT								
EPU3								
EPU2		5.561						
COUT								
OBJ. (9)		5.544						
OBJ. (3)		5.544						
OBJ. (2)		5.544						
OBJ. (1)		5.544						
/16								
STOK		1.399		5		2558		0.012
SOUT		1.399		5		2558		0.012
EPU3		1.399		5		2558		0.012
EPU2		1.399		5		2558		0.012
COUT		1.399		5		2558		0.012
OBJ. (9)		1.399		5		2558		0.012
OBJ. (3)		1.399		5		2558		0.012
OBJ. (2)		1.399		5		2558		0.012
OBJ. (1)		1.399		5		2558		0.012

Bief Fnc. Objectif	Q (m ³ /s)		DBO (mg/l)		CF (/100 ml)		P (mg/l)	
	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.
/17								
STOK		2.105		9		5390		0.028
SOUT		2.105		9		5390		0.028
EPU3		6.646		2		300		0.003
EPU2		8.411		2		1301		0.005
COUT		2.105		9		5390		0.028
OBJ. (9)		6.646		2		300		0.003
OBJ. (3)		6.646		2		300		0.003
OBJ. (2)		6.646		2		300		0.003
OBJ. (1)		6.646		2		300		0.003
/18								
STOK								
SOUT								
EPU3		6.617						
EPU2								
COUT								
OBJ. (9)		6.617						
OBJ. (3)		6.617						
OBJ. (2)		6.617						
OBJ. (1)		6.617						
/19								
STOK		2.076		11		5977		0.028
SOUT		2.076		11		5977		0.028
EPU3		2.076		11		5977		0.028
EPU2		8.382		0		50		0.001
COUT		2.076		11		5977		0.028
OBJ. (9)		2.076		11		5977		0.028
OBJ. (3)		2.076		11		5977		0.028
OBJ. (2)		2.076		11		5977		0.028
OBJ. (1)		2.076		11		5977		0.028

Bief Fnc. Objectif	Q (m ³ /s)		DBO (mg/l)		CF (/100 ml)		P (mg/l)	
	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.	Obj.	Rés.
/20								
STOK								
SOUT								
EPU3								
EPU2		7.076						
COUT								
OBJ.(9)								
OBJ.(3)								
OBJ.(2)								
OBJ.(1)								
/21								
STOK		.769		11		5977		0.028
SOUT		.769		11		5977		0.028
EPU3		.769		11		5977		0.028
EPU2		.769		11		5977		0.028
COUT		.769		11		5977		0.028
OBJ.(9)		.769		11		5977		0.028
OBJ.(3)		.769		11		5977		0.028
OBJ.(2)		.769		11		5977		0.028
OBJ.(1)		.769		11		5977		0.028

deuxièmement, on remarquera une augmentation sensible de la qualité générale des eaux par rapport à l'utilisation de la fonction "emmagasinement", ou, plus particulièrement des flux de D.B.O. et de coliformes fécaux, affectés par les lois d'autoépuration des cours d'eau; par contre, le flux de phosphore, non-modifié par l'épuration naturelle est souvent plus élevé que lors de l'utilisation de la fonction "emmagasinement"; les exceptions à cette situation (biefs 9, 14, 17, 19) sont générées uniquement par une dilution du flux de phosphore dans un apport d'eau plus important.

Le lecteur remarquera sans doute que l'utilisation de la fonction objectif "épuration secondaire" entraîne une légère diminution dans le débit soumis à une épuration tertiaire; ceci est dû au simple fait que le modèle n'autorise le traitement tertiaire d'une eau qu'à l'expresse condition que celle-ci ait préalablement été soumise à une épuration secondaire.

L'utilisation de la fonction objectif "épuration secondaire" entraîne de plus une utilisation accrue des eaux souterraines et, même si celle-ci est peu importante, elle est significative du comportement exigé par l'introduction de cette fonction objectif, soit la nécessité de trouver des sources d'eau abondantes de façon à diluer les cours d'eau (phosphore, coliformes) ou à éliminer partiellement certains flux (D.B.O., coliformes) autrement traités par les installations d'épuration secondaires.

C'est cependant la minimisation de la fonction objectif "emmagasinement" qui favorise l'utilisation maximale (parmi les solutions étudiées) des eaux souterraines, soit dix fois la quantité retenue dans la majorité des autres cas. Cette nouvelle source d'eau n'est cependant pas suffisante pour pallier aux problèmes qualitatifs occasionnés par le manque d'eau en rivière, mais elle permet de rencontrer plus de la moitié des besoins des

utilisateurs.

La minimisation de la fonction objectif "épuration secondaire" n'a pas empêché l'installation de nombreux aménagements d'épuration secondaire ($0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ traités alors que les autres essais recommandent un tel traitement pour $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$); cependant, même si les aménagements d'épuration secondaire demeurent, en majorité, le recours au stockage en masse et l'utilisation accrue des eaux souterraines ont gravement augmenté le coût total des aménagements, quoique celui-ci se soit traduit par une augmentation sensible de la qualité des eaux, mais non-minimale au regard des autres essais.

L'essai no. 7, utilisant la fonction objectif "eaux souterraines" a curieusement favorisé une utilisation modérée des réservoirs (37 millions de m^3), tout en maintenant un recours minimal au pompage en nappe. Cette situation a entraîné forcément une diminution évidente de la qualité des eaux, à cause d'une dilution plus faible, le potentiel de traitement demeurant maximal, ne permettant pas une épuration artificielle plus complète des eaux usées.

La minimisation de la fonction "épuration tertiaire" est aussi responsable d'une aggravation de la qualité générale de l'eau; celle-ci, en n'imposant un traitement que pour une faible partie des rejets, a particulièrement accru les concentrations en coliformes fécaux et en phosphore. L'utilisation de réservoirs est minimisée (35 millions de m^3) à cause du fait qu'un débit plus important en rivière ne pourrait pas affecter les concentrations en phosphore qui ne sont pas affectées par les lois d'autoépuration des cours d'eau, les deux autres paramètres étant traités dans les installations d'épuration secondaires, n'ayant par ailleurs, pas été impliquées dans la diminution des équipements de traitement des eaux. La minimisation dans le recours

à des opérations de stockage et de traitement tertiaire ne va pas sans entraîner un coût total des aménagements relativement minime en regard des autres solutions, rendant l'utilisation de cette fonction objectif relativement intéressante pour le gestionnaire plus préoccupé par des considérations monétaires (budget) qu'écologiques (qualité de l'eau). Cette aggravation de la qualité de l'eau, et partant, cet écart accru des résultats face aux objectifs est évidente dans la valeur attribuée au paramètre "écart aux objectifs en fonction des coûts", qui est la plus forte parmi tous les essais réalisés.

La fonction objectif "écart aux objectifs en fonction des coûts" permet, comme nous l'avons vu précédemment, de minimiser l'écart entre les objectifs et les résultats obtenus, tout en pondérant par un facteur relié au coût des équipements nécessaires. Un regard rapide sur le tableau 1 nous permet de constater que la minimisation de la fonction objectif "écart aux objectifs en fonction des coûts" signifie, face à l'utilisation des autres fonctions objectifs, deux points majeurs: premièrement, la majorité des paramètres de sortie (épuration secondaire, épuration tertiaire, coûts d'épuration, eaux souterraines) ne subissent pas de variations majeures avec l'introduction de cette fonction objectif; deuxièmement, par contre, les coûts subissent une hausse assez importante, due en fait à l'augmentation des opérations de stockage. Par contre, l'examen du tableau 2 permettra aussi au lecteur averti de remarquer une amélioration très sensible de la qualité de l'eau, et ce au niveau des trois paramètres responsables de celle-ci; cette situation est en tout point conforme aux attentes exprimées face à l'utilisation de la fonction objectif "écart aux objectifs en fonction des coûts", composée entre autres, de la fonction objectif "écart aux objectifs" permettant de réduire les écarts entre les divers résultats et objectifs, et par-

tant, de diminuer les concentrations des flux polluants. C'est par le recours à des quantités importantes de stockage que le modèle parvient à minimiser les écarts aux objectifs de qualité et à améliorer ainsi la qualité de l'eau; le résultat en est cependant un coût relativement élevé. Il convient cependant de s'interroger sur les résultats de telles optimisations si les coûts calculés (principalement les coûts de stockage), avaient été plus conformes à la réalité); on pourrait plutôt s'attendre à une moins bonne qualité de l'eau (l'écart entre les résultats et les objectifs étant moindre) et à une utilisation moins forte des réservoirs.

De même, l'utilisation du "coefficient de pondération des coûts" (0.00, 10^{-6} , 10^{-5}) n'a pas su rencontrer les attentes; en effet, l'utilisation de ce coefficient permet de donner plus ou moins de poids, selon le cas, à la fonction objectif "coûts totaux d'aménagement", faisant partie intégrante, avec la fonction objectif "écart aux objectifs", de la fonction objectif composée "écart aux objectifs en fonction des coûts". Ainsi, on remarquera que les résultats des essais 1 et 2 sont très semblables; l'utilisation de coûts réels aurait peut-être entraîné, outre des résultats différents, une solution optimale elle aussi différente.

Les essais 2 et 9 se distinguent par l'introduction de deux objectifs supplémentaires de phosphore dans le second; les résultats n'ont cependant été modifiés en rien, même au niveau des résultats particuliers dans les biefs où ces nouveaux objectifs avaient été introduits; la seule différence réside dans l'écart accru face aux objectifs, ainsi obtenu; on constate donc combien le choix des objectifs (contraintes) est important.

5. Conclusion5.1 Le modèle PROLOBEC vs l'optimisation de l'utilisation de la ressource eau

Le modèle de sélection "PROLOBEC" passe bien le test de l'utilité des modèles de sélection dans le processus de gestion de la ressource eau. En effet, malgré une mise au point encore déficiente, due, de toute évidence, au manque de sensibilisation envers les autorités commanditrices, PROLOBEC a su démontrer une bonne abilité dans l'identification et le choix des différentes solutions à des problèmes d'aménagement de l'eau par bassin.

Sans clamer la supériorité de ce modèle sur les autres types disponibles, il est possible d'en saisir les grands avantages. C'est à l'examen de ses fonctions objectifs que l'on identifie principalement la valeur du modèle: premièrement, la possibilité d'utiliser plusieurs fonctions objectifs très différentes permet une souplesse rarement disponible dans ce type de modèle voué généralement à une optimisation basée sur les coûts des équipements. Deuxièmement, l'introduction de la fonction "écart aux objectifs en fonction des coûts" n'est pas sans apporter du neuf au processus de gestion de la ressource eau; l'écart entre objectifs et valeurs effectivement atteintes, de même que l'utilisation de la fonction "coûts totaux d'aménagement", permettent de tenir compte de la majorité des paramètres devant guider le gestionnaire dans son choix: les aspects quantitatifs (débit), les aspects qualitatifs (D.B.O., C.F., P) et les coûts (épuration, stockage, pompage).

Une routine (FIXLICO), non encore opérationnelle, de PROLOBEC devrait permettre d'atteindre un niveau de finesse encore meilleur dans le choix d'une ou de solutions optimales. Celle-ci sera utilisée lors d'un processus

de choix en deux étapes: premièrement, la minimisation à l'aide de la fonction objectif "écart aux objectifs", permettant d'évaluer l'écart entre les objectifs et les résultats pour chacun des biefs et chacun des flux, constituant le critère de choix entre les diverses solutions s'il en existe; deuxièmement, étant donné qu'il se peut que plusieurs solutions se révèlent équivalentes au regard de ce critère de choix, un critère secondaire, tel que le coût des solutions, pourra alors être utilisé pour départager les solutions équivalentes (Hubert, 1977).

Il est difficile, pour l'instant, de prévoir l'efficacité de ce processus en deux étapes (minimisation de la fonction "écart aux objectifs" suivie de la minimisation des "coûts totaux d'aménagement") sur celui de la minimisation de la fonction objectif "écart aux objectifs en fonction des coûts"; alors que, dans le premier cas, la dimension financière, si importante dans l'actuel processus décisionnel, n'intervient que pour "départager les solutions équivalentes", dans le second, elle sert de critère décisionnel, mais son apport propre à la décision peut être relativement négligeable dépendamment du "coefficient de pondération des coûts" utilisé. Il faudra tester l'utilisation parallèle de ces deux types d'optimisation afin d'identifier, s'il en est, celle qui s'avère la plus utile face à l'optimalité désirée.

Un des autres grands avantages du modèle de sélection PROLOBEC réside dans la possibilité d'utilisation simultanée de plusieurs fonctions objectifs; alors que les autres modèles permettent généralement l'utilisation d'une seule fonction objectif, qui doit alors être choisie avec beaucoup de circonspection, le modèle PROLOBEC permet au gestionnaire de comparer les résultats obtenus à l'aide de différentes fonctions objectifs et, à l'aide

de l'ordre de priorité attaché aux diverses fonctions objectifs et des résultats obtenus dans chacun des cas, de prendre ainsi une décision plus éclairée; il aura le loisir, si ses moyens financiers le lui permettent ou s'il lui est difficile d'identifier la fonction objectif correspondant le mieux au but recherché, de procéder à la simulation et à l'analyse des différentes solutions issues de l'optimisation de différentes fonctions objectifs.

5.2 Modèles de sélection vs l'optimisation de l'utilisation de la ressource eau

Il est devenu inutile, à cette étape, de prôner l'utilisation des modèles de sélection dans le processus de gestion de la ressource eau; l'importance de cet outil a été démontrée, nous le croyons, dans les chapitres antérieurs. Il importe bien plus d'essayer d'esquisser les orientations qu'ils auraient avantage à prendre.

Longtemps orientés, pour ne pas dire biaisés, par l'aspect financier, les gestionnaires n'ont su développer que peu d'outils réagissant autrement que par ce seul critère; or, l'importance d'autres aspects (sociaux, environnementaux, ...) est démontrée trop clairement pour continuer à les ignorer; de plus, des outils existent permettant d'en tenir compte (modèle socio-politique, cotation sociale et environnementale, modèle de sélection PROLOBEC, ...). Plus particulièrement, les modèles de sélection, dont l'objet est d'éliminer, tôt dans le processus décisionnel, les solutions les moins avantageuses pour ne retenir que celles qui s'avèrent les meilleures au regard de différents critères, méritent donc une attention particulière de la part des gestionnaires.

Alors que la gestion des ressources hydriques semble s'orienter de

plus en plus vers une approche par bassin, il importe d'affiner les outils dont on dispose afin de choisir la solution optimale, surtout si l'on tient compte du fait que le nombre de solutions possibles s'accroît toujours, conséquence directe d'une technologie plus ou moins avancée certes, mais aussi d'une acuité accrue des problèmes liés à l'eau et plus particulièrement encore, d'une sensibilisation de plus en plus importante des différents utilisateurs. Les modèles de sélection constituent à cet égard l'une des étapes essentielles d'un processus décisionnel plus cohérent et intégrateur des diverses dimensions du problème; et, c'est dans le choix de critères décisionnels (fonctions objectifs), directement reliés à toutes ces préoccupations, que doivent s'orienter les gestionnaires des ressources hydriques.

ANNEXE 1

Méthodologie d'aménagement et bassin de la Saint-François

Le domaine habité du Québec se divise en trois parties séparées les unes des autres et d'importance inégales. La première, la plus peuplée des trois, est constituée par les basses terres qui bordent le Saint-Laurent et son estuaire et par les collines et plateaux qui les encadrent. La seconde est formée par l'Abitibi et le Témiscamingue, alors que la troisième est représentée par l'enclave du Saguenay et du Lac St-Jean. "Situées sur le Bouclier canadien, isolées des pays du Saint-Laurent par une grande zone boisée, les deux dernières régions se trouvent exclues de la partie du Québec considérée ici" (Beauregard, 1970).

A l'intérieur même de la région des basses terres du Saint-Laurent, on délimite généralement une zone d'habitat plus intensif, représentant le coeur de l'oecoumène québécois: la population de la province de Québec est distribuée principalement sur une étroite bande le long du Saint-Laurent entre les villes de Montréal et Québec. Le développement urbain, industriel et agricole du Québec des années futures se déroulera certainement le long de ce même corridor.

Les ressources hydriques du Québec sont énormes! Tous le savent et en usent sans égards. Cependant, malgré l'abondance de l'eau dans la province, la concentration de la population sur une infime partie du territoire n'est pas sans produire des conflits concernant les droits, l'utilisation et la gestion de la ressource eau. Cette distribution de la population ne va pas sans causer des problèmes d'alimentation, de régularisation et de disposition de l'eau nécessaire à la survie de toute une nation.

Pressé par l'urgence sans cesse croissante des problèmes de gestion de cette ressource, le gouvernement québécois a, par l'entremise de divers ministères et organismes (M.R.N., O.P.D.Q., ...), institué récemment diverses études planifiées en vue de l'aménagement des divers bassins hydrographiques de la province. C'est dans ce cadre qu'ont été entreprises les diverses études sur les bassins de la rivière Yamaska et de la rivière Saint-François. La Direction de l'Aménagement du ministère des Richesses naturelles du Québec a ainsi amorcé, depuis l'automne 1974, une étude en vue de la préparation d'un plan d'affectation des eaux du bassin de la Saint-François.

"Le programme de travail préparé en vue de ce plan prévoit trois phases principales: une première traitant de la connaissance du bassin, une deuxième portant sur les choix qui s'offrent aux utilisateurs en ce qui a trait à l'affectation de la ressource eau du bassin et enfin, une troisième suggérant des méthodes d'implantation des solutions retenues"
(Villeneuve *et al.*, 1975).

"L'objectif global du projet Saint-François consiste à affecter les eaux de la rivière Saint-François aux utilisations, tout en maintenant l'équilibre écologique. De façon plus pragmatique, le but du projet, qui devrait être l'aboutissement du programme de travail, est la rédaction d'un LIVRE BLEU DU BASSIN DE LA SAINT-FRANCOIS, qui expose la problématique générale du bassin, l'approche de solution envisagée pour rationaliser l'utilisation de la ressource et le cadre opérationnel des mesures à implanter"
(Delisle *et al.*, 1975).

Le "projet Saint-François" avait pour objectif l'affectation des eaux du bassin de la rivière Saint-François et se voulait d'abord une expérience d'affectation. Les autorités ministérielles n'ont pas cautionné officiellement le projet; c'est sans doute la raison pour laquelle la seconde phase du plan de travail, soit l'examen des choix possibles d'affectation, a à peine été explorée.

A chaque hypothèse de développement du territoire, retenue lors des études préliminaires, doit correspondre le plan d'affectation des eaux qui est jugé "le meilleur"; il s'agit en fait du plan d'affectation qui satisfait le mieux à la fois les exigences des utilisateurs de l'eau, les exigences techniques d'efficacité et d'économie au niveau des ouvrages et des équipements qu'il nécessitera éventuellement.

L'étape du plan d'aménagement concrétise les options d'affectation en traduisant en termes d'ouvrages hydrauliques et de travaux correcteurs les différents choix de développement issues de l'étape du plan d'affectation. L'une des phases les plus importantes de la planification des aménagements consiste à évaluer l'ensemble des solutions et à choisir la solution "quasi-optimale", ce qui peut être fait entre autres moyens en utilisant un modèle mathématique représentant le système d'une façon la plus près de la réalité. Le plan "le meilleur" est ainsi obtenu par l'utilisation "d'un système de cotation technique (modèles d'optimisation et de sélection), mais aussi par un système de cotation sociale (modèle de prise de décision, type Popole)" (Tremblay, 1975). La sommation et la combinaison de ces solutions classées devraient amener le gestionnaire, en l'occurrence, le M.R.N. et l'O.P.D.Q. - en attendant la création d'un ministère Québécois de l'Eau ou du Territoire -, à affecter différents lacs ou tronçons de rivière à tel ou tel usage, à fixer des normes de qualité tout aussi bien que de quantité, et à préciser divers objectifs contraignants comme l'alimentation en eau.

Dans cette optique de gestion de l'eau et pour assurer la poursuite de l'étude entreprise, le programme de travail du "projet Saint-François" prévoyait la recherche et la mise au point d'une "méthodologie d'Aménagement de la Ressource Eau" (Villeneuve, Couture *et al.*, 1975). Bien que ce docu-

ment ne représente pas encore la politique officielle du ministère, nous croyons utile de le présenter comme la procédure de base à ce qui devrait donner lieu à l'aménagement du bassin de la rivière Saint-François*:

"C'est en essayant d'établir un compromis entre la volonté du planificateur, les contraintes auxquelles il est soumis (urgence des dossiers, budget, etc...) et la précision des résultats, que l'on a établi une procédure en trois volets dont la complexité augmente d'un volet à l'autre"
(Villeneuve *et al.*, 1975).

Les auteurs du rapport "Méthodologie d'Aménagement" ont recommandé, dans le cadre du projet Saint-François, une étude en deux phases: la première phase consiste en la mise en oeuvre du volet A, tandis que la deuxième est liée à la décision du choix entre les volets B et C de la procédure d'aménagement (figure 6). Dans le cadre du volet A, on réalise l'optimisation sur les besoins et les points d'utilisation en fonction des disponibilités plutôt que sur les ouvrages comme dans le cas des volets B et C. Cette première phase doit être perçue comme l'opération minimale pour que l'on puisse espérer tendre vers une certaine optimalité des aménagements considérés.

"Dans cette phase, le plan d'affectation utilisé devra être celui qui est réalisé actuellement par la direction de l'aménagement du M.R.N." (Villeneuve *et al.*, 1975) et il devra ensuite être finalisé à l'aide du modèle de sélection; le modèle suggéré pour le "projet Saint-François" est le modèle "PROLO" de MM. Dreyfus, Hubert *et al.* (1975).

* Tiré et adapté de "Méthodologie d'Aménagement", (1975).

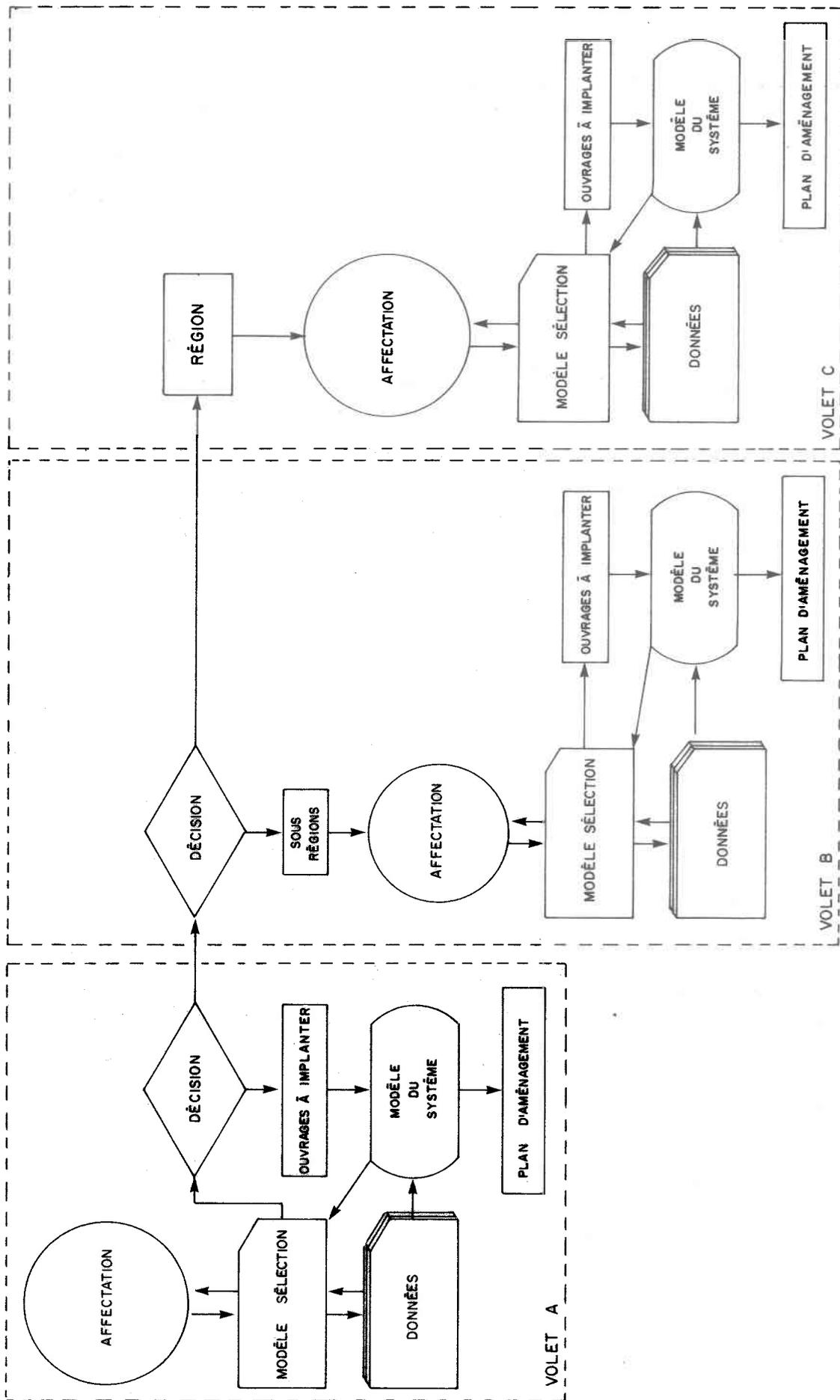


Fig. 6. Les trois volets de la procédure d'aménagement.

Si les résultats du volet A ne s'avèrent pas suffisants, on devra passer, dans une seconde phase, à l'utilisation de l'un ou l'autre des deux autres volets, soit le volet B s'il s'agit d'affiner l'analyse au niveau d'un ou de plusieurs sous-bassins, soit le volet C si l'on veut fournir une solution optimale au niveau des ouvrages à réaliser pour l'ensemble du bassin. Le volet utilisé dans cette seconde phase devra nécessairement faire l'objet d'une décision basée sur une réflexion approfondie de la part des planificateurs, ce qui ne peut être fait qu'à partir des résultats du volet A.

Le programme "PROLOBEC" *

Le programme "PROLOBEC" écrit le programme linéaire mixte représentatif du problème posé par les données fournies, le résoud et édite sa solution. Le chaînage en trois modules, SCRIBE, RESOLUTION DU PROGRAMME, EDITION, est fonction du matériel informatique disponible comme des souhaits de l'utilisateur. Les systèmes MPSX-MIP (IBM), comme APEX III (CDC), sont suffisamment souples pour permettre de nombreuses solutions. Le programme "PROLOBEC" utilise donc deux programmes écrits en Fortran IV, SCRIBE et EDITION qui jouent dans le programme de contrôle MPSX-MIP retenu, le rôle d'instructions (cf. figures 8, 9, 10). L'examen de la figure 7 nous permet de suivre, étape par étape, le fonctionnement propre au modèle de sélection "PROLOBEC":

SCRIBE Ce programme (cf. figure 9) lit les données primaires sur deux fichiers sur cartes (fichiers FT04F001, FT05FT001), écrit sur disques les données nécessaires au module EDITION (fichiers FT07F001, FT08 F001) et enfin, écrit sur disque les données du programme linéaire mixte à résoudre (FT10F001).

CONVERT Cette instruction permet de lire sur le fichier approprié les données du problème et les convertit en format interne sur le fichier PROB-FILE.

* tiré et adapté, entre autres, de Hubert, P. (1976) et Hubert, P. (1977).

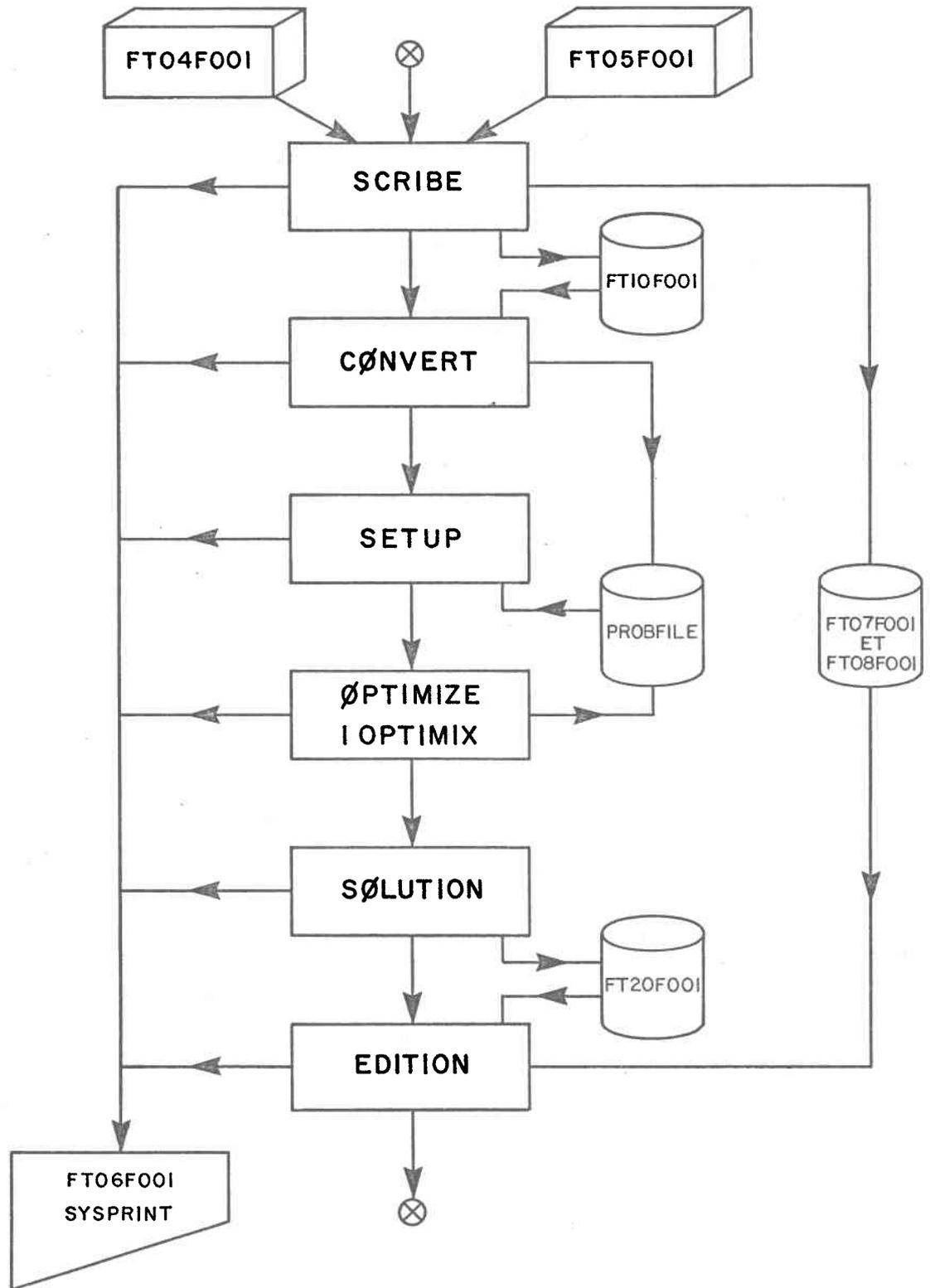


FIGURE 7. Organisation des fichiers du programme PROLOBEC


```

0144 MOVE(XMINMAX,AINAX2)
0145 MOVE(XOLDNAME,XPBNAME)
0146 REVISE('FILE','FT10F001','CHECK')
0147 KREV=KREV+1
0148 MOVE(OPZSTART,'RESTORE')
0149 MOVE(OPZRESTR,'BAZ')
0150 GOTO(OPT)
OPTIM
0151 SETUP
0152 MOVE(OPZSAVE,'BAZ')
0153 OPTIMIZE
SOLUTION
0462 SOLUTIOX('MATRIX',0,0,5,1)
0463 STEP
0559 EDIT ASSIGN('FMPS','FT20F001','COMM')
0560 PREPOUT('FMPS')
0561 SOLUTION('FILE','FMPS','RSECTION','2/4S','CSECTION','2/4S','RM*
ASKS','P*****','*****','CMASKS','FE*****','FS*****','X*****')
0562 FREECORE
0563 EDITION(KE,UNITE,KREV,L)
INVALID FUNCTION NAME.
0564 WRITE('EDITION')
0565 GOTO(FIN)
NOMPB MOVE(XPBNAME,'PB ')
0566 MVADR(ADR,XPBNAME)
0567 ADR=ADR+2
0568 N=KNOR
0569 N=NDUR
0570 EXEC(DIV)
0571 EXEC(DIV)
0572 N=RET
0573 EXEC(DIV)
0574 N=RET
0575 EXEC(DIV)
0576 STEP
0577 Y=N/10
DIV EXEC(CHERCHE)
0578 Y=(N-(Y*10))
0579 EXEC(CHERCHE)
0580 EXEC(CHERCHE)
0581 STEP
CHERCHE IF(Y.EQ.0,AD0)
0582 IF(Y.EQ.1,AD1)
0583 IF(Y.EQ.2,AD2)
0584 IF(Y.EQ.3,AD3)
0585 IF(Y.EQ.4,AD4)
0586 IF(Y.EQ.5,AD5)
0587 IF(Y.EQ.6,AD6)
0588 IF(Y.EQ.7,AD7)
0589 IF(Y.EQ.8,AD8)
0590 IF(Y.EQ.9,AD9)
AD0 MVADR(CHIF,A0)
0591 GOTO(SUBSTIT)
AD1 MVADR(CHIF,A1)
0592 GOTO(SUBSTIT)
AD2 MVADR(CHIF,A2)
0593 GOTO(SUBSTIT)
AD3 MVADR(CHIF,A3)
0594
0595
0596
0597
0598

```

FIGURE 8 (SUITE): Résolution du programme

```
0599 GOTO(SUBSTIT)
0600 MVADR(CHIF,A4)
0601 GOTO(SUBSTIT)
0602 MVADR(CHIF,A5)
0603 GOTO(SUBSTIT)
0604 MVADR(CHIF,A6)
0605 GOTO(SUBSTIT)
0606 MVADR(CHIF,A7)
0607 GOTO(SUBSTIT)
0608 MVADR(CHIF,A8)
0609 GOTO(SUBSTIT)
0610 MVADR(CHIF,A9)
0611 GOTO(SUBSTIT)
SUBSTIT MVIND2(ADR,CHIF,1)
0612 ADR=ADR+1
0613 STEP
0614 PROBLEMS('PROBFILE')
0615 FIN
0616 EXIT
0617 PEND
```

FIGURE 8 (SUITE): Résolution du programme

- SET UP Cette instruction met en plan le problème, alloue la mémoire disponible et détermine une base de départ.
- OPTIMIZE est la macro-instruction qui déterminera s'il existe une solution optimale continue au problème posé et SOLUTION éditera cette solution.
- OPTIMIX est la macro-instruction qui, partant de la solution optimale continue fournie par SOLUTION, permettra d'atteindre des solutions entières puis la solution entière optimale. Un sous-ensemble de la solution obtenue est alors écrit sur le fichier FT20F001.
- EDITION module (cf. figure 10) qui édite en clair la solution du problème. Cette édition en clair comporte tout d'abord une identification du problème (cf. figure 5), un rappel des principales données et les valeurs obtenues au niveau du bassin pour certains paramètres généraux (coût, épuration, stockage, eaux souterraines, ...). Ensuite, pour chaque bief, on trouve un rappel des données, normes et objectifs et l'exposé des aménagements proposés (stockage, eaux souterraines). A la suite de celà, on trouvera pour chaque utilisateur du bief, le rappel de ses besoins en eau, le plan d'alimentation et le type d'épuration proposé.

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

```
*****
*                                                                 86. *
*                                                                 *
*          PROLOBEC PROGRAMME  SCRIBE                             *
*          VERSION 2  IBM NOV 1976                               *
*                                                                 *
*****

COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NC0(6)
1,NLI(6),ALF(45),INAM,INUT,INPR,INST,INRE,INAV,NQ,NTOT,NDUR,AULT,DI
2V,N,K,L,KE,INAT
DIMENSION BETA(2),FQ(4),RHAB(4),CMAX(4),RO8(4),RO9(4),XNQ(4),NOO(5
1),F(5),G(5),NAV(100),NAM(100),NRE(100),NUT(100),NAT(100),NPR(100),
2NST(100),RESOUT(100),ALG(100),S(100),VOLUTI(100),TR(100),PROF(100)
3,BSFS1(100),NO(100,4),ANORME(100,4),Q(100,4),NUM(100,10),NAL(100,1
40),NEP(100,10),BE(100,10),NCOR(100,100),REJ(100,10,4),BES(300,10,3
5)
DIMENSION A(20),ANOM(9)
DIMENSION FE4MIN(100),FS4MIN(100)
DOUBLE PRECISION NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2
CALL DONGEN(CEPU2,CEPU3,CSTOK,CSOUT,ALFA,BETA,CMAX,RO8,RO9,RHAB,XN
1Q,COEFF,RPHOS)
CALL DONPAR(KERR,KOBJ,RHAB,FQ,F,G,NOO,ANOM,NAT,NUT,NST,NAV,NPR,NRE
1,RESOUT,ALG,S,VOLUTI,PROF,TR,NO,ANORME,Q,NUM,NEP,NAL,BE,NCOR,REJ,B
2ES,NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,NRET,NK,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2)
IF(KERR.NE.0) GO TO 10
CALL BORSUP(NTOT,NDJR,DIV,NAT,NAV,NAM,VOLUTI,BSFS1,RESOUT,S,Q)
CALL TROPHI(NTOT,KERR,AULT,RPHOS,ALFA,BETA,RO8,RO9,FE4MIN,FS4MIN,S
1,PROF,TR,NAT,NPR,NAM,Q,REJ,NAV,NUT)
IF(KERR.NE.0) GO TO 10
WRITE(K1,1000)
DO 1 N=2,NTOT
INAM=NAM(N)
INUT=NUT(N)
INPR=NPR(N)
INST=NST(N)
INRE=NRE(N)
INAV=NAV(N)
INAT=NAT(N)
CALL SPLIG(KOBJ,CEPJ2,CEPU3,CSTOK,CSOUT,ALFA,BETA,CMAX,S,PROF,TR,B
1SFS1,RESOUT,NUT,Q,ANORME,NO,NAL,NCOR,REJ,BES,KERR,COEFF)
IF(KERR.NE.0) GO TO 10
CALL SPCOLC(ALFA,BETA,XNQ,ALG,S,PROF,TR,ANORME,NO,RPHOS)
CALL SPCOLE(RO8,RO9,CMAX,VOLUTI,BSFS1,NEP,NAL,NCOR,REJ,BES)
1 CONTINUE
WRITE(K1,2000)
CALL COPIE(K2,K1,A)
WRITE(K1,3000)
CALL COPIE(K3,K1,A)
WRITE(K1,4000)
CALL COPIE(K4,K1,A)
```

FIGURE 9: Programme SCRIBE

```

WRITE(K1,5000)
CALL COPIE(K5,K1,A)
WRITE(K1,6000)
CALL COPIE(K6,K1,A)
CALL COPIE(K7,K1,A)
WRITE(K1,7000)
WRITE(KE)NAT,NUT,NPR,NAV,NST,NAM,NAL,NEP,NUM,ALG,S,PROF,TR,VOLUTI,
IRESOUT,ANORME,Q,Q,RE,BES,NCOR,ALFA,BETA,CEPU2,CEPU3,CSTOK,CSOUT,N
2K,NRE,NTOT,KOBU,NDUR,NRET,NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,
3AINAX2
GO TO 11
10 WRITE(6,8000)
11 CALL EDIT (NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2,KOBU
1,NDUR,NRET,NTOT,NK,NAV,NAT,NUT,NPR,NRE,NEP,NAL)
CALL PUTARG(KE,K1,K2,K3,K4,KERR,KOBU,NDUR,NRET,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,
1AINAX2,L)
1000 FORMAT(19HNAME PROLO/4HROWS)
2000 FORMAT(7HCOLUMNS)
3000 FORMAT(47H DENTIERS 'MARKER' 'INTORG')
4000 FORMAT(47H SENTIERS 'MARKER' 'INTEND'/3HRHS)
5000 FORMAT(5HRANGES)
6000 FORMAT(6HBOUNDS)
7000 FORMAT(6HENDATA)
8000 FORMAT(1H1/10X,23HERREUR DANS LES DONNEES)
RETURN
END
SUBROUTINE DONGEN(CEPU2,CEPU3,CSTOK,CSOUT,ALFA,BETA,CMAX,R08,R09,R
IHAB,XNQ,COEFF,RPHOS)
COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NC(6)
1,NLI(6),ALF(45),INAM,INUT,INPR,INST,INRE,INAV,NQ,NTOT,NDUR,AULT,DI
2V,N,K,L,KE,INAT
DIMENSION BETA(2),CMAX(4),R08(4),R09(4),RHAB(4),XNQ(4)
NQ=4
NANT=0
MANT=0
INAT=0
JANT=0
NL=0
NC=0
KL=5
DIV=24.*3600.
AULT=(DIV*365.)/1000000.
2000 READ(KL,2000)(ALF(I),I=1,45)
FORMAT(26A1,10A2,8A4,A2)
READ(KL,1000)K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K,L,KE
1000 FORMAT(40I2)
READ(KL,3000)ALFA,(BETA(I),I=1,2),RPHOS
READ(KL,3000)CEPU2,CEPU3,CSTOK,CSOUT,COEFF
READ(KL,3000)(CMAX(I),I=1,NQ)
READ(KL,3000)(RHAB(I),I=1,NQ)
READ(KL,3000)(R08(I),I=1,NQ)
READ(KL,3000)(R09(I),I=1,NQ)
READ(KL,3000)(XNQ(I),I=1,NQ)
3000 FORMAT(8F10.3)
RETURN
END
SUBROUTINE DONPAR(KERR,KOBU,RHAB,FQ,F,G,N00,ANOM,NAT,NUT,NST,NAV,N
1PR,NRE,RESOUT,ALG,S,VOLUTI,PROF,TR,NO,ANORME,Q,NUM,NEP,NAL,BE,NCOR
2,REJ,BES,NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,NRET,NK,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2)

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NCO(6)
1,NLI(6),ALF(45),INAM,INUT,INPR,INST,INRE,INAV,NQ,NTOT,NDUR,AULT,DI 88.
2V,N,K,L,KE,INAT
DIMENSION PHAS(4),F3(4),F(5),G(5),NOO(5),ANOM(9),NAT(100),NUT(100)
1,NST(100),NAV(100),NPR(100),NRE(100),RESOUT(100),ALG(100),S(100),V
20LUTI(100),PROF(100),TR(100),NO(100,4),ANORME(100,4),Q(100,4),NUM(
3100,10),NEP(100,10),NAL(100,10),BE(100,10),NCOR(100,100),REJ(100,1
40,4),BES(300,10,3)
DOUBLE PRECISION NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2
NKMAX=300
NMAX=100
NUMAX=10
NTOT=1
INAL=3
KERR=0
KOBJ=0
MAX=0
NK=0
DO 100 I1=1,NMAX
DO 100 I2=1,NMAX
100 NCOR(I1,I2)=0
DO 200 I1=1,NKMAX
DO 200 I2=1,NUMAX
DO 200 I3=1,INAL
200 RES(I1,I2,I3)=0.
READ(K,2000)NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,NDUR,NRET,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX
12
2000 FORMAT(4A8,6X,2I3,4X,4A8)
999 READ(K,1000.END=999)N1,N2,N3,N4,(ANOM(I),I=1,9),(F(I),I=1,5)
1000 FORMAT(2I3,2I1,A1,A3,7A4,5F8.3)
READ(K,1001)NN1,NN2,NN3,NN4,(G(I),I=1,5),(NOO(I),FQ(I),I=1,4)
1001 FORMAT(2I3,2I1,5F8.3,4(I1,F7.3))
IF(N1.GT.NMAX.OR.N1.LE.1) GO TO 800
IF(NN1.NE.N1.OR.NN2.NE.N2.OR.NN3.NE.N3.OR.NN4.NE.N4) GO TO 800
WRITE(L,8000)(ANOM(I),I=1,9)
8000 FORMAT(1H ,A1,A3,7A4)
ADIF=ANOM(1)-ALF(18)
IF(ADIF)901,1,901
901 ADIF=ANOM(1)-ALF(12)
IF(ADIF)902,2,902
902 ADIF=ANOM(1)-ALF(2)
IF(ADIF)903,3,903
903 NUT(NTOT)=NUT(NTOT)+1
NU=NUT(NTOT)
IF(NU.GT.NUMAX) GO TO 800
IF(N1.NE.NTOT) GO TO 800
IF(N3.LT.1.OR.N3.GT.3) GO TO 800
IF(N4.LT.1.OR.N5.GT.3) GO TO 800
ADIF=ANOM(1)-ALF(13)
IF(ADIF)904,4,904
904 ADIF=ANOM(1)-ALF(21)
IF(ADIF)905,5,905
905 GO TO 800
1 NAT(N1)=1
GO TO 900
2 NAT(N1)=2
GO TO 900
3 NAT(N1)=3
IF(N4.NE.1) GO TO 900

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

      NAT(N1)=2
900  NTOT=NTOT+1
      IF(N1.NE.NTOT) GO TO 800
      IF(N2.LE.0.OR.N2.GE.N1) GO TO 800
      IF (N3.LT.0.OR.N3.GT.2) GO TO 800
      IF(N4.LT.0.OR.N4.GT.1) GO TO 800
      NUT(NTOT)=0
      NST(NTOT)=0
      NAV(NTOT)=N2
      NPR(NTOT)=N3
      NRE(NTOT)=N4
      RESOUT(NTOT)=F(1)
      ALG(NTOT)=G(1)
      S(NTOT)=G(2)
      VOLUTI(NTOT)=G(3)
      PROF(NTOT)=G(4)
      TR(NTOT)=G(5)
      DO 910 IQ=1,NQ
      I=IQ+1
      Q(NTOT,IQ)=F(I)
      ANORME(NTOT,IQ)=FQ(IQ)
      IF(IQ.NE.3) GO TO 911
      ANORME(NTOT,IQ)=ANORME(NTOT,IQ)/100.
911  NO(NTOT,IQ)=NOO(IQ)
      INO=NOO(IQ)
      IF(INO.NE.2) GO TO 910
      KOBJ=KOBJ+1
910  CONTINUE
      GO TO 999
      4  G(1)=G(1)*1000.
      DO 40 IQ=1,NQ
910  REJ(NTOT,NU,IQ)=G(1)*RHAB(IQ)
      RE(NTOT,NU)=REJ(NTOT,NU,1)
      GO TO 6
      5  BE(NTOT,NU)=G(1)
      DO 50 IQ=1,NQ
      I=IQ+1
910  REJ(NTOT,NU,IQ)=G(I)
      6  NUM(NTOT,NU)=N2
      NEP(NTOT,NU)=N3
      NAL(NTOT,NU)=N4
      CALL ALIM(NOO,G,NST,NCOR,BE,BES,N1,N2,N3,N4,KERR,NTOT,MAX,NK,NU,K)
      IF(KERR.NE.0) GO TO 800
      GO TO 999
998  IF(MAX.LE.NTOT) GO TO 997
800  KERR=KERR+1
997  CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE ALIM(NOO,G,NST,NCOR,BE,BES,N1,N2,N3,N4,KERR,NTOT,MAX,NK
1,NU,K)
      DIMENSION NOO(5),G(5),NST(100),NCOR(100,100),BE(100,10),BES(300,10
1,3)
      NKMAX=300
      EPS=0.01
      DO 1 I=1,N4
      READ(K,1000)M1,M2,M3,M4,M5,( NOO(J),G(J) ,J=1,5)
1000  FORMAT(2I3,3I1,5X,5(I6,F6.5))
      IF(M1.NE.N1.OR.M2.NE.N2.OR.M3.NE.N3.OR.M4.NE.N4) GO TO 900

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

IF(M5.NE.1) GO TO 900
PTOT=0.
DO 10 J=1,5
IF(G(J))900,10,11
11 M=N00(J)
IF(M.LT.1) GO TO 900
IJ=M-MAX
IF(IJ.LE.0) GO TO 12
MAX=M
12 IF(M.NE.1) GO TO 13
NST(NTOT)=1
13 NN=NCOR(NTOT,M)
IF(NN.NE.0) GO TO 14
NK=NK+1
IF(NK.GT.NKMAX) GO TO 900
NCOR(NTOT,M)=NK
NN=NK
14 RES(NN,NU,I)=G(J)*BE(NTOT,NU)
PTOT=PTOT+G(J)
10 CONTINUE
DIF=1.-PTOT
IF(DIF+EPS)900,15,15
15 IF(DIF-EPS)1,1,900
1 CONTINUE
GO TO 901
900 KERR=KERR+1
901 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE BORSUP(NTOT,NDUR,DIV,NAT,NAV,NAM,VOLUTI,BSFS1,RESOUT,S,
1Q)
DIMENSION NAT(100),NAV(100),NAM(100),VOLUTI(100),BSFS1(100),RESOUT
1(100),S(100),Q(100,4)
DO 1 N=2,NTOT
M=NTOT-N+2
NAM(M)=0
BSFS1(M)=RESOUT(M)
INAT=NAT(M)
IF(INAT.NE.1) GO TO 10
BSFS1(M)=BSFS1(M)+S(M)*Q(M,1)
GO TO 11
10 BSFS1(M)=BSFS1(M)+(VOLUTI(M)*1000000.)/(FLOAT(NDUR)*DIV)
11 DO 100 I=M,NTOT
IF(I.EQ.M) GO TO 100
INA=NAV(I)
IF(INA.NE.M) GO TO 100
NAM(M)=1
BSFS1(M)=BSFS1(M)+BSFS1(I)
100 CONTINUE
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE TROPHI(NTOT,KERR,AULT,RPHOS,ALFA,BETA,R08,R09,FE4MIN,FS
14MIN,S,PROF,TR,NAT,NPR,NAM,Q,REJ,NAV,NUT)
DIMENSION BETA(2),R08(4),R09(4),FE4MIN(100),FS4MIN(100),S(100),PRO
1F(100),TR(100),NAT(100),NPR(100),NAM(100),Q(100,4),REJ(100,10,4),
2NAV(100),NUT(100)
DO 1 N=2,NTOT
M=NTOT-N+2

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

    FE4MIN(M)=0.
    IF(NAM(N))11,10,11
10  FS4MIN(M)=S(M)*Q(M,4)
    GO TO 1
11  M1=M+1
    DO 110 MM=M1,NTOT
    MMAV=NAV(MM)
    IF(MMAV.NE.M) GO TO 110
    FE4MIN(M)=FE4MIN(M)+FS4MIN(MM)
110 CONTINUE
    INUT=NUT(M)
    IF(INUT.EQ.0) GO TO 900
    DO 111 IU=1,INUT
111  FE4MIN(M)=FE4MIN(M)+(1.-R08(4)-R09(4))*REJ(M,IU,4)
900  INAT=NAT(M)
    GO TO(101,102,102),INAT
101  FS4MIN(M)=FE4MIN(M)+S(M)*Q(M,4)
    GO TO 103
102  FS4MIN(M)=(1.-RPHOS)*FE4MIN(M)
103  INPR=NPR(M)
    IF(INAT.NE.2.OR.INPR.EQ.0) GO TO 1
    DIF=(BETA(INPR)*S(M)*((PROF(M)/TR(M))*ALFA)/AULT)-FE4MIN(M)
    IF(DIF)104,1,1
104  KERR=KERR+1
    WRITE(6,1000)M
    GO TO(100,200),INPR
100  WRITE(6,1001)
    GO TO 901
200  WRITE(6,1002)
    GO TO 901
    1 CONTINUE
901 CONTINUE
1000 FORMAT(34HILES APPORTS DE PHOSPHORE AJ BIEF ,I3,35H NE PERMETTENT
    1PAS A CE LAC D ETRE )
1001 FORMAT(1H+,71X,10HMESOTROPHE)
1002 FORMAT(1H+,71X,11HOLIGOTROPHE)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE SPLIG(KNOR,CEPU2,CEPU3,CSTOK,CSOUT,ALFA,BETA,CMAX,S,PRO
    IF,TR,BSFS1,RESOUT,NJT,0,ANORME,NO,NAL,NCOR,REJ,BES,KERR,COEFF)
    COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NCO(6)
    1,NLI(6),ALF(45),INAM,INUT,INPR,INST,INRE,INAV,NQ,NTOT,NDUR,AULT,DI
    2V,N,K,L,KE,INAT
    DIMENSION BETA(2),CMAX(4),S(100),PROF(100),TR(100),BSFS1(100),RESO
    IUT(100),NUT(100),Q(100,4),ANORME(100,4),NO(100,4),NAL(100,10),NCOR
    2(100,100),REJ(100,10,4),BES(300,10,3)
    AA=ALF(1)
    AB=ALF(2)
    AC=ALF(3)
    AE=ALF(5)
    AG=ALF(7)
    AH=ALF(8)
    AI=ALF(9)
    AJ=ALF(10)
    AK=ALF(11)
    AL=ALF(12)
    AN=ALF(14)
    AP=ALF(16)
    AS=ALF(19)

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

AU=ALF(21)
AV=ALF(22)
AW=ALF(23)
IF(INAM.EQ.0) GO TO 900
DO 10 IQ=1,NQ
VAL=0.
IF(INUT.EQ.0) GO TO 10
DO 101 IU=1,INUT
101 VAL=VAL+REJ(N,IU,IQ)
10 CALL LIGNE(AE,AE,IQ,N,VAL,0.)
900 IF(INAT.NE.3.OR.INPR.EQ.0) GO TO 901
CALL LIGNE(AE,AV,4,N,0.,0.)
VAL= BETA(INPR)*S(N)*((PROF(N)/TR(N))*ALFA)/AULT
CALL LIGNE(AL,AW,4,N,VAL,VAL)
901 DO 11 IQ=1,NQ
IF(INAT.NE.1) GO TO 110
VAL=Q(N,IQ)*S(N)
GO TO 111
110 VAL=0.
111 IF(IQ.GT.1) GO TO 11
DO 112 M=2,NTOT
NK=NCOR(M,N)
IF(NK.EQ.0) GO TO 112
MU=NUT(M)
DO 113 JU=1,MU
MM=NAL(M,JU)
IF(MM.NE.1) GO TO 113
VAL=VAL-BES(NK,JU,1)
113 CONTINUE
112 CONTINUE
11 CALL LIGNE(AE,AS,IQ,N,VAL,0.)
IF(INAT.NE.3) GO TO 902
DO 12 IQ=1,NQ
RMAJP=CMAX(IQ)*BSFS1(N)
RMAJN=-RMAJP
IF(IQ.GT.1) GO TO 120
CALL LIGNE(AL,AA,IQ,N,RMAJP,0.)
CALL LIGNE(AG,AB,IQ,N,0.,0.)
CALL LIGNE(AL,AC,IQ,N,0.,0.)
GO TO 12
120 CALL LIGNE(AL,AH,IQ,N,0.,0.)
CALL LIGNE(AG,AI,IQ,N,RMAJN,0.)
CALL LIGNE(AL,AJ,IQ,N,RMAJP,0.)
12 CONTINUE
902 IF(INAT.EQ.1) GO TO 903
NNQ=1
GO TO 904
903 NNQ=NQ
904 DO 13 IQ=1,NNQ
Y=ANORME(N,IQ)
IF(Y)13,13,130
130 INQ=NQ(N,IQ)
GO TO (131,132),INQ
131 IF(IQ.EQ.1) GO TO 13
CALL LIGNE(AL,AN,IQ,N,0.,0.)
GO TO 13
132 IF(IQ.EQ.1) GO TO 134
Y=0.
134 CALL LIGNE(AE,AN,IQ,N,Y,0.)

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

13 CONTINUE
  IF(INST.EQ.0) GO TO 905
  VAL=RESOUT(N)
  IK=NCOR(N,1)
  DO 15 IU=1,INUT
  NA=NAL(N,IU)
  IF(NA.NE.1) GO TO 15
  VAL=VAL-HES(IK,IU,1)
15 CONTINUE
  IF(VAL)150,151,151
150 WRITE(6,1000) N
  KERR=KERR+1
  GO TO 907
151 CALL LIGNE(AL,AP,11,N,VAL,VAL)
905 IF(INUT.EQ.0) GO TO 906
  DO 14 IU=1,INUT
  NA=NAL(N,IU)
  IF(NA.EQ.1) GO TO 140
  CALL LIGNE(AE,AU,IU,N,1.,0.)
140 CALL LIGNE(AL,AK,IU,N,0.,1.)
14 CONTINUE
906 IF(N.NE.NTOT) GO TO 907
  SOUT=ALF(41)
  STOK=ALF(42)
  EPU2=ALF(37)
  EPU3=ALF(38)
  EPUR=ALF(39)
  PROV=ALF(40)
  COUT=ALF(43)
  CALL LIFO(SOUT,SOUT,0.,SOUT,0.)
  CALL LIFO(STOK,STOK,0.,STOK,0.)
  CALL LIFO(EPU2,EPU2,0.,EPU2,0.)
  CALL LIFO(EPU3,EPU3,0.,EPU3,0.)
  CALL LIFO(EPUR,EPU2,CEPU2,EPU3,CEPU3)
  CALL LIFO(PROV,EPUR,1.,STOK,CSTOK)
  CALL LIFO(COUT,PROV,1.,SOUT,CSOUT)
  IF(KNOR.EQ.0) GO TO 907
  BNOR=ALF(45)
  CALL LIFO(BNOR,BNOR,0.,BNOR,0.)
  CNOR=ALF(44)
  CALL LIFO(CNOR,BNOR,1.,COUT,COEFF)
907 CONTINUE
1000 FORMAT(51HISOLLICITATION EXCESSIVE DES EAUX SOUTERRAINES ZONE,I3)
  RETURN
  END
  SUBROUTINE LIGNE(A,3,I,N,VAL,VOL)
  COMMON /X(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NC0(6)
  1.NLI(6)
  IF(NL.NE.0.AND.NANT.EQ.N) GO TO 10
  CALL TRAD(N,3,NLI,3)
10 IF(NL.NE.0.AND.IANT.EQ.I) GO TO 1
  CALL TRAD(I,2,NLI,1)
  1 WRITE(K1,1000)A,B,(NLI(J),J=1,5)
  IF(VAL)4,11,4
  4 WRITE(K4,4000)B,(NLI(J),J=1,5),VAL
11 IF(VOL)5,12,5
  5 WRITE(K5,5000)B,(NLI(J),J=1,5),VOL
12 NANT=N
  IANT=I

```

```

NL=NL+1
1000 FORMAT(1H ,A1,2X,A1,5I1)
4000 FORMAT(14H      S              ,A1,5I1,4X,E12.5)
5000 FORMAT(14H      P              ,A1,5I1,4X,E12.5)
RETURN
END
SUBROUTINE LIFO(A,B,B1,C,C1)
COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NC0(6)
1,NLI(6)
IF(B1)1,1,2
1 WRITE(K1,1000)A
GO TO 10
2 WRITE(K1,2000)A,B,B1,C,C1
10 NL=NL+1
1000 FORMAT(4H N ,A4)
2000 FORMAT(4H DN ,A4,6X,A4,6X,E12.5,3X,A4,6X,E12.5)
RETURN
END
SUBROUTINE SPCOLC(ALFA,BETA,XNQ,ALG,S,PROF,TR,ANORME,NO,RPHOS)
COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NC0(6)
1,NLI(6),ALF(45),INAM,INUT,INPR,INST,INRE,INAV,NQ,NTOT,NDUR,AULT,DI
2V,N,K,L,KE,INAT
DIMENSION BETA(2),XNQ(4),ALG(100),S(100),PROF(100),TR(100),ANORME(
1100,4),NO(100,4)
AA=ALF(1)
AB=ALF(2)
AC=ALF(3)
AE=ALF(5)
AH=ALF(8)
AI=ALF(9)
AJ=ALF(10)
AN=ALF(14)
AS=ALF(19)
AV=ALF(22)
AW=ALF(23)
ADA=ALF(27)
ADN=ALF(28)
AFE=ALF(29)
AFS=ALF(30)
AGE=ALF(32)
AGS=ALF(33)
AHE=ALF(34)
ALO=ALF(35)
AUP=ALF(36)
BNOR=ALF(45)
IF(INAM.EQ.0) GO TO 800
DO 20 IQ=1,NQ
CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AE,IQ,N,1.)
GO TO (21,22,23),INAT
21 VAL=-EXP(-(XNQ(IQ)*ALG(N)))
CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AS,IQ,N,VAL)
GO TO 24
22 GO TO (221,20,20,222),IQ
221 VAL=-1.
GO TO 223
222 VAL=RPHOS-1.
223 CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AS,IQ,N,VAL)
GO TO 25
23 IF(IQ.NE.4.OR.INPR.EQ.0) GO TO 230

```

```

CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AV,IQ,N,RPHOS)
CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AW,IQ,N,1.)
230 CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AS,IQ,N,-1.)
GO TO (20,231,231,232),IQ
231 VAL=1.
GO TO 233
232 VAL=RPHOS
233 CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AI,IQ,N,VAL)
CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AJ,IQ,N,VAL)
GO TO 20
24 IF(IQ.GT.1) GO TO 240
DO 241 IIQ=2,NQ
VAL=-ANORME(N,IIQ)
IF(VAL)242,241,241
242 CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AN,IIQ,N,VAL)
241 CONTINUE
GO TO 20
240 Y=ANORME(N,IQ)
IF(Y)20,20,243
243 CALL COLONE(1,AFE,IQ,N,AN,IQ,N,1.)
GO TO 20
25 IF(IQ.NE.4.OR.INPR.EQ.0) GO TO 20
VAL=(BETA(INPR)*S(N)*((PROF(N)/TR(N))*ALFA))/AULT
CALL BORNE(1,AUP,AFE,IQ,N,VAL)
20 CONTINUE
800 IF(INAT.NE.3) GO TO 801
IF(INPR.EQ.0) GO TO 802
CALL COLONE(1,AHE,4,N,AV,4,N,-1.)
VAL=(-1./RPHOS)
CALL COLONE(1,AHE,4,N,AW,4,N,VAL)
802 DO 29 IQ=2,NQ
IF(IQ.NE.4.OR.INPR.EQ.0) GO TO 290
CALL COLONE(1,AGE,IQ,N,AV,IQ,N,-1.)
290 CALL COLONE(1,AGE,IQ,N,AS,IQ,N,1.)
CALL COLONE(1,AGE,IQ,N,AH,IQ,N,1.)
CALL COLONE(1,AGE,IQ,N,AI,IQ,N,-1.)
29 CALL COLONE(1,AGE,IQ,N,AJ,IQ,N,-1.)
801 DO 26 IQ=1,NQ
IF(INAV.LE.1) GO TO 260
CALL COLONE(1,AFS,IQ,N,AE,IQ,INAV,-1.)
260 CALL COLONE(1,AFS,IQ,N,AS,IQ,N,1.)
IF(IQ.GT.1) GO TO 26
IF(INAT.EQ.1) GO TO 261
DO 262 IIQ=2,3
VAL=-ANORME(N,IIQ)
262 CALL COLONE(1,AFS,IQ,N,AS,IIQ,N,VAL)
IF(INAT.EQ.2) GO TO 261
CALL COLONE(1,AFS,IQ,N,AB,IQ,N,1.)
CALL COLONE(1,AFS,IQ,N,AC,IQ,N,1.)
261 Y=ANORME(N,IQ)
IF(Y)26,26,263
263 INO=NO(N,IQ)
GO TO (2631,2632),INO
2631 CALL BORNE(1,ALO,AFS,IQ,N,Y)
GO TO 26
2632 CALL COLONE(1,AFS,IQ,N,AN,IQ,N,1.)
26 CONTINUE
IF(INAT.NE.3) GO TO 805
DO 27 IQ=2,3

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

VAL=ANORME(N,IQ)
27 CALL COLONE(1,AGS,1,N,AS,IQ,N,VAL)
CALL COLONE(1,AGS,1,N,AA,1,N,1.)
CALL COLONE(1,AGS,1,N,AB,1,N,-1.)
CALL COLONE(1,AGS,1,N,AC,1,N,-1.)
805 IF(INAT.EQ.1) GO TO 803
NNQ=1
GO TO 804
803 NNQ=NQ
804 DO 28 IQ=1,NNQ
VAL=ANORME(N,IQ)
IF(VAL)28,28,280
280 INQ=NO(N,IQ)
IF(INQ.EQ.1) GO TO 28
IF(IQ.NE.1) GO TO 281
VAL=1.
GO TO 282
281 VAL=1./VAL
282 CALL COLONE(1,ADN,IQ,N,AN,IQ,N,-1.)
CALL COFO(1,ADN,IQ,N,BNOR,VAL)
CALL COLONE(1,ADA,IQ,N,AN,IQ,N,1.)
CALL COFO(1,ADA,IQ,N,BNOR,VAL)
28 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE SPCOLE(R08,R09,CMAX,VOLUTI,BSFS1,NEP,NAL,NCOR,REJ,BES)
COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NCO(6)
1,NLI(6),ALF(45),INAM,INUT,INPR,INST,INRE,INAV,NQ,NTOT,NDUR,AULT,DI
2V,N,K,L,KE,INAT
DIMENSION R08(4),R09(4),CMAX(4),VOLUTI(100),BSFS1(100),NEP(100,10)
1,NAL(100,10),NCOR(100,100),REJ(100,10,4),BES(300,10,3)
AA=ALF(1)
AB=ALF(2)
AC=ALF(3)
AE=ALF(5)
AH=ALF(8)
AI=ALF(9)
AJ=ALF(10)
AK=ALF(11)
AP=ALF(16)
AS=ALF(19)
AU=ALF(21)
AX=ALF(24)
STOK=ALF(42)
Y=VOLUTI(N)
IF(Y)700,700,701
701 VAL=-((1000000.*Y)/(FLOAT(NDUR)*DIV))
CALL COLONE(2,AX,0,N,AS,1,N,VAL)
IF(INAT.NE.3) GO TO 702
DO 30 IQ=1,NQ
RMAJP=CMAX(IQ)*BSFS1(N)
RMAJN=-RMAJP
IF(IQ.NE.1) GO TO 300
CALL COLONE(2,AX,0,N,AA,IQ,N,RMAJP)
CALL COLONE(2,AX,0,N,AB,IQ,N,RMAJP)
CALL COLONE(2,AX,0,N,AC,IQ,N,RMAJN)
GO TO 30
300 CALL COLONE(2,AX,0,N,AH,IQ,N,RMAJN)
CALL COLONE(2,AX,0,N,AI,IQ,N,RMAJN)

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

```

CALL COLONE(2,AX,0,N,AJ,IQ,N,RMAJP)
30 CONTINUE
702 CALL COFO(2,AX,0,N,STOK,Y)
  IF(INRE.EQ.1) GO TO 703
  AIND=ALF(36)
  GO TO 704
703 AIND=ALF(31)
704 CALL BORNE(2,AIND,AX,0,N,1.)
700 IF(INUT.EQ.0) GO TO 705
  EPU2=ALF(37)
  EPU3=ALF(38)
  SOUT=ALF(41)
  DO 31 IU=1,INUT
    VAL=REJ(N,IU,1)
    INEP=NEP(N,IU)
    NA=NAL(N,IU)
    JU=(8*100)+IU
    DO 310 IQ=1,NQ
      VOL=ROR(IQ)*REJ(N,IU,IQ)
310 CALL COLONE(2,AX,JU,N,AE,IQ,N,VOL)
    CALL COLONE(2,AX,JU,N,AK,IU,N,-1.)
    CALL COFO(2,AX,JU,N,EPU2,VAL)
    IF(INEP.GE.2) GO TO 311
    AIND=ALF(36)
    GO TO 312
311 AIND=ALF(31)
312 CALL BORNE(2,AIND,AX,JU,N,1.)
  JU=(9*100)+IU
  DO 320 IQ=1,NQ
    VOL=ROR(IQ)*REJ(N,IU,IQ)
320 CALL COLONE(2,AX,JU,N,AE,IQ,N,VOL)
  CALL COLONE(2,AX,JU,N,AK,IU,N,1.)
  CALL COFO(2,AX,JU,N,EPU3,VAL)
  IF(INEP.EQ.3) GO TO 321
  AIND=ALF(36)
  GO TO 322
321 AIND=ALF(3)
322 CALL BORNE(2,AIND,AX,JU,N,1.)
  IF(NA.EQ.1) GO TO 31
  DO 330 NAA=1,NA
    JU=(NAA*100)+IU
    DO 331 M=2,NTOT
      NB=NCOR(N,M)
      IF(NB.EQ.0) GO TO 332
      VAL=BES(NB,IU,NAA)
      CALL COLONE(2,AX,JU,N,AS,1,M,VAL)
332 IF(M.NE.N) GO TO 331
      NB=NCOR(N,1)
      IF(NB.EQ.0) GO TO 333
      VAL=BES(NB,IU,NAA)
      CALL COLONE(2,AX,JU,N,AP,1,N,VAL)
333 CALL COLONE(2,AX,JU,N,AU,IU,N,1.)
      IF(M.NE.N.OR.NB.EQ.0) GO TO 331
      CALL COFO(2,AX,JU,N,SOUT,VAL)
331 CONTINUE
      AUP=ALF(36)
      CALL BORNE(2,AUP,AX,JU,N,1.)
330 CONTINUE
31 CONTINUE

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

705 CONTINUE

RETURN

98.

END

SUBROUTINE COLONE(NX,A,J,M,B,I,N,VAL)

COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NCO(6)

1,NLI(6)

IF(VAL)200,201,200

200 IF(IANT.EQ.I) GO TO 10

CALL TRAD(I,2,NLI,1)

10 IF(NANT.EQ.N) GO TO 11

CALL TRAD(N,3,NLI,3)

11 IF(NC.NE.0.AND.MANT.EQ.M) GO TO 12

CALL TRAD(M,3,NCO,4)

12 IF(NC.NE.0.AND.JANT.EQ.J) GO TO 13

CALL TRAD(J,3,NCO,1)

13 GO TO (2,3),NX

2 WRITE(K2,2000)A,(NCO(II),II=2,6),B,(NLI(JJ),JJ=1,5),VAL
GO TO 100

3 WRITE(K3,3000)A,(NCO(II),II=1,6),B,(NLI(JJ),JJ=1,5),VAL

100 JANT=J

MANT=M

IANT=I

NANT=N

NC=NC+1

2000 FORMAT(1H ,3X,A2,5I1,3X,A1,5I1,4X,E12.5)

3000 FORMAT(1H ,3X,A1,6I1,3X,A1,5I1,4X,E12.5)

201 CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE COFO(NX,A,J,M,B,VAL)

COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NCO(6)

1,NLI(6)

IF(JANT.EQ.J) GO TO 10

CALL TRAD(J,3,NCO,1)

10 IF(MANT.EQ.M) GO TO 11

CALL TRAD(M,3,NCO,4)

11 GO TO (2,3),NX

2 WRITE(K2,2000)A,(NCO(II),II=2,6),B,VAL
GO TO 100

3 WRITE(K3,3000)A,(NCO(II),II=1,6),B,VAL

100 JANT=J

MANT=M

NC=NC+1

2000 FORMAT(1H ,3X,A2,5I1,3X,A4,6X,E12.5)

3000 FORMAT(1H ,3X,A1,6I1,3X,A4,6X,E12.5)

RETURN

END

SUBROUTINE BORNE(NX,A,B,J,M,VAL)

COMMON MX(3),K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,NANT,MANT,IANT,JANT,NL,NC,NCO(6)

1,NLI(6)

IF(JANT.EQ.J) GO TO 10

CALL TRAD(J,3,NCO,1)

10 IF(MANT.EQ.M) GO TO 11

CALL TRAD(M,3,NCO,4)

11 GO TO (6,7),NX

6 WRITE(K6,6000)A,B,(NCO(II),II=2,6),VAL
GO TO 100

7 WRITE(K7,7000)A,B,(NCO(II),II=1,6),VAL

100 JANT=J

```

      MANT=M
6000 FORMAT(1H ,A2,11H Z           ,A2,5I1,3X,E12.5)
7000 FORMAT(1H ,A2,11H Z           ,A1,6I1,3X,E12.5)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE COPIE(I,J,A)
      DIMENSION A(20)
      END FILE I
      REWIND I
1   READ(I,10,END=100)(A(N),N=1,20)
      WRITE(J,10)(A(N),N=1,20)
      GO TO 1
100 CONTINUE
10  FORMAT(20A4)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE EDIT(NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2,KOBJ
1,N DUR,NRET,NTOT,NK,NAV,NAT,NUT,NPR,NRE,NEP,NAL)
      DIMENSION NAV(100),NAT(100),NUT(100),NPR(100),NRE(100)
      DIMENSION NEP(100,10),NAL(100,10)
      DOUBLE PRECISION NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX2
      WRITE(6,100)NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,NDUR,NRET,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,AINAX
12
      WRITE(6,200)NTOT,NK,KOBJ
      DO 1 N=2,NTOT
      WRITE(6,1000)N,NAV(N),NAT(N),NPR(N),NRE(N),NUT(N)
      INU =NUT(N)
      IF(INU.EQ.0) GO TO 1
      WRITE(6,2000)(NEP(N,IU),NAL(N,IU),IU=1,INU)
1   CONTINUE
      WRITE(6,300)
100  FORMAT(1H1/1H0,16X,4A8,2(4X,I2),7X,4(A8,2X)//1H ,16X,4HN TOT,18X
1,2HNK,16X,4HKOBJ/)
200  FORMAT(1H ,3(15X,I5)           //1H ,19X,1HN,17X,3HNAV,7X,3HNAT,7X,
13HNPR,7X,3HNRE,7X,3HNUT,7X,23HNPE/NAL PAR UTILISATEUR/)
300  FORMAT(1H1)
1000 FORMAT(1H0,15X,I5,10X,5(5X,I5))
2000 FORMAT(1H+,88X,10(2I2,2X))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE TRAD(N,NL,M,MI)
      COMMON MX(3)
      DIMENSION M(6)
      MX(3)=N/100
      MX(2)=(N-100*MX(3))/10
      MX(1)=N-(100*MX(3))-(10*MX(2))
      DO 1 I=1,NL
      J=MI+NL-I
1   M(J)=MX(I)
      RETURN
      END
/*
//LKED.SYSLIB DD
//          DD DSN=AP038.MPSXV1M6.MODULES,DISP=SHR
//          DD DSN=AP038.MPSX.SYSLIB,DISP=SHR
//LKED.SYSLMOD DD DSN=DOE95.NORM.LIB,DISP=(OLD,KEEP)
//LKED.SYSIN DD *
      INSERT READCOMM
      ENTRY MAIN

```

FIGURE 9 (SUITE): Programme SCRIBE

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

```

*****
*
*
*
*
*
*
*
*
*****

DIMENSION FE(100,4),FS(100,4),X0(100)          ,X8(100,10),X9(100,10
1),X(100,10,3),VALEUR(30)
DIMENSION Q(100,4)
DIMENSION
NAT(100),NUT(100),NPR(100),NAV(100),
INST(100),NAM(100),NRE(100)
DIMENSION NAL(100,10),NEP(100,10),NUM(100,10)
DIMENSION ANORME(100,4),VALOBT(100,4),NO(100,4)
DIMENSION ALG(100),S(100),PROF(100),TR(100),VOLUTI(100),RESOUT(100
1),BETA(2),SOUTEX(100)
DOUBLE PRECISION NOMBF(100,4),NOMUT(100,10,4),NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,
1AOBJ1,AINAX1,NOM,AOBJ2,AINAX2
COMMON BE(100,10),BES(300,10,3),NCOR(100,100)
INTEGER UNITE
CALL GETARG(KE, UNITE,KREV,L)
READ (KE)NAT,NUT,NPR,NAV,NST,NAM,NAL,NEP,NUM,ALG,S,PROF,TR,VOLUTI,
1RESOUT,ANORME,NO,Q,BE,BES,NCOR,ALFA,BETA,CEPU2,CEPU3,CSTOK,CSOIT,N
2K,NRE,NTOT,KOBJ,NDUR,NRET,NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,AOBJ1,AINAX1,AOBJ2,
3AINAX2
NQ=4
NUTOT=0
DO 2 N=2,NTOT
NU=NUT(N)
NUTOT=NUTOT+NU
READ(L,8000)(NOMBF(N,I),I=1,4)
IF(NU.EQ.0) GO TO 2
DO 22 IU=1,NU
22 READ(L,8000)(NOMUT(N,IU,I),I=1,4)
2 CONTINUE
JP=3
CALL POSITN(UNITE,INDIC)
DO 3 I=1,2
3 CALL ARRAY(UNITE,INDIC,NOM)
DO 30 N=2,NTOT
INST=NST(N)
IF(INST.EQ.0) GO TO 30
CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
SOUTEX(N)=VALEUR(JP)
INU=NUT(N)
IF(INU.EQ.0) GO TO 30
SUP=0.
DO 33 IU=1,INU

```

FIGURE 10: Programme EDITION

```

    INAL=NAL(N,II)
    IF(INAL.NE.1) GO TO 33
    NNK=NCOR(N,1)
    IF(NNK.EQ.0) GO TO 33
    SUP=SUP+BES(NNK,IU,1)
33  CONTINUE
    SOUTEX(N)=SOUTEX(N)+SUP
30  CONTINUE
    DO 340 II=1,7
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    GO TO (341,342,343,344,345,340,346),II
341 BOUT=VALEUR(JP)
    GO TO 340
342 STOK=VALEUR(JP)
    GO TO 340
343 EPU2=VALEUR(JP)
    GO TO 340
344 EPU3=VALEUR(JP)
    GO TO 340
345 EPUR=VALEUR(JP)
    GO TO 340
346 COUT=VALEUR(JP)
340 CONTINUE
    IF(KOBJ.EQ.0) GO TO 3399
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    XXXX=VALEUR(JP)
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    BORM=VALEUR(JP)
3399 CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    IF(INDIC.NE.1) GO TO 998
    CALL ARRAY(UNITE,INDIC,VALEUR)
    DO 3000 N=2,NTOT
    INAM=NAM(N)
    IF(INAM.EQ.0) GO TO 3003
    DO 3001 IQ=1,NQ
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
3001 FE(N,IQ)=VALEUR(JP)
3003 DO 3002 IQ=1,NQ
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
3002 FS(N,IQ)=VALEUR(JP)
3000 CONTINUE
    DO 2000 N=2,NTOT
    INUT=NUT(N)
    Y=VOLUTI(N)
    IF(Y)999,2004,2002
2002 CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    X0(N)=VALEUR(JP)
2004 IF(INUT.EQ.0) GO TO 2000
    DO 2100 IU=1,INUT
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    XR(N,IU)=VALEUR(JP)
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
    X9(N,IU)=VALEUR(JP)
    INAL=NAL(N,IU)
    IF(INAL.EQ.1) GO TO 2100
    DO 2200 J=1,INAL
    CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
2200 X(N,IU,J)=VALEUR(JP)
2100 CONTINUE

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
IF(INDIC.NE.1) GO TO 998
CALL ARRAY(UNITE,INDIC,NOM)
IF(INDIC.NE.1) GO TO 998
DO 4 N=2,NTOT
  INAM=NAM(N)
  INAT=NAT(N)
  VALOBT(N,1)=FS(N,1)
  IF(INAT.NE.1) GO TO 4
  IF(INAM.EQ.0) GO TO 41
  DO 40 IQ=2,NQ
    VALOBT(N,IQ)=FE(N,IQ)/FE(N,1)
    IF(IQ.NE.3) GO TO 40
    VALOBT(N,IQ)=VALOBT(N,IQ)*100.
    ANORME(N,IQ)=ANORME(N,IQ)*100.
40 CONTINUE
  GO TO 4
41 DO 42 IQ=2,NQ
  VALOBT(N,IQ)=FS(N,IQ)/FS(N,1)
  IF(IQ.NE.3) GO TO 42
  VALOBT(N,IQ)=VALOBT(N,IQ)*100.
  ANORME(N,IQ)=ANORME(N,IQ)*100.
42 CONTINUE
4 CONTINUE
  WRITE(6,4000)
  WRITE(6,5000)
  WRITE(6,4400)
  WRITE(6,5001)
  WRITE(6,5002) NOM1,NOM2,NOM3,NOM4
  WRITE(6,5001)
  WRITE(6,4400)
  WRITE(6,5003)
  WRITE(6,4400)
  WRITE(6,5004) NOM1,NOM2,NOM3,NOM4,NRET,NDUR
  WRITE(6,5009) NUTOT
  WRITE(6,5003)
  DO 501 N=2,NTOT
    NU=NUT(N)
    IF(NU.EQ.0) GO TO 501
    DO 502 IU=1,NU
502 WRITE(6,5300) N,NUM(N,IU),(NOMUT(N,IU,I),I=1,4),BE(N,IU)
501 CONTINUE
  WRITE(6,5007) AINAX1,AORJ1
  IF(KREV.EQ.0) GO TO 503
  WRITE(6,5008) AINAX2,AORJ2
503 WRITE(6,5010)
  COUT=COUT/1000000.
  EPUR=EPUR/1000000.
  WRITE(6,5001)
  WRITE(6,5100) EPU2
  WRITE(6,5101) EPU3
  WRITE(6,5102) EPUR
  WRITE(6,5103) STOK
  WRITE(6,5104) BOUT
  WRITE(6,5105) COUT
  IF(KNOR.EQ.0) GO TO 500
  WRITE(6,5106) BORM
500 WRITE(6,5200)

```

```

WRITE(6,5001)
WRITE(6,4400)
DO 400 N=2,NTOT
INST=NST(N)
INAT=NAT(N)
INUT=NUT(N)
INPR=NPR(N)
SPOT=RESOUT(N)
SEXP=SOUTEX(N)
WRITE(6,4000)
WRITE(6,4001)N,(NOM3F(N,I),I=1,4),NAV(N)
GO TO (100,200,300),INAT
100 WRITE(6,4101)ALG(N),S(N)
CALL NOROBJ(N,NQ,NO,KT)
IF(KT.EQ.0) GO TO 199
WRITE(6,5003)
CALL PGSIV(N,NQ ,INAT,ANORME)
199 WRITE(6,4102)
CALL PGSIV(N,NQ ,INAT,VALOBT)
GO TO 401
200 WRITE(6,4201)S(N),PROF(N),TR(N)
CALL NOROBJ(N,1,NO,<KT)
IF(INPR.EQ.0) GO TO 298
298 IF(KT.EQ.0.OR.INPR.EQ.0) GO TO 299
WRITE(6,5003)
CALL PGSIV(N,1,2,ANORME)
IF(INPR.EQ.0) GO TO 299
GO TO (201,202),INPR
201 WRITE(6,4202)
GO TO 299
202 WRITE(6,4203)
299 WRITE(6,4102)
CALL PGSIV(N,1,INAT,VALOBT)
VAL=FE(N,4)
BOR2=(BETA(2)*S(N)*((PROF(N)/TR(N))**ALFA))/(2.4*3.6*3.65)
DIF2=BOR2-VAL
IF(DIF2)204,205,205
205 WRITE(6,4203)
GO TO 208
204 BOR1=(BETA(1)*S(N)*((PROF(N)/TR(N))**ALFA))/(2.4*3.6*3.65)
DIF1=BOR1-VAL
IF(DIF1)206,207,207
207 WRITE(6,4202)
GO TO 208
206 WRITE(6,4204)
208 VAL=X0(N)-0.5
IF(VAL)209,209,210
210 WRITE(6,4205)VOLUTI(N)
209 GO TO 401
300 VAL=X0(N)-0.5
IF(VAL)301,999,200
301 WRITE(6,4301)VOLUTI(N)
401 CALL SOUT(SPOT,SEXP)
IF(INUT.EQ.0) GO TO 499
DO 1 IU=1,INUT
INAL=NAL(N,IU)
INEP=NEP(N,IU)
WRITE(6,1000)NUM(N,IU),(NOMJT(N,IU,I),I=1,4)
WRITE(6,1001)BE(N,IJ),INAL

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

IF(INAL.NE.1) GO TO 11
CALL FRAC(NTOT,N,IU,1)
GO TO 12
11 DO 10 I=1,INAL
VAL=X(N,IU,I)-0.5
IF(VAL)10,10,13
13 CALL FRAC(NTOT,N,IU,I)
GO TO 12
10 CONTINUE
12 WRITE(6,1002)
GO TO(14,15,16),INEP
14 WRITE(6,1003)
GO TO 17
15 WRITE(6,1004)
GO TO 17
16 WRITE(6,1005)
GO TO 1
17 VAL=X9(N,IU)-0.5
IF(VAL)18,18,19
19 WRITE(6,1006)
GO TO 1
18 VAL=X8(N,IU)-0.5
IF(VAL)20,20,21
21 IF(INEP.NE.1) GO TO 20
WRITE(6,1007)
GO TO 1
20 WRITE(6,1008)
1 CONTINUE
499 WRITE(6,5001)
WRITE(6,4400)
400 CONTINUE
WRITE(6,5001)
WRITE(6,4400)
GO TO 997
998 WRITE(6,9980)
GO TO 997
999 WRITE(6,9990)
997 CONTINUE
1000 FORMAT(24H0***** UTILISATEUR ,I4,2X,4A8,34(1H*))
1001 FORMAT(1H0,12X,24H__ALIMENTATION BESOIN=,F7.2,7H M3/S ,I1,23H P
1LAN(S) 0 ALIMENTATION/)
1002 FORMAT(1H0,12X,27H---EPURATION EXISTANTE: )
1003 FORMAT(1H+,40X,5HNULLLE/30X,10HPROPOSEE : )
1004 FORMAT(1H+,40X,10HSECONDAIRE/30X,10HPROPOSEE : )
1005 FORMAT(1H+,40X,9HTERTIAIRE/30X,15HPROPOSEE : IDEM)
1006 FORMAT(1H+,40X,8HTERTIAIRE)
1007 FORMAT(1H+,40X,10HSECONDAIRE)
1008 FORMAT(1H+,40X,4HIDEM)
4000 FORMAT(1H1,95(1H*))
4001 FORMAT(1H0,10X,9HRIEF NO ,I3,20X,4A8,6X,5HAVAL=,I3//96(1H*))
4101 FORMAT(1H0,8HLONGUEUR,8X,F8.3,3H KM,17X,11HSURFACE BV ,F8.3,4H KM2
1//)
4102 FORMAT(12H RESULTAT(S))
4201 FORMAT(9H0SURFACE ,F8.2,17H KM2 PROF.MOY. ,F8.1,23H M TEMPS 0
1E RENOUV. ,F8.2,7H ANNEES//)
4202 FORMAT(1H+,47X,16H/ MESOTROPHE)
4203 FORMAT(1H+,47X,17H/ OLIGOTROPHE)
4204 FORMAT(1H+,47X,14H/ EUTROPHE)
4205 FORMAT(1H0,10X,29HUTILISATION EN RESERVOIR DE ,F8.1,17H MILLIONS

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

1 DE M3).
4206 FORMAT(11H+      NORME)
4301 FORMAT(1H0/10X,37HLA CAPACITE DE RESERVOIR DE CE SITE =,F8.1,35H
1MILLIONS DE M3 N'EST PAS UTILISEE)
4302 FORMAT(1H0/9H OBJECTIF)
4400 FORMAT(1H,95(1H*))
5000 FORMAT(1H ,34X,28HPROLOBEC MODELE DE SELECTION)
5001 FORMAT(1H0)
5002 FORMAT(1H ,34X,4A8)
5003 FORMAT(1H )
5004 FORMAT(1H0,19X,39HLE MODELE EST APPLIQUE AU BASSIN DE LA ,4A8/13X,
154HSOUMIS A UN ETIAGE DONT LE TEMPS DE RETOUR EST EGAL A ,I2,12H A
2NS ET DONT/13X,21HLA DUREE EST EGALE A ,I3,6H JOURS)
5007 FORMAT(1H0,19X,16HON A CHERCHE A ,A3,28HIMISER LA FONCTION OBJECT
IIF ,A8)
5008 FORMAT(1H ,12X,82HPLUSIEURS SOLUTIONS ETANT EQUIVALENTES SELON CE
ICRITERE NOUS AVONS RECHERCHE CELLE/13X,4HQUI ,A3,27HIMISE LA FONCT
TION OBJECTIF ,A8)
5009 FORMAT(1H0,19X,12HON A RETENU ,I3,31H UTILISATEURS D'EAU IMPORTAN
ITS)
5010 FORMAT(1H0,19X,59HLES BESOINS EN EAU EXPRIMES DES INDUSTRIES ET MU
NICIPALITES/13X,15HSONT SATISFAITS)
5100 FORMAT(1H ,30X,6HEPU2 =,F9.2,5H M3/S)
5101 FORMAT(1H ,30X,6HEPU3 =,F9.2,5H M3/S)
5102 FORMAT(1H ,30X,6HEPUR =,F9.2,14H MILLIONS DE E)
5103 FORMAT(1H ,30X,6HSTOK =,F9.4,15H MILLIONS DE M3)
5104 FORMAT(1H ,30X,6HSOJT =,F9.2,5H M3/S)
5105 FORMAT(1H ,30X,6HCOU2 =,F9.2,14H MILLIONS DE E)
5106 FORMAT(1H ,30X,6HOBJ =,F9.2,5H M3/S)
5200 FORMAT(1H0,19X,56HEPU2 DEBIT DES REJETS SOUMIS A UNE EPURATION SE
CONDAIRE/20X,55HEPU3 DEBIT DES REJETS SOUMIS A UNE EPURATION TERT
ZIAIRE/20X,38HEPUR COUT DE L'EPURATION ARTIFICIELLE/20X,26HSTOK V
30LUME D'EAU STOCKEE/20X,26HSOJT DEBIT POMPE EN NAPPE/20X,51HCOU2
4 COUT TOTAL DE L'AMENAGEMENT PROPOSE DU BASSIN/20X,66HOBJ SOMME
SPONDEREE DES VALEURS ABSOLUES DES ECARTS AUX OBJECTIFS)
5300 FORMAT(1H ,19X,I3,2X,I4,2X,4A8,2X,F6.2,5H M3/S)
8000 FORMAT(1X,4A8)
9980 FORMAT(1H0,26HFIN DE FICHER PAS TROUVEE)
9990 FORMAT(1H0,19HERREUR DANS EDITION)
RETURN
END
SUBROUTINE PGSIV(N,NQE,INAT,ANORME)
DIMENSION ANORME(100,4)
DO 1 IQ=1,NQE
VAL=ANORME(N,IQ)
IF(VAL)1,1,10
10 GO TO(11,12,13,14),IQ
11 WRITE(6,101)VAL
IF(INAT.EQ.1) GO TO 1
WRITE(6,105)
GO TO 1
12 WRITE(6,102)VAL
GO TO 1
13 WRITE(6,103)VAL
GO TO 1
14 WRITE(6,104)VAL
1 CONTINUE
101 FORMAT(1H+,16X,F8.3,5H M3/S)
102 FORMAT(1H+,36X,F8.0,9H MG D80/L)

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

103 FORMAT(1H+,56X,F8.0,11H C.F./100ML)
104 FORMAT(1H+,76X,F8.3,9H MG P / L)
105 FORMAT(1H+,30X,12HA L EXUTOIRE)
RETURN
END
SUBROUTINE FRAC(NTOT,N,IU,I)
COMMON BE(100,10),BES(300,10,3),NCOR(100,100)
NC=0
DO 1 NN=1,NTOT
NK=NCOR(N,NN)
IF(NK.EQ.0) GO TO 1
VAL=BES(NK,IU,I)
IF(VAL)1,1,10
10 VAL=(BES(NK,IU,I)/BE(N,IU))*100.
IF(NN.EQ.1) GO TO 11
WRITE(6,100)VAL,NN
GO TO 1
11 *WRITE(6,101)VAL
IF(NC.NE.0) GO TO 1
*WRITE(6,102)
NC=NC+1
1 CONTINUE
100 FORMAT(1H ,34X,F5.1,20H% PROVENANT DU BIEF ,I3)
101 FORMAT(1H ,34X,F5.1,33H% PROVENANT DES EAUX SOUTERRAINES)
102 FORMAT(1H+,20X,12HPLAN PROPOSE)
RETURN
END
SUBROUTINE NOROBJ(N,NQ,NO,K)
DIMENSION NO(100,4)
K=0
DO 9 IQ=1,NQ
INO=NO(N,IQ)
IF(INO.EQ.0) GO TO 9
GO TO (1,2,3,4),IQ
1 IF(INO.EQ.2) GO TO 10
WRITE(6,101)
GO TO 90
10 WRITE(6,102)
GO TO 90
2 IF(INO.EQ.2) GO TO 20
WRITE(6,201)
GO TO 90
20 WRITE(6,202)
GO TO 90
3 IF(INO.EQ.2) GO TO 30
WRITE(6,301)
GO TO 90
30 WRITE(6,302)
GO TO 90
4 IF(INO.EQ.2) GO TO 40
WRITE(6,401)
GO TO 90
40 WRITE(6,402)
90 K=K+1
9 CONTINUE
101 FORMAT(1H+,16X,8H NORME)
102 FORMAT(1H+,16X,8H0BJECTIF)
201 FORMAT(1H+,36X,8H NORME)
202 FORMAT(1H+,36X,8H0BJECTIF)

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

301 FORMAT(1H+,56X,8H  NORME)
302 FORMAT(1H+,56X,8H0BJECTIF)
401 FORMAT(1H+,76X,8H  NORME)
402 FORMAT(1H+,76X,8H0BJECTIF)
RETURN
END
SURROUTINE SOUT(RESOUT,SOUTEX)
IF(RESOUT)10,10,20
20 IF(SOUTEX)30,30,40
30 WRITE(6,300)RESOUT
GO TO 10
40 WRITE(6,400)SOUTEX,RESOUT
10 CONTINUE
300 FORMAT(53H0PAS DE RECOURS AUX EAUX SOUTERRAINES, DISPONIBILITE=,F8
1.3,5H M3/S)
400 FORMAT(29H0EAUX SOUTERRAINES UTILISEES=,F8.3,20H M3/S,DISPONIBILIT
1E=,F8.3,5H M3/S)
RETURN
END

/*
//LKED.SYSLIB DD
//          DD DSN=AP038.MPSXV146.MODULES,DISP=SHR
//          DD DSN=AP038.MPSX.SYSLIB,DISP=SHR
//LKED.SYSLMOD DD DSN=DOE85.NORM.LIB,DISP=(OLD,KEEP)
//LKED.SYSIN DD *
INSERT READCOMM
ENTRY MAIN
NAME EDITION(R)

/*
// DOE85-NORM,2), 'FIXLICO'
//STEP EXEC COPYLIB,DSNAME='DOE85.NORM.LIB',SPACE='50,,2'
// EXEC FORTHCL
//FORT.SYSIN DD *
    DIMENSION A(20),VALEUR(30)
    INTEGER UNITE
    DOUBLE PRECISION NOM
    DATA BS,BL/2HBS,1H /
    CALL GETARG(UNITE,K1,K2,K3,K4,MODIF)
    CALL POSITN(UNITE,INDIC)
    CALL ARRAY(UNITE,INDIC,NOM)
    KTAB=0
    MODIFL=0
    MODIFC=0
1 CALL ARRAY(UNITE,INDIC,NOM)
  IF(INDIC.EQ.1) GO TO 900
  KTAB=KTAB+1
  WRITE(6,999)(VALEUR(I),I=1,5)
999 FORMAT(1H0,2A4.42,2F3.3)
  2 CALL VECTOR(UNITE,INDIC,VALEUR)
  IF(INDIC.EQ.1) GO TO 1
  DIF=VALEUR(3)-BS
  IF(DIF)21,20,21
  21 IF(VALEUR(5))20,2,20
  20 GO TO (201,202),KTAB
  201 DIF=VALEUR(2)-BL
  IF(DIF)2010,1,2010
2010 CALL REVLI(MODIFL,VALEUR,K2,K3)
  GO TO 2
  202 CALL REVCO(MODIFC,VALEUR,K4)

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

GO TO 2
900 CONTINUE
IF(MODIFL.EQ.0.AND.MODIFC.EQ.0) GO TO 901
REWIND K1
WRITE(K1,1000)
IF(MODIFL.EQ.0) GO TO 902
CALL COPIE(K2,K1,A)
CALL COPIE(K3,K1,A)
902 IF(MODIFC.EQ.0) GO TO 903
CALL COPIE(K4,K1,A)
903 WRITE(K1,1001)
901 MODIF=MODIFL+MODIFC
CALL PUTARG(UNITE,K1,K2,K3,K4,MODIF)
1000 FORMAT(19HNAME          PROLO)
1001 FORMAT(6HENDATA)
RETURN
END
SUBROUTINE REVLI(MODIFL,VALEUR,K2,K3)
DIMENSION VALEUR(5)
IF(MODIFL.NE.0) GO TO 10
REWIND K2
REWIND K3
WRITE(K2,1001)
WRITE(K3,2001)
10 WRITE(K2,1000) VALEUR(1),VALEUR(2)
WRITE(K3,2000) VALEUR(1),VALEUR(2),VALEUR(4)
MODIFL=MODIFL+1
1000 FORMAT(4H E ,2A4)
1001 FORMAT(4HROWS/8H MODIFY)
2000 FORMAT(14H S ,2A4,2X,E18.5)
2001 FORMAT(3HRHS/8H MODIFY)
RETURN
END
SUBROUTINE REVCO(MODIFC,VALEUR,K4)
DIMENSION VALEUR(5)
IF(MODIFC.NE.0) GO TO 10
REWIND K4
WRITE(K4,1001)
10 WRITE(K4,1000)VALEUR(1),VALEUR(2),VALEUR(4)
MODIFC=MODIFC+1
1000 FORMAT(5H FX Z,9X,2A4,2X,E12.5)
1001 FORMAT(6HBOUNDS/8H MODIFY)
RETURN
END
SUBROUTINE COPIE(I,J,A)
DIMENSION A(20)
END FILE I
REWIND I
1 READ(I,10,END=100)(A(N),N=1,20)
WRITE(J,10)(A(N),N=1,20)
GO TO 1
100 CONTINUE
10 FORMAT(20A4)
RETURN
END
/*
//LKED.SYSLIB DD
// DD DSN=AP03B.MPSXV1M6.MODULES,DISP=SHR
// DD DSN=AP03B.MPSX.SYSLIB,DISP=SHR

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

//LKED.SYSLMOD DD DSN=DOE85.NORM.LIB,DISP=(OLD,KEEP)
//LKED.SYSIN DD *
  INSERT READCOMM
  ENTRY MAIN
  NAME FIXLICO(R)
/*
// DOE85-NORM,2,10),'ASCOT',MSGLEVEL=(1,1)
// EXEC MPS,GTIME=2,GRGN=270K
//MPS.SYSIN DD *
  PROGRAM('NO')
  INITIALZ
  A0 DC('0')
  A1 DC('1')
  A2 DC('2')
  A3 DC('3')
  A4 DC('4')
  A5 DC('5')
  A6 DC('6')
  A7 DC('7')
  A8 DC('8')
  A9 DC('9')
  CHIF DC(0)
  N DC(0)
  ADR DC(0)
  KERR DC(0)
  KNOR DC(0)
  NDUR DC(0)
  NRET DC(0)
  K1 DC(0)
  K2 DC(0)
  K3 DC(0)
  K4 DC(0)
  MODIF DC(0)
  UNITE DC(20)
  KE DC(0)
  L DC(0)
  Y DC(0)
  AOBJ2 DC(' ')
  AINAX2 DC(' ')
  KREV DC(0)
  MOVE(XRHS,'S')
  MOVE(XBOUND,'Z')
  MOVE(XRANGE,'P')
  MOVE(XDATA,'PROLO')
  SCRIBE(KE,K1,K2,K3,K4,KERR,KNOR,NDJR,NRET,XOBJ,XMINMAX,AOBJ2,A*
INAX2,L)
  WRITE('SCRIBE')
  IF(KERR.NE.0,FIN)
  EXEC(NOMPR)
  CONVERT('FILE','FT10F001','CHECK')
  XGUARDPF=1
  OPT EXEC(OPTIM)
  IF(KREV.NE.0,EDIT)
  ASSIGN('FMPS','FT20F001','COMM')
  PREPOUT('FMPS')
  SOLUTION('FILE','FMPS','RSECTION','2/3/4S/8S','CSECTION','2/3/4
4S/8S')
  FIXLICO(UNITE,K1,K2,K3,K4,MODIF)
  WRITE('FIXLICO')

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```

IF (MODIF.EQ.0,EDIT)
MOVE (XOBJ,AOBJ2)
MOVE (XMINMAX,AINAX2)
MOVE (XOLDNAME,XPBNAME)
REVISE ('FILE','FT10F001','CHECK')
KREV=KREV+1
MOVE (OPZSTART,'RESTORE')
MOVE (OPZRESTR,'BAZ')
GOTO (OPT)
OPTIM SETUP
MOVE (OPZSAVE,'BAZ')
OPTIMIZE
SOLUTION
STEP
EDIT ASSIGN ('FMPS','FT20F001','COMM')
PREPOUT ('FMPS')
SOLUTION ('FILE','FMPS','RSECTION','2/4S','CSECTION','2/4S','RM*
ASKS','IP*****','*****',' ','CMASKS','FE*****','FS*****','X*****',' ')
FREECORE
EDITION (KE,UNITE,KREV,L)
WRITE ('EDITION')
GOTO (FIN)
NOMP8 MOVE (XPBNAME,'PB      ')
MVADR (ADR,XPBNAME)
ADR=ADR+2
N=KNOR
EXEC (DIV)
N=NDUR
EXEC (DIV)
N=NRET
EXEC (DIV)
STEP
DIV Y=N/10
EXEC (CHERCHE)
Y=(N-(Y*10))
EXEC (CHERCHE)
STEP
CHERCHE IF (Y.EQ.0,AD0)
IF (Y.EQ.1,AD1)
IF (Y.EQ.2,AD2)
IF (Y.EQ.3,AD3)
IF (Y.EQ.4,AD4)
IF (Y.EQ.5,AD5)
IF (Y.EQ.6,AD6)
IF (Y.EQ.7,AD7)
IF (Y.EQ.8,AD8)
IF (Y.EQ.9,AD9)
AD0 MVADR (CHIF,AD0)
GOTO (SUBSTIT)
AD1 MVADR (CHIF,AD1)
GOTO (SUBSTIT)
AD2 MVADR (CHIF,AD2)
GOTO (SUBSTIT)
AD3 MVADR (CHIF,AD3)
GOTO (SUBSTIT)
AD4 MVADR (CHIF,AD4)
GOTO (SUBSTIT)
AD5 MVADR (CHIF,AD5)
GOTO (SUBSTIT)

```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

```
AD6 MVADR(CHIF, A6)
    GOTO(SURSTIT)
AD7 MVADR(CHIF, A7)
    GOTO(SURSTIT)
AD8 MVADR(CHIF, A8)
    GOTO(SURSTIT)
AD9 MVADR(CHIF, A9)
    GOTO(SURSTIT)
SURSTIT MVIND2(ADR, CHIF, 1)
        ADR=ADR+1
        STEP
FIN PROBLEMS('PROBFILE')
EXIT
PEND
```

```
/*
```

FIGURE 10 (SUITE): Programme EDITION

BIBLIOGRAPHIE

- ASKEW, A.J. (1974). "Optimum reservoir operating policies and the imposition of a reliability constraint". WRR, Vol. 10 (1), fév., 6 p.
- BALAS, E. (1965). "An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables". Operations Research, july-august, 30 p.
- BEDARD, L.R. (1972). "Uncertainties in reservoir and lake management". General report. Int. Symp. on uncertainties in hydrologic and water resources systems, dec., 10 p.
- BEVERIDGE, G. S.G., SCHECHTER, R.S. (1970). "Optimization: theory and practice". McGraw Hill Book Cie, McGraw Hill Series in Chemical Engineering, 773 p.
- BROWN, A. (1975). "Programmation linéaire". Sciences de l'administration, Université Laval, 91 p.
- BURAS, N. (XXXX). "Conjunctive operation of a surface reservoir and a ground water aquifer".
- BURAS, N. (1963). "Conjunctive operation of dams and aquifers". Journal of the Hydraulics Division, nov., No. HY6, 21 p.
- BUTCHER, W.S., SUNDAR, A. (1973). "Optimal operation of multi reservoir water resources systems: Introduction; Chap. 2 - Optimal operation of water resources systems; Chap. 6 - Inputs to the model". Hydraulic Eng. Lab., Texas, Univ., Tech. Rep. No. HYD-19-7301 CRWR-100, sept., 136 p.
- CHATURVEDI, M.C. (1973). "Planning methodology and first stage model of a large river basin". Int. Assoc. for Hydraulic Research, 15th Congress, Istambul, Vol. 4, 10 p.
- CHOW, V.T., MEREDITH, D.D. (1969). "Water resources systems analysis - Part 2: annotated bibliography on programming techniques; Chap. 1 - Linear programming". Dept. of Civil Eng., Univ. of Illinois, july, 12 p.

- CLARKE, R.T. (1972). "Stochastic and statistical models. General report". Int. Symp. on uncertainties in hydrologic and water resources systems, dec., 32 p.
- COMMISSION D'ETUDE DES PROBLEMES JURIDIQUES DE L'EAU. (1970). "Rapport de la Commission d'étude des problèmes juridiques de l'eau". M.R.N., octobre, 459 p.
- COQUAND, R., HALBRONN, G. (1970). "Utilisation des ressources en eau d'un bassin dans le cadre de l'aménagement du territoire - Optimisation de l'ensemble d'un aménagement hydraulique intégré - Programmation linéaire". Société hydrotechnique de France - Onzièmes journées de l'hydraulique, Paris, 10 p.
- COUTURE, M. (1975). "Note préliminaire concernant la méthodologie d'aménagement". Juin, 10 p.
- D.G.R.S.T. (XXXX). "Gestion des eaux - Modèle de prévision". Modèle Prolo, 9 p.
- DALMAYRAC, M., KENNDU, M.M., MASBERNAT (1973). "Simulation de la qualité sur un grand bassin". Lab. Associé au C.N.R.S., juillet, 16 p.
- DAVIDSON, A.J. (1971). "The Canada Water Act". Proceedings of Conference "Management of Canada's Water Resources". A.C.E.C., E.I.C., C.W.R.A., 15-16 février, pp. 16-24.
- DE LUCIA, R.J., ROGERS, P. (1972). "North Atlantic regional supply model". WRR, Vol. 8(3), june, (760-765).
- DE NEUVILLE, R., SCHAAKE, JR., J., STAFFORD, J.H. (1971). "Systems analysis of water distribution networks". Journal of the Sanitary Engineering Division (ASCE), Vol. 97, SA6, déc.
- DEININGER, R.A. (1965). "Water quality management: the planning of economically optimal pollution control systems". Proceedings, First Annual Meeting, AWRA, déc.
- DEININGER, R.A., CEMBROWICZ, R.G., EMSELLEM, Y., SPOFFORD JR. W.O., (1973). "Models for environmental pollution control". (Ch. 7) "Models of water supply systems". (Ch. 9) "Water resources management". (Ch. 19) "Total environmental models". Ann Arbor Science Publ., 448 p.

- DELISLE, A., LOUCHARD, L., TREMBLAY, A.R. (1975). "Plan d'affectation des eaux d'un bassin hydrographique". Programme de travail. Bassin de la Saint-François. M.R.N. - Dir. Gen. des Eaux - Dir. de l'Aménagement. No. SF-1, 14 mars, 58 p.
- DELISLE, A., LOUCHARD, L., TREMBLAY, A.R. (1975). "Plan d'affectation des eaux d'un bassin hydrographique. Programme de travail. Annexe 3". Bassin de la Saint-François. M.R.N. - Dir. Gén. des Eaux - Dir. de l'Aménagement, février, 21 p.
- DELISLE, André (1974). "Gestion de l'eau: Optimisation technique et socio-politique de l'utilisation de la ressource eau d'un bassin". Thèse de maîtrise, INRS-Eau, février, 184 p.
- DE LUCIA, R.J., Alii. (1971). "Systems Analysis in water resources planning". Meta Systems Inc., Cambridge, Mass, juillet, 408 p.
- DORFMAN, R. (1965). "Formal models in the design of water resource systems". WRR, Vol. 1(3), 8 p.
- DREYFUS, A., HUBERT, P., RAMAIN, P. (1975). "PROLO: Modèle de prévision pour l'aménagement et la gestion intégrés d'un grand bassin hydrographique". La Houille Blanche, No. 1, 20 p.
- DREYFUS, A., HUBERT P. (1975). "Aménagement et gestion des ressources en eau du bassin Adour-Garonne". Premiers résultats numériques - LHM/RD74/7, 19 p.
- EVENSON, D.E., MOSELEY, J.C. (1970). "Simulation/Optimization techniques for multi-basin water resource planning". WRB, Vol. 6(5), Sept-Oct, 12 p.
- FAURE, R. (1968). "Eléments de la recherche opérationnelle". Chap. 6 "Programmation linéaire: les programmes de transport - Eléments de programmation dynamique". Gauthier-Villars, Paris, 317 p.
- FERGUSON, J.R., LOUCKS, D.P. (1972). "Models for managing metropolitan surface water systems". Volume 4. Cornell Univ. Water Res and Marine Sciences Center, Ithaca, N.Y., Tech. Rep. No. 40, Feb., 221 p.

- FIERING, M.B., HARRINGTON, J.J., DE LUCIA, R. (1971). "Water resources systemes analysis". Min. Energie, Mines et Ressources, Ottawa, Resource Paper, No. 3, 48 p.
- FITCH, W.N., KING, P.H., YOUNG JR., G.K. (1970). "The optimization of operation of a multi-purpose water resource system". WRB, Vol. 6(4), July-August, 21 p.
- FOX, I.K. (1973). "Integrating all aspects of regional water systems". Journal of the Hydraulics Division, Avril, No. HY4, 5 p.
- GABLINGER et ALII. (1972). "Use of systems approaches in planning Israels water resources management". Symp. Int. sur la planification des ressources hydrauliques, Mexico, 14 p.
- GLOYNA, E.F., BUTCHER, W.S. (1972). "Conflicts in water resources planning". Center for research in water resources, Texas Univ., 172 p.
- GOUVERNEMENT DU QUEBEC, RAPPORT LAHAIE (1968). "Rapport de la Commission provinciale d'urbanisme". Chap. 2.
- GRAVES, G.W., HATFIELD, G.B., WHINSTON, A.B. (1972). "Mathematical programming for regional water quality management". WRR, Vol. 8(2), April, (272-290).
- GUPTA, I. (1969). "Linear programming analysis of a water supply system". A.I.I.E. Transactions, Vol. 1(1), 6 p.
- GUPTA, I., HASSAN, M.Z., COOK, J. (1970). "Linear programming analysis of a water supply system whith multiple supply points". A.I.I.E. Transaction, Vol. 4(3), 5 p.
- GYSI, M., LOUCKS, D.P. (1969). "A selected annotated bibliography on the analysis of water resource systems". Publ. No. 25, Water Resource and Marine Sci. Center Connell, Univ. Ithaca, N.Y.
- H.G. ACRES LTD. (1971 a.) "Water quality management methodology and its application to the Saint John River".

- H.G. ACRES LTD. (1971 b.). "Water quality management methodology and its application to the Saint John River. Appendix A, Water quality models".
- H.G. ACRES LTD. (1971 c.). "Water quality management methodology and its application to the Saint John River. Appendix G, Application of methodology in the Saint John River Basin".
- HAITH, D.A. (1971). "The political evaluation of alternative metropolitan water resources plans". Chap. 5 - "Related planning applications". Cornell Univ., Water Resources and Marine Sciences Center, N.Y., Tech. Rep. No. 31, july, 21 p.
- HALL, DRACUP (1970). "Water resources systems engineering". Chap. 3 - "Systems analysis". Chap. 4 - "Objective functions of water resources development". McGraw Hill series in water resources and environmental engineering, 372 p.
- HALL, W.A., SHEPHARD, R.W. (1967). "Optimum operations for planning of a complex water resources system". Water Resources Center, California Univ., WRC Contribution No. 122, ULCA Eng. Report, No. 67-54, 75 p.
- HALL, W.A., TAUXE, G.W., YEH, W.W-G. (1969). "An alternate procedure for the optimization of operations for planning with multiple purpose systems". WRR, Vol. 5(6), dec., 6 p.
- HARBOE, R.C., MOBASHERI, F., YEH, W.W-G. (1970). "Optimal policy for reservoir operation". Journal of the Hydraulics Division, ASCE, No. HY11, Nov., 12 p.
- HU, T.C. (1970). "Integer programming and network flows". Addison-Wesley Publishing Company, Mass, Nov., 452 p.
- HUFSCHMIDT, M.M., FIERING, M.G. (1966). "Simulation techniques for design of water-resources systems". Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass, 212 p.
- HUBERT, P. (1976). "Présentation et utilisation du modèle de sélection Prolobec". M.R.N., Québec, janvier, 109 p.

- HUBERT, P. (1977). "Présentation et utilisation du modèle de sélection Prolobec, seconde version". CIG, Fontainebleau - M.R.N., Québec, janvier, 37 p.
- HUBERT, P., EQUIPE DE RECHERCHE EAU. (1973). "Modèle de prévision superprolo". Note préliminaire. Grenoble, 12 fev., 11 p.
- IBM (1973). "Introduction to mathematical programming system-extended (MPSX), Mixed integer programming (MIP) and generalized upper bounding (GUB)".
- JACOBY, H.D., LOUCKS, D.P. (1972). "Combined use of optimization and simulation models in river basin planning". WRR, Vol. 8(6), dec., 14 p.
- JACOBY, S.L.S. (1968). "Design of optimal hydraulics networks". Journal of the Hydraulics Division (ASCE), may, No. HY3, pp. 641-661.
- JOERES, E.F., LIEBMAN, J.C., REVELLE, C.S. (1971). "Operating rules for joint operation of raw water sources". WRR, Vol. 7(2), april, 11 p.
- KAUFMANN, A. (1962). "Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle". Chap. 8 - "Méthodes de calcul des programmes linéaires". Dunod, Paris, Tome 1 (534 p.), Tome 2 (544 p.).
- KERRI, K.D. (1967). "Dynamic model for water quality controls". Water Poll. Contr. Fed., Journal, V. 39(5), pp. 772-786.
- KIESIEL, C.C., DUCKSTEIN, L. (1972). "General report (model choice and validation)". Intern. Symp. on Uncertainties in Hydrologic and Water Resources Systems, 27 p.
- KRISS, C., LOUCKS, D.P. (1971). "Aselected annotated bibliography on the analysis of water resources systems". Volume 2. Cornell Univ. Ithaca, N.Y., june, 253 p.
- KRUTILLA, J.V. (1961). "Welfare aspects of benefit-cost analysis". Journal of political economy, LXIX, 10 p.
- KRUTILLA, J.V., ECKSTEIN, O. (1969). "Multiple-purpose river development". Studies in applied economic analysis. John Hopkins Press, Resources for the Future, 301 p.

- LEFROU, C. (1971). "Les modèles hydrologiques et l'économie des eaux". La Houille blanche, No. 3, 6 p.
- LOBERT, A. (1969). "De la collaboration entre économistes et hydrologues". Département laboratoire national d'hydraulique. Groupe hydrologie, Montpellier, 2 juin, 24 p.
- LOUCHARD, L. (1976). "Aspects pratiques de la gestion de l'eau au Québec". M.R.N., Québec, 85 p.
- LOUCHARD, L., TREMBLAY, A.R., LAVIGNE, J., COUTURE, M., DESCOTEAUX, Y. (1975). "Projet St-François - Suggestion de livre bleu de bassin". M.R.N., Dir. de l'Aménagement, Québec, juillet, 14 p.
- LOUCKS, D.P. (1966). "Policy models for operating water resource systems". AWRA Conf., nov. 20-22, Chicago, 15 p.
- LOUCKS, D.P. (1968). "Computer models for reservoir regulation". J. Sanitary Eng. Div., ASCE, 9Y(SA4), 657-669.
- LOUCKS, D.P. (1969). "Stochastic models for analysing river basin systems". Technical Report, No. 16, Ithaca, Y.Y., Cornell Univ. Water Resources and Marine Sciences Center.
- LYNN, W.R., LOGAN, J.A., CHARNES, A. (1962). "Systems analysis for planning wastewater treatment plants". WPCF Journal, 34, 17 p.
- MAASS, A. (1966). "Benefit-cost analysis: it relevance to public investment devisions". Quarterly Journal of Economics, LXXX, 19 p.
- MAASS, A., HUFSCHMIDT, M.M., DORFMAN, R., THOMAS, JR., H.A., MARGLIN, S.A., MASKEW, FAIR, G. (1967). "Design of water-resource systems - New techniques for relating economic objectives". Engineering Analysis and Governmental Planning. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 620 p.

- MADDOCK, T. (1972). "A ground-water planning model - A basis for a data collection Network". Int. Symp. on uncertainties in Hydrologic and water Resources Systems, dec., 26 p.
- MAJOR, D.C. (1969). "Benefit-cost ratios for projects in multiple objective investment programs". WRR, Vol. 5(6), déc., 4 p.
- MASSE, P., GILBRAT, R. (1965). "Application of linear programming to investment in the electric power industry". Management Science, 3(2), 149-166.
- MCBEAN, E.A., SCHAAKE, JR., J.C. (1973). "A marginal analysis system simulation technique to formulate improved water resources configurations to meet multiple objective". Appendix C. "A critical evaluation of screening models and simulation models for water resources planning". M.I.T. Report No. 166, 398 p.
- MCBEAN, E. (1974). Part 3. "Screening models in water resources planning". 24 p.
- MCGREW, D.R., HAIMES, Y.Y. (1974). "Parametric solution to the joint system identification and optimization problem". J. Optimization Theory and Applications, 13(5), pp. 582-604.
- MCBEAN, E.A., SCHAAKE, JR., J.C. (1972). "Joint use of screening and simulation models in multiobjective plan formulation". Dept. of Civil Engineering, MIT, dec., 47 p.
- MCLAUGHLIN, R.I. (1967). "Experience with preliminary system analysis for river basins". International Conference on Water for Peace, Washington, D.C., may 23-31.
- MECHIN, Y., FLEURY J.M., DARNIGE, J. (1970). "Recherche du programme optimum de construction d'un ensemble de barrages pour le soutien des étiages dans un bassin". 11ième journée de l'hydraulique, Paris, 5 p.
- MILLIGAN, J.H. (1970). "Optimizing conjunctive use of groundwater and surface water". Utah Water Research Lab., Loyon, PRWG, 42, 4T, 167 p.

- MOBASHERI, F., HARBOE, R.C. (1970). "A two-stage optimization model for design of a multipurpose reservoir". WRR, Vol. 6(1), feb., 10 p.
- MOODY, D.W., MADDOCK, I. (1972). "A planning model for preliminary network design". International symposium on uncertainties in hydrologic and water resource systems, 31 p.
- NACE, R.L. (1969). "L'eau et l'homme: aperçu mondial". Unesco, Paris, 50 p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. (1966). "Alternatives in water management". National Research Conseil, Washington, Publ. No. 1408, 52 p.
- NAYAK, S.C., ARORA, S.R. (1971). "Optimal capacities for a multireservoir system using linear decision rule". WRR, Vol. 7(3), juin, 14 p.
- NOVOTNY, V. (1970). "Mathematical modeling of water quality changes in a river basin". Advances in water pollution research, Proc. 5th., Intl. Conf.
- O CONNELL, P.E. (1972). "Stochastic and statistical models. General report". Int. Symp. on uncertainties in Hydrologic and Water Resources Systems, dec. 41 p.
- O LAOGHAIRE, D.T., HIMMELBLAU, D.M. (1972). "Modeling and sensitivity analysis for planning decisions in water resources expansion". Water Resource Bulletin, American Water Resources Association, Vol., 8(4), 16 p.
- O LAOGHAIRE, D.T., HIMMELBLAU, D.M. (1974). "Optimal expansion of a water resources system". Academic Press, N.Y., 273 p.
- O NEILL, P.G. (1972). "A mathematical programming model for planning a regional water resource system". Inst. Water Eng. Journal V. 26(1), pp. 47-71.
- ORLOB, G.T., DENBY, B.B. (1973). "Systems approach to water quality management". Journal of the Hydraulics Division, avril, No. HY4, 16 p.
- ORLOB, G.T., KING, I.P., EVENSON, D.E. (XXXX). "Optimal allocation of limited water resources". 36 p.
- OVERMAN, M. (1970). "L'eau dans le monde: Problèmes et solutions". Larousse, Paris, 192 p.

- PERREAULT, Y.G. (1974). "Recherche opérationnelle - Techniques décisionnelles". P.U.Q., 343 p.
- PROCHASKA, B.J., RUSSELL, C.B. (1971). "Optimal policy for operation of a multipurpose reservoir". WRR Institute, Clemson Univ., Report No. 18, 53 p.
- GASHU, H.K., BENASSINI, Vo. (XXXX). "Ideality and reality in water resource planning". 10 p.
- REVELLE, C., KIRBY, W. (1970). "Linear decision rule in reservoir management and desing". Chap. 2 - "Performance optimization". WRR, Vol. 6(4), aug., 12 p.
- REVELLE, C.S., LOUCKS, D.P., LYNN, W.R. (1967). "A management model for water quality control". Wat. Poll. Contr. Fed. Journal, 39(7), 20 p.
- REVELLE, C.S., LOUCKS, D.P., LYNN, W.R. (1968). "Linear programming applied to water quality management". WRR, Vol. 4(1), fev., 9 p.
- SCHAAKE JR., J.C., LAI, D. (1969). "Linear programming and dynamic programming application to water distribution network design". Dept. Civil Engineering, Mit, Rep. No. 116, july, 41 p.
- SCHAAKE JR., J.R., MAJOR, D.C. (1972). "Model for estimating regional needs". WRR, Vol. 8(3), juin, 5 p.
- SCHWEIG, Z., COLE, J.A. (1968). "Optimal control of linked reservoirs". WRR, Vol. 4(3), juin, 5 p.
- SENJU, S., TOYODA, Y. (1968). "An approach to linear programming with 0-1 variables". Management Science, Vol. 15(4), dec., 8 p.
- SHAMIR, U. (1974). "Optimal design and operation of water distribution systems". WRR, Vol 10(1), fev., 10 p.
- SHIH, C.S., DE FILIPPI, J.A. (1968). "Optimization models for river basin water quality management and waste treatment plant design". American Water Resources Conference Proceedings Series No. 6, 26 p.

- SHIH, C.S., DE FILIPPI, J.A. (1970). "System optimization of waste treatment plant process design". Proc., Amer. Soc. Civil. Eng., V. 96(SA2), pp. 409-421.
- SIGVALDASON, O.T., DE LUCIA, R.J., BISNAS, A.K. (1972). "The St John Study - An example of complementary usage of optimization and simulation modeling in water resources planning". Int. Symp. on Mathematical Modeling Techniques in Water Resources Systems.
- STEPHENSON, D. (1970). "Optimum design of complex water resource projects". Journal of the Hydraulics Division, June, Vol. 96(HY6).
- TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. (1971). "Stochastic optimization and simulation techniques for management of regional water resource systems". Report No. 131, July, 129 p.
- THOMANN, R.V. (1972). "Systems analysis and water quality management". Environmental research and application, Inc., N.Y., 286 p.
- THON, J.G. (1973). "Systems approach to power planning". Journal of the Hydraulics Division, Av., No. HY4, 9 p.
- TROTTIER, R. (1975). "Méthodologie de la planification des systèmes de distribution d'eau". Partie 3. Eau du Québec, Vol. 8(2), avril, 7 p.
- VEMURI, V. (1974). "Multiple-objective optimization in water resource systems". WRR, Vol. 10(1), fév, 5 p.
- VISSMAN, JR., LEWIS, G.L., YOMOTOVIAN, I., VISSMAN, N.J. (1975). "A screening model for water resources planning". W.R.B., Vol. 11(2), A.W.R.A., Av., 11 p.
- VILLENEUVE, J.P., COUTURE, M., BOBEE, B., CHARBONNEAU, R. (1975). "Méthodologie d'aménagement de la ressource eau". M.R.N., INRS-Eau, Québec, 149 p.
- WAGNER, H.M. (1969). "Principles of operations research with applications to managerial decisions". Prentice-Hall, N.J., 1065 p.
- WALKER, W.R. (1973). "Mathematical modeling of urban water management strategies". Colorado State Univ., aug., 19 p.

- WEIER JR., W.L., SHIH, C.S. (1973). "Application of specialized optimization techniques in water quantity and quality management with respect to planning for the trinity river basin". Water Resources Institute, Texas A-M Univ., july, 110 p., Tech. Rep., No. 30.
- WERNER, R.R. (1968). "An investigation of the employment of multiple objectives in water resources planning". Phd These, South Dakota State Univ., 161 p.
- WOLF, P.O. (1966). "Notes on the management of water resources". J. Inst. Water Eng., 20(2), 28 p.
- WOLLMAN, N. (1962). "The value of water in alternative uses with special application to water use in the San Juan and Rio Grande basins of New Mexico". The Univ. of New Mexico Press, 426 p.
- YEH, E. W-G., TROTT, W.J. (1972). "Optimization of water resources development - optimization of capacity specifications for components of regional complex integrated multipurpose water resources systems". Eng. Systems Dept., Univ. of Calif., june, 34 p.
- YOUNG, G.K. (1968). "Reservoir management - The tradeoff between low flow regulation and flood control". WR9, Vol. 4(3), june, 5 p.