



LES MODÈLES HYDROLOGIQUES ET L'ÉCONOMIE DES EAUX

par C. LEFROU

Ingénieur des Ponts et Chaussées
au Secrétariat Permanent pour l'Étude des Problèmes de l'Eau

Les modèles hydrologiques, qu'ils soient déterministes ou probabilistes, ont pour but de tirer de données physiques nombreuses et variées, toute l'information utile à la résolution d'un problème déterminé.

Par exemple, l'hydrologue mobilisera l'information climatologique pour accroître la précision de la détermination d'une crue de fréquence donnée, afin de permettre à l'ingénieur de dimensionner un ouvrage. Mais comment celui-ci a-t-il choisi cette fréquence? Ses critères de choix sont la plupart du temps sommaires (la tradition, un règlement, des considérations budgétaires, etc.), alors qu'il s'agit d'une décision de caractère économique. A la complexité et au raffinement du modèle hydrologique s'oppose l'aspect rudimentaire de l'outil de décision économique.

Prenons un autre exemple : on procède à l'optimisation du calcul des caractéristiques et des règles de gestion d'un ouvrage hydraulique destiné à soutenir les débits d'étiage pour des usages industriels et agricoles. Pour ce faire, on peut être conduit à élaborer des modèles assez complexes tenant compte, par exemple, de la dépendance qui peut exister entre les débits d'étiage et les besoins physiques en eau de l'agriculture. Dans ce genre de problèmes, il est courant de définir les besoins par un chiffre ne tenant pas compte de l'élasticité de la demande par rapport au coût de mise à disposition de l'eau et de fixer le risque de défaillance *a priori* (on choisit souvent un risque de défaillance décennal pour prendre un chiffre rond). Cela donne un peu l'impression d'une mesure de longueur dans laquelle on place approximativement une des extrémités en coïncidence

avec l'appareil de mesures, mais on utilise un vernier pour faire sur l'autre extrémité la lecture avec précision.

A l'opposé, on constate, dans de nombreuses descriptions de modèles économiques concernant l'eau, que les phénomènes physiques sont abusivement simplifiés pour permettre d'utiliser un outil mathématique déterminé. Par exemple, on cherchera à optimiser un programme de lutte contre la pollution par programmation linéaire ou programmation dynamique dans un modèle relativement complexe sans tenir compte de la variabilité des débits ni de l'influence de la température sur l'auto-épuration.

Ce manque d'homogénéité dans la finesse des méthodes employées dans les deux stades de l'approche du problème (stade de la description des phénomènes physiques, puis optimisation économique) ne résulte pas à notre avis d'une difficulté fondamentale : rien n'empêche d'intégrer un modèle hydrologique élaboré dans un modèle économique adapté. Il est simplement la conséquence d'un dialogue insuffisant entre les hydrologues et les économistes. La preuve en est que les seuls modèles complets homogènes ont été établis par des équipes pluridisciplinaires bien intégrées.

Je vais passer rapidement en revue les méthodes utilisées le plus fréquemment par les économistes et essayer de voir s'il est possible d'en tirer quelques réflexions sur la conception des modèles hydrologiques qui doivent y être associés avant de montrer quelles sont les difficultés fondamentales qui empêchent, actuellement, de pousser très loin l'approche économique des problèmes d'eau et qui conduisent à n'envisager que des optimisations partielles.

Je ne reviendrai pas sur les objectifs et les principes qui ont été clairement exposés par M. Halbronn dans son rapport général sur la question VI des dernières Journées de l'Hydraulique. Je rappellerai seulement certaines définitions et indiquerai les méthodes mathématiques utilisées et surtout les hypothèses et les contraintes qu'elles impliquent et j'essayerai de montrer à l'aide d'un exemple le degré de schématisation des phénomènes physiques et des formations économiques imposées par chaque méthode.

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 toutefois certaines contraintes sur les variables. L'état du système à optimiser est connu lorsqu'on connaît la valeur des *variables d'état*. Les variables que l'on doit ajuster pour optimiser le système sont appelées *variables de décision*. La fonction à optimiser est appelée *fonction objectif* (ou critère d'optimisation) et les contraintes appliquées aux diverses variables sont constituées par des égalités ou des inégalités relatives à des *fonctions de contrainte*.

Le type de méthode utilisable est fonction essentiellement de la nature de la fonction objectif et des fonctions de contrainte.

Plus ces fonctions sont simples, plus l'algorithme d'optimisation sera simple : ceci explique la tentation de simplifier les problèmes pour pouvoir utiliser un algorithme déterminé.

Méthodes différentielles de calcul de l'optimum.

Ces méthodes permettent de rechercher le maximum d'une fonction objectif définie, continue et dérivable $f(x_1, \dots, x_n)$. Il suffit de résoudre le système de n équations simultanées :

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = 0$$

pour $i = 1 \dots n$

Lorsque, en plus, les variables sont liées par les relations :

$$G_i(x_1, \dots, x_n) = 0$$

définies, continues et dérivables, l'utilisation de la théorie des multiplicateurs de Lagrange permet de résoudre le problème.

Le fait que toutes les fonctions doivent être dérivables et que les contraintes ne peuvent être que des égalités limite beaucoup les possibilités d'utilisation de ces méthodes. Pratiquement, elles ne peuvent servir qu'à dégrossir les problèmes sur le plan théorique. Citons par exemple leur utilisation pour définir les relations théoriques existant dans un même bassin entre les coûts marginaux de production et d'utilisation de l'eau.

Programmation linéaire.

Cette méthode permet de résoudre facilement des problèmes comprenant des variables nombreuses et beaucoup de contraintes (qu'il s'agisse d'égalités ou d'inégalités). Des programmes sont fournis par toutes les sociétés de software et permettent d'effectuer ces calculs sur ordinateur. Il n'est donc pas besoin pour l'appliquer de connaître la méthode, qui est d'ailleurs très simple et décrite dans tous les manuels d'économétrie ou de recherche opérationnelle.

Le seul inconvénient de la méthode, il est malheureusement important, est d'impliquer obligatoirement que toutes les fonctions, aussi bien la fonction objectif que les fonctions de contraintes, soient linéaires.



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 :

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

Les fonctions de contrainte sont les suivantes :

- $0 < x_i < 1$
- $Q > 0$
- $P_1(1 - x_1) < C_1(q_1 + Q)$
- $P_1(1 - x_1)a_1 + P_2(1 - x_2) < C_2(q_2 + Q)$
- $P_1(1 - x_1)a_1a_2 \dots a_{n-1} + P_2(1 - x_2)a_2a_3 \dots a_{n-1} + \dots + P_n(1 - x_n) < C_n(q_n + Q)$

Cet exemple relativement complexe puisqu'il permet d'entrer de nombreux paramètres et de nombreuses variables de décision reste malgré tout simpliste dans la description des phénomènes physiques et des processus économiques à cause de l'obligation de linéariser. Quelles critiques peut-on lui faire ?

a) On admet que les coûts unitaires sont constants. Si cela peut à la rigueur être admis entre certaines limites pour le coût de la régularisation, cela représente une simplification abusive pour l'épuration.

b) On doit pour que les relations restent linéaires admettre que l'auto-épuration ne varie pas avec le débit. Cette hypothèse est absurde si le débit Q est important par rapport aux débits q .

c) On suppose que les rejets sont constants alors qu'ils sont dans la réalité variables dans le temps.

d) On a choisi une série de débits de références q_i , alors qu'on aurait dû les considérer comme des variables aléatoires.

e) On a admis des valeurs déterminées par bief de l'auto-épuratation alors qu'on aurait dû considérer que cette auto-épuratation est fonction essentiellement de la température, variable aléatoire non indépendante des débits.

Ce modèle paraît donc *a priori* franchement mauvais, et on peut se demander s'il permettra de prendre une décision meilleure que le simple bon sens (méthode utilisée jusqu'à présent dans le domaine de la gestion de la qualité des eaux, dont on ne peut pas dire qu'elle ait donné toujours des résultats bien concluants). Mais il faut y regarder de plus près. Si on compare un modèle hydrologique avec la complexité des phénomènes physiques qu'il est sensé représenter, on devrait être conduit à la même conclusion : quand on écrit dans un modèle stochastique qu'un débit est une fonction linéaire, entre autres, de la racine cubique de la température, ou quand dans un modèle déterministe, on représente les phénomènes complexes de l'infiltration et de l'écoulement souterrain par deux ou trois réservoirs, on devrait avoir les mêmes inquiétudes. Cependant, on peut affirmer que ces modèles sont bons, tout simplement parce qu'on a pu vérifier sur des données réelles « qu'ils marchent ». Malheureusement, on ne peut pas en faire autant dans le cas qui nous intéresse ici : nous n'avons pas comme en hydrologie un grand nombre de situations réelles diverses qui représentent un échantillon suffisant pour caler un modèle et le tester : nous n'avons qu'une situation présente correspondant à une valeur déterminée des variables de décision, et nous n'avons aucun échantillonnage relatif aux situations correspondant aux autres valeurs de ces variables de décision. On doit donc faire *a priori* confiance au modèle.

Toutefois, l'inconvénient relatif à la linéarité des relations peut être supprimé, sans pour autant abandonner la méthode, si une, ou à la rigueur deux, relations seulement ne sont pas linéaires : il suffit de remplacer les courbes (ou les surfaces) correspondant à ces relations par des segments de droite (ou des parties de plan).

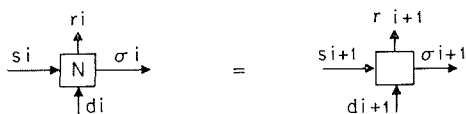
Programmation dynamique.

La programmation dynamique traite des problèmes où il y a plusieurs décisions à prendre, à des « étages » différents reliés entre eux, de telle sorte que le résultat global soit optimisé.

Chaque étage représente une unité de temps ou d'espace.

A chaque étage sont associés :

- des variables d'entrée ou d'état s_i ;
- des variables de contrôle ou de décision d_i ;
- des variables de sortie σ_i ;
- des variables de résultat r_i .



Les variables de sortie de l'étage i sont égales aux variables d'entrée de l'étage $i + 1$.

Le problème est d'optimiser la somme $F = \sum_1^n r_i$ en supposant connues les fonctions suivantes :

$$r_i = R_i(s_i, d_i)$$

$$\sigma_i = T_i(s_i, d_i)$$

L'algorithme d'optimisation procède étage par étage par application du principe d'optimalité de Bellman selon lequel une politique optimale $d_1^* \dots d_n^*$ pour un système de n étages est telle que $d_j^* \dots d_n^*$ est une politique optimale pour le système des j derniers étages en fonction d'une entrée quelconque s_j .

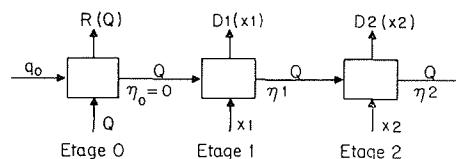
EXEMPLE DE PROGRAMMATION DYNAMIQUE.

Soit une rivière où sont effectués n rejets P_i . Sur chacun de ces rejets le niveau d'épuration est x_i , le coût de cette épuration étant une fonction connue $D_i(x_i)$.

Le débit naturel en chacun des points est q_i et l'auto-épuratation entre deux points est a_i . L'objectif de qualité en aval de chaque rejet est C_i . Un débit supplémentaire Q peut être injecté dans la rivière et la dépense correspondante est $R(Q)$.

Q	R(Q)	x_i	$D_1(x_1)$	$D_2(x_2)$	$D_n(x_n)$
1	50	0,1	0	0	
2	100	0,2	1	2	
3	140	0,3	3	5	
4	180	0,3	3	5	
5	210	0,3	3	5	
6	240	0,9	70	90	
7	270	1	100	1 000	

Le schéma de ce problème peut s'écrire ainsi (M étant la concentration en polluant dans la rivière).



La fonction à optimiser est :

$$F = R(Q) + \sum_1^n D_i(x_i)$$

Les variables d'entrée sont :

- pour l'étage 0 : néant ;
- pour les étages suivants : l'accroissement de débit Q et la concentration en polluant à l'entrée.

Les variables de décision sont :

- pour l'étage 0 : le débit de régularisation Q ;
- pour les étages suivants : le taux d'épuration x_i .

Les fonctions liant les variables de sortie aux variables d'entrée et aux variables de décision sont :

- accroissement de débit : constant d'un étage à l'autre à partir de l'étage 1 ;
- concentration en polluant :

$$M_{i+1} = \frac{M_i(q_i + Q) a_i + P_i}{q_{i+1} + Q}$$

Les fonctions de contrainte sont $M_i < C_i$.

Ce modèle a sur la programmation linéaire l'avantage essentiel de permettre l'introduction de fonctions de forme quelconque. Par contre tous les autres inconvénients signalés se retrouvent ici sauf celui concernant l'invariance de l'auto-épuration avec le débit : il est en effet possible de choisir une fonction de la variable de sortie M_{i+1} tenant compte de ce phénomène. On remarquera que ces fonctions liant les variables de sortie aux variables d'entrée peuvent être très complexes et peuvent même être constituées de véritables modèles hydrologiques. Cette méthode permet donc de mieux combiner une certaine finesse d'analyse physique avec une méthodologie d'optimisation économique élaborée.

Par contre, à l'opposé de la programmation linéaire, le nombre de contraintes applicables est très limité. Toutefois, le défaut essentiel reste le caractère déterminé des variables physiques.

Il est certes possible d'introduire des variables aléatoires en programmation linéaire ou en programmation dynamique en remplaçant, en particulier, dans les algorithmes correspondants les valeurs déterminées par des espérances mathématiques. Mais l'analyse statistique reste encore très sommaire.

Méthodes de recherche directe de l'optimum.

Ces méthodes liées à la simulation ou à des modèles hydrologiques (déterministes ou stochastiques) permettent une approche beaucoup plus satisfaisante que les précédentes tant sur le plan de la description physique des phénomènes que sur celui de l'analyse économique.

Ces méthodes sont très nombreuses : chacun d'ailleurs peut inventer la sienne. Il s'agit en effet de définir un algorithme de tâtonnement. Il s'agit de progresser vers l'optimum sur la surface à n dimensions qui représente la fonction objectif : à partir d'un point déterminé, on explorera plusieurs autres points et on avancera vers celui dont la valeur de la fonction objectif est maximale (si l'optimum cherché est un maximum). La méthode fixe le pas et la direction d'exploration : si le pas est trop petit la progression sera lente et la méthode peu efficace; si au contraire le pas est trop grand, la précision sera trop faible. Un autre risque important est celui de la découverte d'un optimum relatif. Toutes les méthodes essayent de concilier ces divers impératifs et certaines d'entre elles sont mieux adaptées à tel ou tel type de fonctions : le choix de la méthode d'optimisation est lui-même un problème d'optimisation...

EXEMPLE.

Essayons de voir comment nous pourrions traiter le problème d'optimisation d'équipements d'épuration abordé précédemment.

Nous supposons que nous disposons d'une série (réelle ou générée après analyse statistique) des débits et températures et que nous disposons d'un modèle mathématique de l'évolution de la pollution dans le milieu naturel en fonction de ces données et des variables de décision Q et x_i . Supposons par ailleurs que nous connaissions la fonction économique $g_i(\Gamma_i)$ relative à la nuisance en chaque point i correspondant à la concentration i en polluant.

La fonction objectif est alors :

$$F = R(Q) + \sum D_i(x_i) + \sum G_i(\Gamma_i)$$

Pour une valeur déterminée des variables de décision x_i et Q , F est une fonction des débits et des températures dont

on peut déterminer grâce au modèle la fonction de répartition statistique. L'optimisation se fait alors sur un paramètre de cette fonction de répartition, par exemple l'espérance mathématique.

Pratiquement, les fonctions $g_i(\Gamma_i)$ n'étant pas connues, on fixera des objectifs de qualité assortis d'un risque de défaillance admissible.

Difficultés principales rencontrées pour concevoir des études économiques

On a vu précédemment que l'intégration des modèles hydrologiques, dans les méthodes d'optimisation économique, si elle présente quelques difficultés dues aux contraintes mathématiques imposées par certaines de ces méthodes, est en fait possible à condition de disposer de moyens de calcul puissants.

Mais, les difficultés principales ne sont pas d'origine mathématique. Le manque d'homogénéité constaté souvent dans les méthodes d'approche, conduisant à utiliser un critère sommaire de décision économique en aval d'un modèle physique très élaboré ou au contraire à introduire une schématisation abusive des phénomènes naturels dans des modèles économiques, pourra être facilement évité grâce à une meilleure collaboration entre hydrologues et économistes.

Les difficultés se trouvent essentiellement dans l'analyse des fonctions économiques : en hydrologie on a d'abord disposé de données et on a ensuite conçu des modèles. Dans le domaine de l'économie de l'eau on dispose de nombreux modèles, leur nombre peut être multiplié à l'infini grâce aux moyens modernes de calcul numérique, mais on ne dispose pratiquement pas des données essentielles, tout au moins si on cherche à faire une optimisation globale. L'offre est assez bien connue. La demande est presque totalement inconnue.

Demande des usagers solvables.

Prétendre que la demande en eau est presque totalement inconnue peut paraître abusif lorsqu'on constate le nombre d'enquêtes lancées à travers le monde pour appréhender les besoins en eau. Et pourtant, il faut bien admettre que ces enquêtes ne permettent pas de déterminer les fonctions représentant la demande des agents économiques nécessaires pour les modèles.

En effet, prenons un exemple : ces enquêtes permettent en général de savoir que pour produire une tonne du produit A, il faut x m³ d'eau et que cela conduit au rejet dans l'eau de y kg de pollution.

Or, on s'aperçoit que suivant le prix de l'eau, la quantité d'eau utilisée est très variable et que pour certaines opérations, on peut même renoncer à utiliser l'eau au-delà d'un certain prix. Par ailleurs, la quantité d'eau utilisée est aussi fonction de la qualité de l'eau utilisée et de la qualité de l'eau rejetée car le dimensionnement des dispositifs de traitement et d'épuration, et donc leur coût, est fonction, en partie, du débit.

La connaissance de la pollution y théoriquement produite et du coût de l'épuration en fonction de l'efficacité de cette épuration est très insuffisante pour déterminer la fonction économique que représente pour l'utilisateur, la possibilité de déverser ses déchets dans le milieu naturel, car des modifications internes à l'usine réduisant la pollution pro-

duite peuvent être plus économiques que l'épuration (en particulier substitution de procédés secs).

La ressource étant aléatoire, les besoins ne peuvent être satisfaits avec une sécurité absolue et le coût pour l'utilisateur d'une défaillance d'alimentation en eau est un paramètre fondamental.

Il serait donc nécessaire de déterminer pour chaque usager :

a) Le débit spécifique x dont il aurait besoin pour produire une tonne du produit A pour :

- chaque valeur du prix de l'eau fournie;
- chaque valeur de la qualité de l'eau fournie;
- chaque valeur de la quantité de pollution rejetée par tonne de produit.

b) Le coût d'une défaillance dans l'alimentation en eau :

- en durée;
- en quantité.

Dans l'état actuel de la connaissance de leurs propres problèmes d'utilisation d'eau par les usagers, il est impossible d'appréhender ces données. Seuls certains d'entre eux sont capables de répondre partiellement à l'une des questions. L'analyse du comportement des usagers placés dans des conditions différentes (tarification qualité de l'eau utilisée) n'apporte que peu de renseignements intéressants car l'utilisateur n'a pas le plus souvent un comportement « économique ». On peut penser que la sensibilisation à ces problèmes, due en particulier à la mise en place des redevances des agences de bassin, permettra dans quelques années de tirer un meilleur parti des enquêtes auprès des usagers. D'autre part les diverses études analytiques des fonctions de l'eau dans chaque branche industrielle permettront sans doute aussi de recueillir certaines données économiques.

Dans le domaine de l'irrigation, une approche économique est théoriquement beaucoup plus facile car le poids des dépenses relatives à l'eau y est plus important que dans l'industrie. Mais pour de nombreuses raisons, en France comme dans beaucoup de pays d'Europe, l'approche économique des problèmes agricoles se heurte à de nombreux obstacles et compte tenu de la place exceptionnelle de ce secteur dans l'économie nationale, on peut avoir quelques doutes sur l'efficacité des méthodes marginalistes pour aborder ces problèmes.

Appréhension des bénéfices et coûts sociaux.

Nous avons vu précédemment à propos de l'exemple relatif à l'optimisation de stations d'épuration que pour résoudre un problème de gestion économique de la qualité des eaux d'une rivière, il faut connaître les fonctions économiques relatives aux nuisances dues à la pollution de cette rivière.

Que traduisent ces fonctions économiques ?

Tout d'abord et c'est relativement facile à évaluer, ce sont les dépenses ou les coûts supplémentaires imposés aux autres usagers (traitement, recherche d'une autre alimentation en eau plus coûteuse, baisse de qualité des produits, etc.).

C'est ensuite la dégradation du potentiel piscicole et le préjudice correspondant aux pêcheurs.

C'est le préjudice porté aux baigneurs et autres usagers des « loisirs aquatiques ».

C'est également le préjudice résultant de la dégradation esthétique du site (couleur, odeur).

C'est enfin le préjudice causé à la société par la modification des équilibres écologiques.

Tout ceci peut-il et doit-il être traduit par une fonction économique ? Ce sujet est très controversé. Nous ne pouvons ici développer ce point important. Contentons-nous de remarquer qu'il existe d'abord certains aspects qui relèvent sans aucun doute de l'évaluation économique traditionnelle. Remarquons également que dans la mesure où on utilise des modèles économiques pour préparer des décisions il est préférable de tenir compte d'un élément imprécis, en sachant qu'il est imprécis, plutôt que de l'oublier. Pratiquement la valeur attribuée explicitement ou implicitement à ces fonctions résulte de décisions politiques. Il faut bien admettre que le modèle économique peut permettre au technocrate de s'approprier la décision politique. Mais il peut permettre, s'il est bien conçu, d'éclairer celui qui est chargé de prendre la décision en mettant en évidence clairement les conséquences physiques et économiques de la décision : le paramétrage des variables correspondantes est un bon moyen d'atteindre ces objectifs.

Dans la mesure où on recherche dans cette optique à fournir des éléments d'appréciation pour aider la décision, il me paraît légitime d'essayer de chiffrer tout ce qui peut l'être : on obtient ainsi une borne inférieure de la fonction relative à la nuisance. Si la décision conduit à descendre en dessous de cette valeur, on peut montrer les conséquences néfastes de la décision. Par contre, le modèle économique ne permet pas de choisir parmi les solutions qui donnent un résultat supérieur : la décision ne peut être que politique. Par contre, le modèle permet de déterminer quelle valeur a été implicitement affectée lorsque la décision a été prise et de comparer les valeurs ainsi implicitement affectées dans des cas semblables. Sans prétendre mesurer ces fonctions, on peut au moins espérer permettre d'assurer une certaine cohérence des décisions.

Conclusions.

L'utilisation de modèles hydrologiques dans l'aménagement intégré des ressources en eau présente donc des difficultés dues essentiellement à la difficulté de traduire par des fonctions économiques le comportement des utilisateurs et les contraintes écologiques et sociales. La méconnaissance de ces fonctions ne justifient pas une appréhension fine des phénomènes physiques; on est conduit, à ce niveau, à des modèles grossiers destinés essentiellement à éclairer des décisions à caractère politique relatives à l'aménagement des bassins.

Une fois ces décisions prises, des optimisations partielles sont alors possibles et elles peuvent être effectuées avec beaucoup plus de finesse. Nous ne savons pas actuellement justifier économiquement la valeur à donner au débit minimal admissible d'un grand cours d'eau et la décision de réaliser des grands ouvrages de régularisation dans un bassin ne peut être qu'une décision politique. Mais une fois cette décision prise il est alors possible grâce aux modèles hydrologiques d'optimiser l'exploitation de ces ouvrages.

Les décisions relatives à l'aménagement des eaux sont de la compétence de nombreux agents économiques et de nombreuses autorités administratives ou politiques. Le renforcement récent de structures de coordination et la mise en place des agences financières de bassin, dont un des rôles essentiels est de faire prendre conscience aux uns et aux autres que l'eau est un bien économique, doivent conduire progressivement à un développement de l'économétrie dans le domaine de l'eau et les modèles hydrologiques y auront certainement une place importante.

M. le Président remercie M. LEFROU qui a bien montré les difficultés de l'utilisation des modèles hydrologiques dans le domaine de l'économétrie; il a d'ailleurs conclu sur une note optimiste en disant que si ceux-ci ne peuvent tout résoudre, ils permettent déjà de faire beaucoup.

Il ouvre ensuite la discussion :

M. BERNIER intervient en ces termes :

« Il y a, en général, comme l'a dit M. LEFROU, un certain hiatus entre les conceptions des hydrologues et celles des économistes, les premiers utilisant souvent des modèles hydrologiques extrêmement simplifiés, sinon grossiers, qui sont ensuite conjugués avec des modèles économétriques extrêmement élaborés.

« Pourtant à Electricité de France, de très bonne heure, il y a eu une collaboration étroite entre hydrologues et économistes spécialisés dans le domaine de l'hydroélectricité; les modèles ainsi élaborés en commun ont été extrêmement utiles, en particulier, pour le choix des investissements du grand Etablissement national. La célèbre *Note bleue* qui concernait le problème du choix des équipements hydroélectriques, a été publiée en 1951 sous une forme qui a été beaucoup perfectionnée depuis lors.

« Dans le domaine de la gestion des ressources hydroélectriques, les travaux ont été largement développés de très bonne heure puisque, dès 1945, M. MASSÉ présentait la méthode de la programmation dynamique exposée par M. LEFROU. Cette méthode a été reprise ultérieurement par Bermann.

« Le problème était, il est vrai, facilité par le fait qu'à E.D.F.,

étaient rassemblés à la fois les moyens de production et de distribution; il était donc plus facile qu'ailleurs de chiffrer économiquement les coûts et les conséquences des décisions de gestion et d'équipement. »

Je pense, dit M. le Président, que ces mêmes méthodes vont être employées, par exemple, au niveau de l'aménagement d'un bassin. Lorsqu'on se sera fixé de façon presque politique un certain nombre d'objectifs précis, par exemple en ce qui concerne la diminution de la pollution sur tel ou tel tronçon de rivière, le modèle peut indiquer le meilleur chemin pour arriver à ce résultat. Ce que le modèle ne peut faire pour l'instant — je ne sais pas s'il y arrivera un jour — c'est de choisir effectivement entre divers objectifs; là, on se heurte à un certain nombre de difficultés que M. LEFROU nous a exposées de façon très précise.

M. BERNIER présente une deuxième remarque sur l'exposé de M. LEFROU concernant l'optimisation d'un système de stations d'épuration.

« M. LEFROU souhaiterait qu'un tel modèle d'optimisation fasse intervenir, non pas un environnement d'univers déterministe, mais des hypothèses de distribution des grandeurs hydrologiques et des autres paramètres aléatoires qui interviennent dans ce modèle. C'est, en effet, un point important; mais pour exprimer correctement ces distributions, encore faut-il avoir de l'information. Or, si l'information hydrologique est relativement satisfaisante, on manque d'informations économiques et de données physiques dans le domaine de la pollution. »

