

L'application de l'hydrologie au calcul des aménagements

Conférence donnée à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, sur invitation de l'Institut de génie rural de l'EPFL.

Aspects particuliers concernant les pays en voie de développement

par Marcel F. Roche, Paris

1. Disponibilités et besoins

Il existe dans la nature des disponibilités en eau, sous forme de stocks (notamment dans les lacs et les aquifères) et sous forme de flux. C'est surtout à ce dernier aspect qu'on s'intéressera ici. Les flux s'expriment en volumes écoulés sur un intervalle de temps donné, ou par des débits qui sont des volumes écoulés par unité de temps : on apportera une attention particulière aux débits maximaux et aux débits minimaux. Tous ces volumes (apports) et débits sont toujours à considérer d'un point de vue quantitatif et souvent d'un point de vue qualitatif (par exemple la salure et ses variations).

Par ailleurs, l'activité de l'homme, et même simplement sa manière d'exister, se traduit par des besoins en eau qu'il cherche à satisfaire (demande). Pour tâcher d'obtenir satisfaction, ou bien il se contente de prendre l'eau disponible et de «faire avec», au besoin en se privant, ou bien il essaye de stocker, de transférer, et c'est l'aménagement des eaux. Il y a donc une véritable confrontation entre

les demandes de l'homme et les ressources disponibles.

Cette confrontation peut s'effectuer en l'état naturel, et, en cas de constatation d'échec, donner lieu à un système plus ou moins élaboré de gestion des eaux. Dans un stade avancé de prise de conscience, cette notion de gestion peut conduire parfois à une certaine planification de l'utilisation des ressources en eau ; il est très rare qu'en pratique cette planification soit très poussée. Quoi qu'il en soit, et même parfois sous une forme relativement primitive, le désir d'améliorer pour son usage la répartition spatio-temporelle de la ressource conduit inévitablement à :

- une certaine réglementation, voire une législation ;
- des aménagements non structuraux ;
- des aménagements structuraux.

D'une manière générale un aménagement structural, ou une composante structurale d'un aménagement, est celui (ou celle) qui met en œuvre la construction d'ouvrages : barrage, canal, conduite, etc. Un aménagement non structu-

ral est donc celui qui n'entraîne pas la construction d'ouvrages : système d'alerte, service de prévision, programme d'exploitation, etc.

Une fois l'aménagement réalisé, il peut avoir des aspects négatifs (par exemple sur l'environnement) et, on l'espère, des aspects positifs. Tout cela doit être soigneusement évalué avant toute réalisation.

On ne peut concevoir un aménagement des eaux quelconque, et à plus forte raison une gestion globale des eaux, s'il n'y a pas de besoin ou si les besoins ne sont pas exprimés. Il peut s'agir de besoins immédiats se traduisant par une demande actuelle (stade de la conception et de la réalisation des aménagements) ou de besoins futurs dont l'expression est liée à une prévision du développement (conjoncture) : si on se préoccupe de l'évaluation de tels besoins et de leur évolution dans le temps (pour différents horizons), on dit qu'on fait de la planification des eaux.

Quel que soit le point de vue envisagé, il est nécessaire de disposer, en face de la demande correspondant aux besoins, d'une ressource en eau. C'est le rôle de l'hydrologie appliquée aux aménagements d'évaluer cette ressource, d'en définir la nature (par exemple : eaux de surface, eaux souterraines), la quantité, la qualité, leurs valeurs moyennes et leurs distributions dans le temps et dans l'espace. Elle a besoin pour cela

- de rassembler des informations (acquisition des données) ;

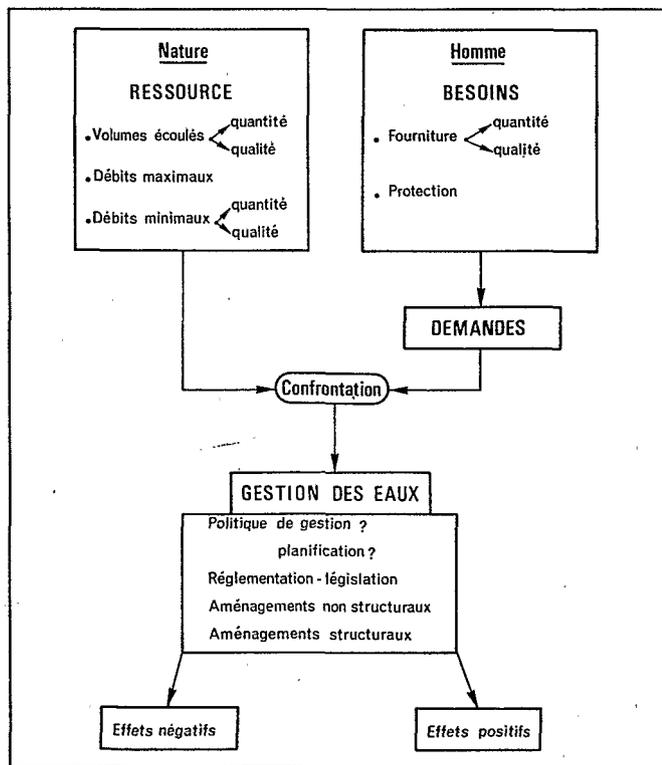


Fig. 1. — Comment se pose le problème de l'aménagement des eaux.

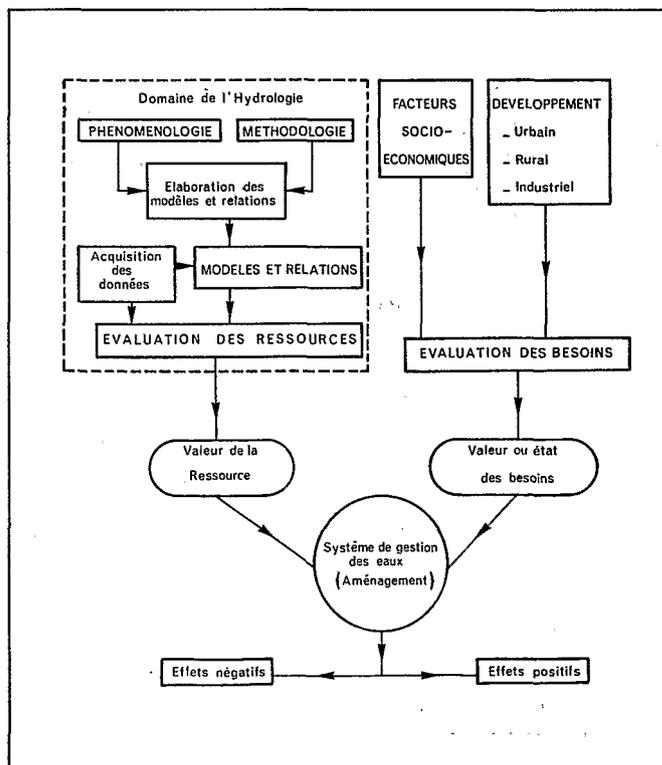


Fig. 2. — Place de l'hydrologie dans l'aménagement des eaux.

- de préciser le mécanisme des phénomènes (recherche phénoménologique) afin de fournir à la
- recherche méthodologique des bases physiques pour préciser et améliorer progressivement les relations entre les composantes du cycle de l'eau et la modélisation de ce cycle;
- de mettre au point des méthodes d'analyse pour notamment exprimer numériquement la distribution des phénomènes dans le temps et dans l'espace.

La conjonction des valeurs (dans un schéma productif) ou des états (dans un schéma de protection: par exemple, la défense contre les crues) des besoins, et des valeurs de la ressource, permet de rechercher la meilleure manière de disposer un aménagement pour que les secondes satisfassent les premières: c'est l'optimisation d'un système de gestion des eaux.

2. Rôle de l'hydrologie

La mission finale de l'hydrologie, dans son assistance à l'aménagement des eaux, implique donc la prise en considération de plusieurs aspects:

- la recherche qui se subdivise elle-même en phénoménologie (en gros: étude physique des composantes du cycle de l'eau et de leurs inter-relations) et en méthodologie, chargée de mettre au point des outils de gestion et d'étude;
- l'hydrologie opérationnelle qui comporte deux volets essentiels: la conduite des services hydrologiques et l'exploitation des réseaux d'observation et de mesure et la prévision des hauteurs et des débits.

Tout cela se retrouve au niveau de l'ingénierie dont la tâche essentielle est la conception des aménagements, en particulier des ouvrages, mais qui n'est pas étrangère à l'exploitation de ces aménagements.

De ce point de vue, on peut dire que la recherche hydrologique, sous toutes ses formes, est chargée de fournir à l'hydrologie opérationnelle et à l'ingénierie les outils dont elles ont besoin pour procéder à l'inventaire des ressources et mettre au service de la gestion des eaux les évaluations et les calculs hydrologiques qui lui sont nécessaires.

La recherche précède donc logiquement l'avancement de l'hydrologie opérationnelle et de l'ingénierie qui, à leur tour, l'alimentent en information, et permettent de tester la validité et l'efficacité de ses résultats (effet en retour). En pratique, la frontière est beaucoup moins nette et à part quelques recherches phénoménologiques bien spécifiques, recherche, hydrologie opérationnelle et ingénierie sont souvent intimement mêlées.

La recherche phénoménologique s'occupe donc essentiellement de l'étude des composantes du cycle terrestre de l'eau, et de leurs inter-relations. Ces composantes sont notamment:

- les précipitations, dont la genèse est surtout étudiée par les météorologistes et les physiciens de l'atmosphère. L'hydrologue s'intéresse surtout à leur mesure et aux résultats qui en découlent, entre autres leurs répartitions temporelle et spatiale;
- l'évaporation et l'évapotranspiration; la recherche phénoménologique dans ce domaine permet d'affiner la mise au point de relations qui permettent

de calculer ces paramètres à partir d'autres paramètres climatiques plus couramment mesurés, et de mettre au point des méthodes directes de mesure des flux de vapeur. Du point de vue de l'aménagement des eaux ces paramètres sont intéressants à plusieurs point de vue:

- directement, pour l'évaluation de l'évaporation sur les retenues, qui entre notamment dans les modèles de simulation des aménagements; pour l'évaluation du besoin en eau des plantes et les calculs de demandes d'eau dans les projets d'irrigation (besoin en eau-précipitation);
- indirectement dans certains modèles de bassin versant utilisés eux-mêmes pour déterminer les apports et les crues;
- l'infiltration dont l'estimation est importante pour certains modèles de bassin et pour la mise en œuvre de méthodes dérivées de l'hydrogramme unitaire. Son étude est délicate car sa valeur dépend non seulement des caractéristiques de l'averse qui lui donne naissance et des propriétés hydrodynamiques du sol qui reçoit cette averse, mais de l'état, transitoire, d'humectation du sol au moment où se produit l'événement. Dans les mesures directes de l'infiltration, il importe de conserver autant que possible le mode d'application de l'eau précipitée; d'où l'utilisation de plus en plus fréquente des simulateurs de pluie, ou infiltromètres à aspersion;
- le comportement général du bassin dont la connaissance est indispensable, notamment en ce qui concerne ses relations avec des caractéristi-

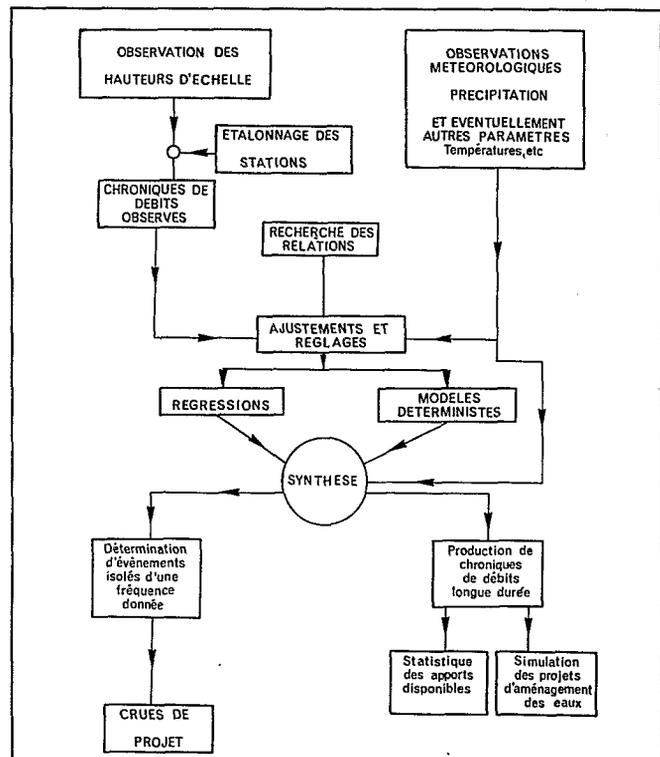
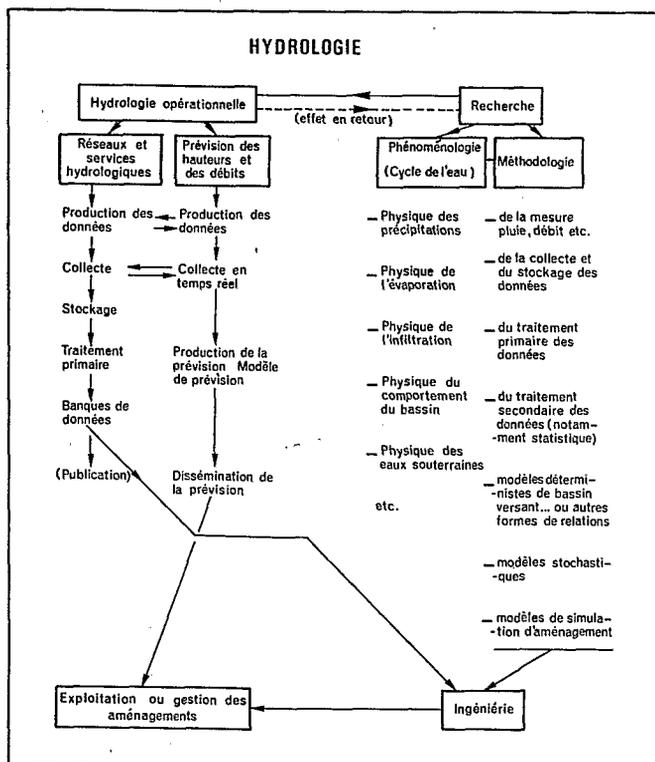


Fig. 3. — L'organisation interne de l'hydrologie.

Problèmes spécifiques aux pays en développement.

ques du bassin (morphologiques par exemple) identifiables et si possible numérisables, pour la transposition de résultats de bassins hydrologiquement connus à des bassins hydrologiquement inconnus;

- les nombreuses caractéristiques des nappes souterraines et des écoulements souterrains.

3. La recherche méthodologique

La recherche méthodologique fait certes appel parfois aux résultats de la recherche phénoménologique, mais elle a son champ d'action propre qui absorbe en fait la plus grande part de ses activités. Parmi les nombreux domaines qui la concernent, on citera sans trop s'étendre :

- la méthodologie de la mesure : hydro-métrie (hauteurs, débits...), climatologie (précipitations, évaporation...), etc. ;
- la collecte et le stockage des données ;
- le traitement primaire des données ;
- le traitement secondaire des données, notamment les statistiques ;
- les modèles mathématiques de bassins versants et les autres formes de relation permettant de transformer des événements (ou des séries) climatologiques (notamment précipitations) en événements (ou séries) hydrologiques ;
- les modèles stochastiques, notamment les processus utilisés pour la fabrication de débits (ou pluies, ou autres) synthétiques ;
- les modèles de simulation des aménagements.

4. L'hydrologie opérationnelle

En hydrologie opérationnelle, les services hydrologiques sont avant tout chargés de concevoir, installer et exploiter des réseaux de mesure (hydrométrie, pluviométrie, etc.), d'effectuer la collecte, la transmission et le stockage des données et, à un stade plus avancé, d'établir des banques de données. Les services ont aussi la plupart du temps des fonctions de dissémination des données (plus ou moins élaborées), notamment sous forme d'annuaires hydrologiques. Ils peuvent également, suivant les cas, être chargés de certains aspects de la recherche et/ou d'élaborer et de fournir des prévisions.

La prévision des hauteurs et des débits est une activité éminemment opérationnelle puisqu'elle doit permettre à très court terme d'élaborer des décisions qui peuvent peser lourdement sur la sauvegarde de la vie humaine et des biens. La production des données (hauteurs d'eau, pluies, etc...), qui est à la base de la prévision, est tout à fait analogue à celle qui est requise pour la mise à jour des banques de données ; elle doit toutefois être conçue pour que la collecte des données pro-

duites et leur mise à disposition, au travers d'un système de transmission approprié, soient possibles en temps réel. A partir de ces données, la production d'une prévision demande la mise en œuvre de modèles particuliers dont les fonctions de transfert ont sur les résultats un impact particulièrement important. Le service chargé de la prévision hydrologique doit en général en assumer la dissémination.

Il faut noter que la fonction de prévision ne se limite pas à la protection des vies et des biens contre des événements catastrophiques. Elle peut être essentielle pour la gestion des aménagements, et notamment pour l'exploitation rationnelle des barrages réservoirs.

La suite des opérations à effectuer pour arriver à un objectif défini n'est pas uniforme. Elle dépend avant tout de la nature des informations réellement disponibles, qui peut aller de la connaissance complète des débits sur une longue période au site même de l'aménagement, à un bassin totalement dépourvu d'observations hydrologiques et pour lequel on ne dispose que de séries climatologiques, et encore pas toujours dans le bassin lui-même, et même à une absence totale de données d'aucune sorte. Elle dépend aussi de l'état de la méthodologie et des connaissances du concepteur.

Dans la plupart des cas, la situation est intermédiaire, c'est-à-dire qu'on dispose à une ou plusieurs stations, situées dans le bassin ou à proximité, de périodes d'observation des débits d'une certaine durée et, à un nombre variable de stations climatologiques, de données notamment pluviométriques sur de plus longues périodes.

Dès lors, une démarche générale peut être la suivante :

D'une part, le service hydrologique local exploite un réseau hydrométrique dont il a tiré, pour les stations intéressant le projet :

- des séries d'observation de hauteurs d'eau (A) ;
- des séries de jaugeages qui vont lui permettre d'établir pour chaque station des courbes d'étalonnage (relations hauteurs-débits) (B) ;
- en appliquant B sur A, des chroniques de débits observés aux différentes stations.

D'autre part, le service météorologique peut fournir, pour les stations intéressant le projet, des séries de valeurs de paramètres climatologiques, précipitations, températures... sur des périodes souvent plus longues que celles des observations hydrologiques.

Grâce à la recherche méthodologique, on dispose par ailleurs de méthodes permettant d'exprimer les relations entre les paramètres hydrologiques (débits) et les paramètres climatologiques : il s'agit soit de corrélations simples ou multiples, soit de modèles déterministes de bassins ver-

sants. La connaissance simultanée de séries de valeurs hydrologiques et climatologiques sur une période commune permet de déterminer les valeurs particulières, pour chaque bassin concerné, des paramètres des formules de régression (ajustement) ou des modèles déterministes (réglage du modèle).

L'introduction, dans ces modèles ou relations, des données climatologiques observées durant la période excédentaire par rapport aux séries hydrologiques, permet d'effectuer la synthèse (ou simulation) de nouveaux événements hydrologiques, ou de nouvelles séries de débits, augmentant ainsi la durée des périodes ou le nombre des événements connus et par suite la quantité d'information disponible pour le projet.

Cet accroissement de l'information permettra d'augmenter la confiance qu'on peut accorder aux évaluations finales des éléments hydrologiques du projet, soit dans le calcul des crues de projet (statistique d'événements ou synthèse d'hydrogramme exceptionnel), soit dans l'estimation des productibles (simple fourniture ou énergie hydro-électrique) généralement obtenue par la simulation de l'exploitation des aménagements.

Le problème de la nature des données à élaborer pour un certain type de projet, et du choix des méthodes à mettre en œuvre, a souvent été traité. L'Unesco a publié un ouvrage de synthèse sur «les calculs hydrologiques appliqués aux aménagements» qui peut être considéré comme texte de référence. Il vise surtout à la classification et ne décrit pas les méthodes en détail : il renvoie à des références spécifiques.

Sans vouloir être exhaustif, le tableau de la figure 5 donne une idée de la méthode de classification concernant les relations entre les objectifs des aménagements, les types d'aménagements (notamment les catégories d'ouvrages) et les données hydrologiques dont on a besoin pour calculer leurs caractéristiques.

La colonne de gauche mentionne quelques-uns des objectifs les plus courants :

- fourniture d'eau ;
- fourniture d'énergie (hydro-électricité) ;
- protection contre les crues.

La colonne du centre mentionne les types d'aménagements les plus courants :

- les barrages et prises d'eau, qui peuvent être associés à des réservoirs, ou pas ;
- digues de protection (endiguement généralisé ou protection d'objectifs individuels) ;
- débouchés d'ouvrages : notamment passages routiers et ferroviaires ;
- aménagement du lit majeur.

Dans la colonne de droite, on a listé des variables hydrologiques les plus couramment élaborées :

- Pour les débits : débits moyens journaliers. (séries), QJ ; débits moyens

OBJECTIFS	TYPES D'AMENAGEMENT	DONNEES HYDROLOGIQUES ELABOREES
(FE) fourniture d'eau	Barrages et prises d'eau	Avec réservoir(s) (BR) Débits
(HE) hydro-électricité		Sans réservoir (fil de l'eau) (BF) -moyens journaliers (série) (QJ)
(PC) protection contre les crues	Digués de protection	(DP) -moyens mensuels (série) (QM)
		(DO) -moyens annuels (série) (QA)
	Débouchés d'ouvrages (petite hydraulique)	(DO) -statistique des QJ (SQJ)
		(DO) -statistique des QM (SQM)
	Aménagement du lit majeur	(AL) -statistique des QA (SQA)
		(AL) -statistique de débits maxi (SQ MAX)
		(AL) -statistique de débits mini (SQ MIN)
		-Hydrogramme de crue de fréquence F (HYDRO F)
		Lois hauteurs-débits (LHQ)
		Hauteurs d'eau
		-Répartition statistique des hauteurs maximales (SHM)
		Répartition statistique des durées de dépasse-ment d'une hauteur donnée (SDH)

Fig. 5. — Classification des projets et données utiles.

Si on prend le cas d'une fourniture d'eau (FE), on peut espérer satisfaire l'utilisateur avec une simple prise en rivière sans effectuer de stockage, tout au moins sur une durée supérieure à la journée ou à la semaine (BF). Les données hydrologiques nécessaires au calcul du projet seront des séries de débits journaliers, dont on tirera éventuellement les débits caractéristiques, et une statistique des débits maximaux pour le calcul de la crue de projet (protection des ouvrages de prise). En option, l'aspect productif de l'aménagement pourra être traité en utilisant directement une statistique préétablie des débits moyens journaliers.

Si on est obligé d'assurer une régularisation (stockage saisonnier ou même interannuel-BE) on procédera souvent par simulation en utilisant des séries de débits moyens mensuels (rarement journaliers). Si on veut tenir compte du laminage dans le réservoir, le calcul de la crue de projet devra faire appel à la notion d'hydrogramme de crue de fréquence donnée.

Dans le cas d'un aménagement hydro-électrique, la simulation pourra rarement se contenter des débits moyens mensuels, mais devra en général faire appel à des séries de débits moyens journaliers, à cause de la variation de la charge. Il faudra également introduire la loi hauteur-débit au point de restitution si le marnage en ce point n'est pas négligeable devant la charge minimale admise.

Les problèmes de protection de périmètres ou d'objectifs par endiguement, ou les endiguements généralisés, feront appel à des statistiques de hauteurs d'eau. Etc.

mensuels (séries), QM; débits moyens annuels (séries), QA; statistiques des QJ; statistiques des QM; statistiques des QA; statistiques des débits maximaux; statistiques des débits minimaux; hydrogramme de crue de fréquence donnée;

- lois hauteurs-débits (surtout aux points de restitution des ouvrages hydro-électriques);
- pour les hauteurs d'eau: répartition statistique des hauteurs maximales,

et répartition statistique des durées de dépassement d'une hauteur d'eau donnée.

Sur le tableau précédent, chaque élément a été affecté d'un sigle afin de simplifier la représentation de leurs inter-relations. Le graphique de la figure 6 montre quelques-unes de ces relations qui définissent finalement quelles sortes de données sont nécessaires à l'établissement de tel type de projet, destiné à atteindre tel objectif.

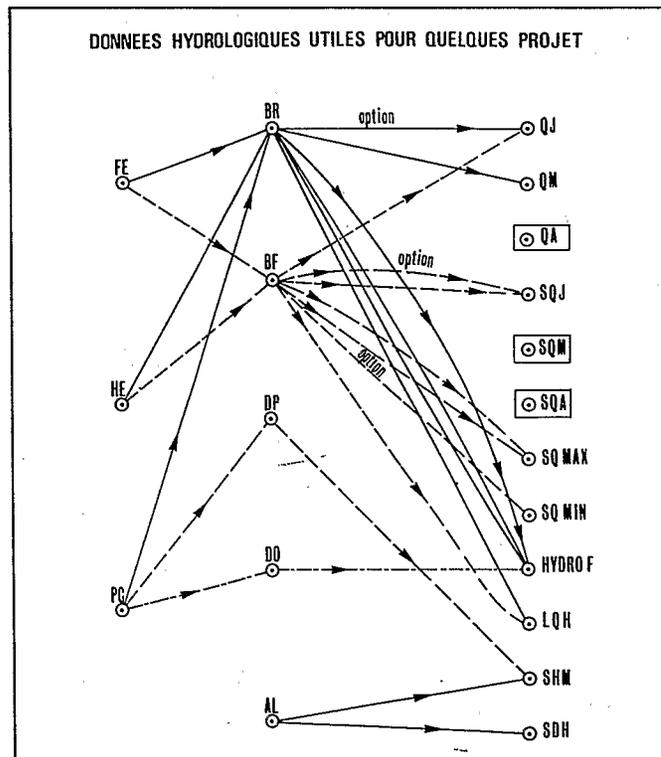


Fig. 6. — Relations entre objectifs, types d'aménagement et données utiles.

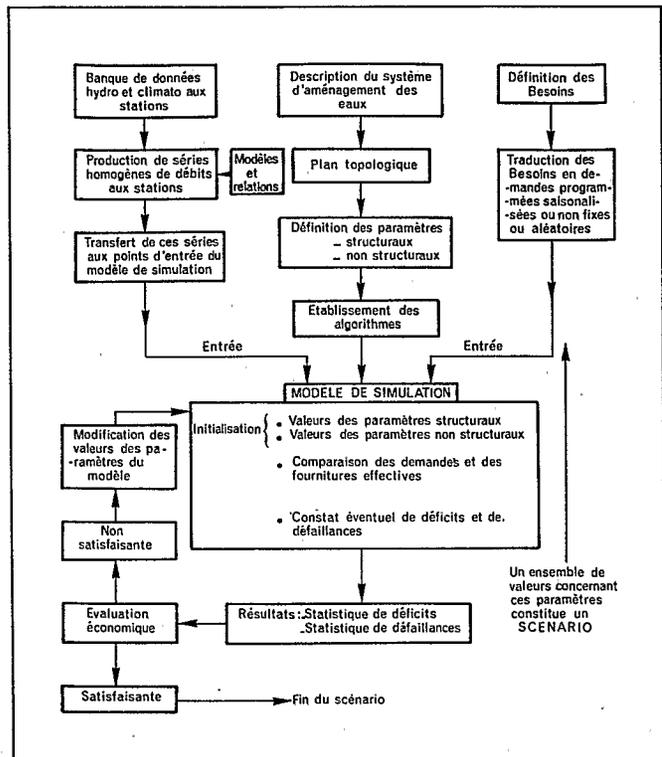


Fig. 7. — Un exemple général d'application à un aménagement technique de simulation.

L'étude d'un projet d'aménagement débute en général par la définition des besoins. Ce terme simple cache une réalité extrêmement complexe dans laquelle se mêlent des considérations de politique nationale et locale (surtout s'il s'agit d'un projet important concernant plusieurs catégories d'usagers), l'action de groupes de pression, etc... Ces débats ne concernent pas l'hydrologue en tant que tel. Ce qui l'intéresse, par contre, c'est le résultat de la mêlée qui se traduit pour lui par un ensemble de demandes programmées qui peuvent être affectées de variations saisonnières, voire de variations cycliques sur plusieurs années (rotation d'assolement pour l'irrigation), qui peuvent être fixes ou aléatoires. Un ensemble cohérent de valeurs de ces demandes constitue un scénario; il sert d'entrée au modèle de simulation.

Dans le même temps, on dresse l'inventaire de la ressource en eaux dans la région intéressée par le projet et éventuellement dans d'autres régions si des transferts interrégionaux doivent ou peuvent être envisagés. Cet inventaire est basé sur les banques de données existantes; un programme de mesures complémentaires est souvent mis en œuvre, surtout pour faciliter le transfert des séries de données aux points d'entrée dans le modèle de simulation, pour établir si nécessaire des lignes d'eau et pour établir des relations hauteurs-débits, aux points de restitution en cas de production hydro-électrique. A partir des données existantes, on s'efforce d'étendre les séries de débits en utilisant les séries, généralement plus longues, de données climatologiques, notamment pluviométriques. Enfin, l'ensemble de cette information est transféré aux points d'entrée du modèle de simulation.

Il faut alors élaborer ce modèle de simulation. Cela commence par une description du système d'aménagement des eaux dans laquelle on s'efforce d'introduire la totalité des potentialités (sites de barrages, transferts, points de prélèvements, nappes souterraines, aires d'utilisation, etc.) permises par la morphologie superficielle et souterraine du ou des bassins et imposées par la répartition géographique des demandes. Tous ces éléments ayant été identifiés (y compris leur position dans l'espace), on les ordonne dans un plan topologique qui rend compte de leurs positions respectives et des liaisons naturelles (par le réseau hydrographique) ou artificielles (transfert, pompage) qui permettent le transit des eaux de l'un à l'autre.

On identifie ensuite les paramètres relatifs à chaque élément (hauteur d'un barrage, capacité de débit d'une conduite ou d'un canal) et aux consignes d'exploitation (cotes d'alertes, priorités dans le choix des points de prélèvement, etc.). On établit enfin les différents algorithmes traduisant le fonctionnement de

l'ensemble; et le modèle de simulation d'aménagement est prêt à fonctionner. Pour chaque scénario, on procède à une série d'essais destinée à optimiser les valeurs des paramètres structuraux et des consignes (ou paramètres non structuraux). Un essai débute par l'initialisation des valeurs de ces paramètres: on opère parfois par paquet d'essais, les valeurs de certains paramètres étant alors générées par incrémentation au sein d'une boucle de calcul. Au cours des calculs, le modèle procède par comparaison des demandes (fournies par le scénario) avec les fournitures possibles compte tenu des contraintes d'exploitation (consignes); il constate les défaillances (lorsque le contrat n'est pas rempli) et les déficits (différence entre la demande et la fourniture effective).

Pour chaque essai on effectue une statistique des déficits et des défaillances et, si on veut bien faire les choses, on soumet le tout à un calcul économique qui devrait tenir compte notamment:

- du coût des investissements (paramètres structuraux);
- des pertes de vente d'eau ou d'énergie dues aux déficits et/ou aux défaillances;
- des pénalités pour rupture de contrat qui devraient représenter les pertes induites par le défaut de fourniture d'eau ou d'énergie.

Quand on a obtenu l'optimisation, ou tout au moins un équipement et un fonctionnement jugés satisfaisants à la lumière de critères plus ou moins objectifs ou carrément subjectifs, les travaux relatifs au scénario étudié sont terminés; sinon on modifie les valeurs des paramètres et on recommence.

Il est pratiquement exclu d'étudier un seul scénario, ne serait-ce que parce le programme des demandes dans un futur même prochain est toujours aléatoire: il est donc tout indiqué d'échantillonner les scénarios.

Certains caractères particuliers des pays en voie de développement (PED) justifient que l'on considère à part certains aspects de l'hydrologie en général et de l'application des données et des méthodes hydrologiques au calcul des aménagements.

Aspects climatiques

Pour une très grande part, les PED sont situés dans la ceinture intertropicale ou dans sa proximité. Cela veut dire qu'il y fait généralement chaud, mais les variations climatiques de cette zone sont très importantes et particulièrement influentes sur les régimes hydrologiques.

Il y a d'abord la variation du degré d'aridité qui, pour des températures du même ordre, dépend essentiellement de la pluviométrie. De ce point de vue, on distingue classiquement:

- le climat désertique: pluies occasionnelles, plusieurs années pouvant se passer sans pluie;

- le climat subdésertique: précipitation annuelle inférieure à 300-350 mm;
- le climat sahélien: 300-750 mm;
- le climat tropical sec: 750-1200 mm;
- le climat tropical humide, qui inclut la variante équatoriale: plus de 1200 mm.

Cette classification correspond, à l'intérieur de chaque classe, à une assez bonne similitude des régimes climatiques tant qu'on reste en plaine, ou tant que le relief n'a pas une influence décisive sur le régime des températures, ni sur la genèse des précipitations. Lorsque cette influence devient prépondérante, aussi bien par l'effet de l'altitude que par celui du gradient d'altitude (dit: effet orographique), on a affaire à une classe particulière de climats tropicaux: les variantes tropicales de montagne. Sous l'influence de ces différents facteurs, les relations précipitations-débits, par exemple, sont caractérisées par une importance particulière du paramètre évaporation. Du point de vue de la protection contre les crues il importe aussi de faire une distinction entre les régions soumises à l'action des cyclones tropicaux et celles qui ne le sont pas.

Acquisition des données

Bien qu'il faille se garder de généraliser et que les exceptions soient nombreuses, les distances dans les PED sont souvent grandes, les voies d'accès difficiles, la densité de population faible et répartie de façon très inégale, la scolarisation faible ou très faible. Il en résulte:

- des difficultés de liaison et une usure rapide du matériel roulant qui se traduisent par des difficultés accrues pour assurer l'entretien des stations et le contrôle des observateurs, des difficultés également pour étalonner les stations, surtout si les crues sont rapides;
- des difficultés pour le recrutement d'observateurs capables.

Ces circonstances sont peu favorables à l'obtention de données de bonne qualité à des coûts raisonnables.

Le développement récent de l'électronique et des techniques spatiales apportera peut-être une solution à un certain nombre de ces problèmes grâce à la conception d'appareils et de systèmes nouveaux permettant:

- de réduire l'intervention humaine à des tâches de surveillance et d'entretien;
- d'accroître considérablement la fiabilité des appareils eux-mêmes en réduisant, voire même en supprimant, les parties mécaniques (celles qui tournent et celles qui sont animées de mouvements linéaires);
- de garantir une transmission quasi parfaitement fiable et de faciliter ainsi la surveillance à distance des appareils, donc de réduire au strict minimum les interventions.

Pour l'instant tout au moins, les nouvelles techniques ne permettent pas encore de régler le problème de l'étalonnage des stations mais constituent dès maintenant un outil d'un intérêt considérable pour la réduction des coûts et l'augmentation de la fiabilité dans l'acquisition des données.

Faible degré de développement

Il s'applique aussi à l'aménagement des eaux. Dans un certain sens et dans certains cas, cette faiblesse peut faciliter la planification: il paraît plus facile de tout faire sur rien plutôt que de devoir s'encombrer d'un héritage parfois pesant. C'est un point de vue plutôt simpliste car si l'exercice de style est aisé, la mise en application, et surtout le «démontage», qui eux dépendent de moyens financiers, de l'ambiance technologique du pays

concerné et... de facteurs politiques parfois aigus, sont une tout autre affaire. Une caractéristique qui semble se dégager, mais de façon pas nette du tout, serait une prédominance des besoins en petite hydraulique. La cause en est défendue, de manière parfois passionnée, notamment par ceux qu'on appelle les tiers-mondistes; chez les intéressés, les avis sont partagés, de même que chez les experts qui font profession de garder la tête froide. Personnellement, je suis perplexe.

Ce qui paraît certain en tout cas, c'est que, dans la plupart des pays en voie de développement, surtout chez ceux de la ceinture intertropicale, l'heure n'est pas à la recherche, mais à l'hydrologie opérationnelle qui devrait être considérée comme une priorité absolue. Les outils issus des différents types de recherche

sont actuellement largement disponibles et des programmes internationaux tels que le SHOFM¹, conduit par l'OMM², font des efforts louables pour les disséminer.

C'est un point que toute formation en hydrologie qui prétend apporter une aide réelle au développement des eaux dans les PED devrait bien garder à l'esprit.

¹ Sous-programme d'hydrologie opérationnelle à fins multiples.

² Organisation météorologique mondiale.

Adresse de l'auteur:

Marcel F. Roche
Président du Comité français
des sciences hydrologiques
53, boulevard de la Villette
F-75010 Paris

Industrie et technique

Une demi-tonne de détritiques par personne

Que font les Suisses de leurs déchets?

La société d'abondance laisse des traces. En Suisse, chaque individu produit en moyenne plus de 400 kilos de déchets divers par année. Au total, 2,4 millions de tonnes de détritiques dont certains présentent un risque pour la santé et l'environnement. Qu'advient-il de cette montagne de rebut?

Un million cent mille tonnes en 1960, 2,4 millions en 1983: la quantité de déchets produits en Suisse a donc plus que doublé en moins de vingt-cinq ans pour une population pratiquement stable. Le public ne se préoccupe guère du sort de ces détritiques, parce que leur évacuation est discrète et efficace et que le nombre et la taille des décharges visibles sont en régression.

Disons-le tout net! Dans l'ensemble, les déchets que nous produisons sans compter sont correctement gérés. On estime que 96% d'entre eux sont éliminés de façon systématique: 70% par l'incinération, 10% par compostage et 20% dans les décharges contrôlées. Les 100 000 tonnes de déchets restant (4%) aboutissent dans les quelque 500 décharges sauvages recensées dans le pays.

Un bilan global somme toute positif. Pourtant, une analyse plus détaillée du sort des différentes catégories de déchets fait apparaître des zones d'ombre parfois inquiétantes. C'est ainsi que même les usines d'incinération ne sont pas à l'abri de tout reproche. Une enquête a révélé que dans une de ces installations de combustion sur deux environ, les eaux usées ne font l'objet d'aucune épuration. Et puis, le nettoyage des gaz qui s'échappent par les cheminées n'est toujours pas réglementé.

Le poids de la cuisine

Autre souci pour les réposés à la gestion des déchets: la multiplication de nouveaux matériaux dans la fabrication d'objets usuels. Et l'on constate ici une inflation de combinaisons chimiques complexes dont le traitement est d'autant plus difficile. Pour limiter les risques sur l'environnement, il convient par conséquent de multiplier les possibilités de triage préalable.

Les pouvoirs publics s'y emploient depuis quelque temps déjà, comme en témoignent les ramassages périodiques de piles, d'huiles usées, de verre ou de papiers. Mais pour aller plus loin dans cette direction, les bases légales nécessaires font parfois cruellement défaut. Encore fallait-il, pour les préparer, sonder avec précision le contenu de nos poubelles.

C'est ce travail de recensement qui a été réalisé en 1983 par un bureau d'ingénieurs de Lucerne à la demande de la Confédération. Or qu'a-t-on découvert? Le groupe le plus important (45%) est formé de la masse des déchets ménagers — pour moitié de détritiques de cuisine. Le papier et le carton représentent, avec 25%, une autre part essentielle des rebuts. La part des matières synthétiques est estimée à 10%. Le solde, soit 20%, est constitué par les métaux, les textiles, le bois et d'autres substances minérales.

Montagne d'emballages

La masse des déchets produite par individu, nous l'avons dit, a pratiquement doublé au cours des 25 dernières années. Cette inflation a plusieurs causes. Parmi elles, une amélioration générale du train de vie et, surtout, l'avènement de la société du «libre-service» entraînant avec elle le triomphe de l'emballage.

Aujourd'hui, cet emballage se substitue au vendeur. Il faut donc le rendre attractif. C'est la raison

pour laquelle on ne compte plus les produits de consommation emballés plusieurs fois: fruits, chocolat, fromages, viandes s'offrent désormais sous papier glacé en quadrichromie.

A cette dimension quantitative du problème s'en ajoute une autre: les déchets toxiques, qui sont souvent d'autant plus dangereux qu'ils existent en petites quantités. Seveso est encore dans toutes les mémoires, à plus forte raison après la récente odyssee européenne des fûts de dioxine. A Berne, on prend cette question très au sérieux. Un projet d'ordonnance sur «le mouvement des déchets dangereux» est actuellement en consultation.

Ce projet vise à réglementer l'importation, l'exportation et le transit des résidus qui présentent un risque élevé pour l'homme et son environnement tels les sels cyanurés, les solvants contaminés, le PCB, le cadmium ou le mercure. Or il s'agit d'une disposition légale sur «le mouvement» des déchets, leur transport et leur manutention qui ne réglera toutefois pas, et de loin, la question de leur élimination.

Déchets radioactifs

A tout prendre, la toxicité de certaines de ces substances exigerait que l'on traite leur élimination avec autant de soins que l'on consacre à la gestion des déchets radio-actifs. Nul doute que ces derniers présentent un risque potentiel élevé et qu'il ne faut rien négliger pour les mettre hors de portée des hommes.

Pour éviter un tel risque, le législateur a été sans pitié. Il a exigé que tous les déchets radio-actifs soient stockés pour des temps infinis dans des couches géologiques inaccessibles et imperméables. Or nos cinq centrales nucléaires produisent par année et par habitant 600 grammes de déchets faiblement et moyennement actifs et seulement 3 grammes de résidus de haute activité, et ce, y compris les matériaux de solidification (ciment ou verre); 603 grammes de matériaux solidifiés et conditionnés à mettre en

regard des 400 kilos de déchets globaux et des milliers de tonnes de gaz toxiques (SO₂, NO, etc.) rejetés tels quels dans l'air que nous respirons.

A ce titre, les travaux géologiques et de conditionnement menés en Suisse par la Cedra (et à l'étranger par des organismes similaires) apporteront sans doute des enseignements utiles pour l'élimination d'autres substances très dangereuses qui, contrairement aux déchets radio-actifs, conservent indéfiniment leur toxicité.

Jean-Pierre Bommer

Quels déchets?

En Suisse, les déchets produits par année et par personne se présentent ainsi:

Déchets solides
— 400 kg de boue de décantation
— 370 kg de déchets ménagers
— 40 kg de déchets industriels
— 140 kg d'autres déchets divers

Déchets gazeux
— 135 kg de monoxyde de carbone
— 25 kg d'anhydride sulfurés
— 20 kg d'oxyde d'azote
— 15 kg de poussières
— 5 kg de carbure d'hydrogène
— 1000 kg d'anhydride carbonique

Déchets radio-actifs
(issus des centrales nucléaires)
— 600 grammes de déchets de faible et moyenne activité
— 3 grammes de déchets de haute activité
(dont plus de 90% de matériaux d'emballage non radio-actifs)