

II COMMUNICATION N° 13

TITRE : CONCEPTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES
CRITERES D'UTILISATION DES EAUX

AUTEUR : ORSTOM (M. MONIOD)

RESUME

La simulation du fonctionnement d'un aménagement hydraulique en projet est la façon la plus objective qui soit de tester l'adéquation des ouvrages à l'exploitation qu'on compte faire des ressources en eau. La stabilité des caractéristiques de la ressource d'une part, la fixité de l'état du système d'eau et du montant des besoins à satisfaire à des horizons successifs de la prospective d'autre part, permettent de juger des performances de l'aménagement face à l'évolution des besoins en eau. L'hypothèse de stabilité de la ressource est indispensable pour interpréter les résultats de la simulation. Si les caractéristiques de la ressource sont évolutives dans le temps, elles devront être prédéterminées aux dates correspondant aux horizons à simuler : problème de prévision.

Les conditions initiales imposées au système en début de période de simulation jouent d'autant plus sur les performances que cette période est plus courte, aussi la phase de remplissage d'une grande retenue doit-elle faire l'objet d'une simulation distincte.

Les diverses demandes en eau adressées à un même réservoir peuvent être satisfaites en suivant un ordre de priorité naturel ou convenu, mais l'introduction de restrictions préventives à la fourniture d'eau peut contribuer à écrêter les pics intolérables de pénurie en étalant les déficits sur une plus longue durée.

La conception des ouvrages hydrauliques naît du désir d'utiliser les ressources en eau, en les maîtrisant, pour satisfaire au mieux les besoins en eau exprimés. Une fois fixé l'objectif à atteindre, la conception des ouvrages est guidée par une foule de critères d'ordre politique, économique, sociologique, géographique, technique, topographique, etc.. Elle débouche sur un Avant Projet, qui se transformera en Projet lorsque les choix et les déterminations définitives auront été arrêtés. Avant d'aller plus loin vers sa réalisation, il est souhaitable de tester jusqu'à quel point le système d'eau qui a été conçu peut donner satisfaction, c'est-à-dire dans quelle mesure seront atteints les objectifs qu'on s'est assignés.

La simulation du fonctionnement du système d'eau, à l'aide d'un modèle mathématique spécialement élaboré pour la circonstance, est la façon la plus objective qui soit de réaliser ce test. Dans son principe, la simulation consiste à confronter la ressource "aménagée" aux besoins en eau, à chaque pas de temps d'une longue période au cours de laquelle on fait fonctionner fictivement le système d'eau. En établissant les bilans hydrauliques à chaque pas de temps, on met en lumière les performances et les contre performances de l'aménagement, et on souligne le cas échéant ses insuffisances pour les corriger.

I - QUELQUES PRINCIPES POUR SIMULER LE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME D'EAU

La ressource en eau est présentée sous la forme d'une longue chronique continue, celle des apports par exemple, et les besoins en eau ou plutôt les demandes destinées à satisfaire ces besoins, le sont par une chronique concomitante, conventionnellement fixée ou calculée à partir d'une chronique concomitante de données climatiques. La période commune que recouvrent ces chroniques est la période de simulation.

Le fonctionnement est simulé durant cette période alors que le système d'eau est maintenu dans un état figé. Cela veut dire que pendant la période de simulation aucune modification n'est apportée au complexe physique et technique des aménagements, pas plus qu'aux règles et consignes de gestion des ouvrages. A chaque essai de simulation couvrant toute la période, correspond un état du système qui diffère d'un essai à l'autre par les modifications qu'on apporte aux structures, aux besoins, ou aux règles de gestion. Rapportées à cet état du système, les performances et contre performances manifestées dans le fonctionnement simulé sont analysées en termes de probabilité. Pour des états successifs, on réalise une succession d'essais. Echelonner ces états dans l'avenir proche conduit à prévoir dans la même prospective les probabilités des performances du système d'eau à attendre à des dates successives.

C'est la permanence de l'état du système pendant la période de simulation qui permet d'interpréter les résultats obtenus en termes de probabilité. Or, l'état du système concerne celui de la ressource en eau, celui des besoins, les caractéristiques techniques des ouvrages, et les règles de gestion de ces ouvrages.

Parler d'un état figé de la ressource pendant la période de simulation, c'est faire l'hypothèse que les caractéristiques statistiques de la distribution des apports interannuels, saisonniers, mensuels ou

journaliers, sont stables pendant cette période dont la durée doit être suffisante pour justifier cette hypothèse. A telle enseigne qu'on peut être amené à générer de très longues chroniques fictives d'apports, sur la base même de ces caractéristiques statistiques.

Un état figé des besoins signifie qu'il ne s'en crée pas de nouveau ni n'en disparaît d'ancien pendant la période. Lorsque les besoins en eau sont directement déduits des conditions climatiques, (pluviométrie) la chronique des données climatiques fait l'objet de la même hypothèse de stabilité des caractéristiques statistiques que pour la ressource en eau.

Un état figé des caractéristiques techniques des ouvrages et des règles de gestion des aménagements pendant la période de simulation n'appelle pas de commentaire particulier.

II - UN DILEMME : LA DUREE DE LA PERIODE DE SIMULATION

On est en droit de se demander si cette hypothèse de la stabilité des caractéristiques de la ressource est bien vérifiée dans les faits.

La ressource en eau est éminemment fluctuante d'un instant à l'autre. La définir avec précision demande qu'elle soit étudiée sur une période aussi longue que possible pour réduire au maximum l'erreur d'échantillonnage. Mais paradoxalement, si la ressource en eau est soumise à une lente évolution dans le temps, irréversible ou lentement réversible, plus la période de simulation est longue plus les performances du système d'eau diffèrent, statistiquement, du début à la fin de la période, au cours d'un même essai, et dans un tel cas, l'interprétation des résultats de la simulation en termes de probabilité est faussée.

On a cependant toujours intérêt à disposer d'une chronique des termes de la ressource aussi longue que possible. Cette longueur est toujours considérée, dans la pratique, comme insuffisante pour autoriser de traiter les tendances éventuelles de l'évolution de la ressource en variables aléatoires autour d'une situation stable. Une longue chronique mettra peut-être en évidence une évolution de la ressource et permettra alors de scinder l'échantillon en deux ou davantage sous-chroniques, plus courtes, mais tenues quant à elles pour homogènes. A l'intérieur de ces sous-chroniques, encore assez longues pour être représentatives, les variations aléatoires de la ressource ne laissent pas discerner une évolution : elles sont représentatives de l'état de la ressource à l'époque qu'elles occupent.

Pour partager la période initiale en plusieurs sous-périodes, si cela est nécessaire, il nous semble possible d'appliquer la méthode des simples cumuls appliquée aux fréquences expérimentales des apports disposés en séquence. Nul besoin pour cela d'ajuster une loi de distribution statistique. Sur le graphique du cumul des fréquences en fonction du temps chronologique, la référence est la droite de pente 0,5. Par rapport à cette droite passant par l'origine, on discernera éventuellement des cassures de la courbe des fréquences cumulées aux dates qui sont les bornes des sous-périodes recherchées dont il serait illusoire, à notre avis, de multiplier le nombre. Nous pensons devoir exclure l'idée de chercher à effectuer des

corrections systématiques pour homogénéiser une sous-période par rapport à une autre, pour disposer de sous-périodes homogènes d'aussi longue durée que la période initiale. Le risque est grand en effet de modifier des séries d'apports préalablement établis de manière aussi conforme que possible à la réalité de l'écoulement, et de toucher à leur modulation saisonnière, ou mensuelle, ou journalière. Le risque s'accroît encore quand on attache aussi à la notion de ressource en eau les débits solides et les quantités de matières dissoutes.

III - INTERPRETATION DES RESULTATS DE SIMULATION EN CAS D'UNE EVOLUTION DE LA RESSOURCE

Avec des conditions initiales identiques et une définition identique de l'état du système d'eau, on simulera son fonctionnement au cours de chacune des sous-périodes décelées, pour obtenir autant de séries de résultats, autant de distributions statistiques des performances du système d'eau, relatives à son état. On renouvellera l'opération autant de fois qu'on aura à modifier l'état du système.

A chaque étape de la prospective, les performances à atteindre dans le fonctionnement, sont liées à la sous-période utilisée pour définir la ressource. Il est pratiquement exclu d'être en mesure de choisir la définition de la ressource convenant à telle ou telle étape de prospective, à tel ou tel "horizon", à moins de savoir, par ailleurs, prévoir l'avenir ou de s'autoriser à extrapoler dans le temps l'évolution de la ressource. Tout au plus pourra-t-on déterminer la probabilité des performances du système dans une conjoncture apparemment favorable, et dans une conjoncture apparemment défavorable, toutes deux plausibles puisqu'elles ont existé.

IV - INCIDENCE DES CONDITIONS INITIALES CHOISIES

Les conditions initiales imposées au système d'eau en début de période de simulation font subir leur influence sur le fonctionnement pendant un temps d'autant plus long que les capacités de stockage des réservoirs sont grandes en regard des apports. Le poids de cette influence sur l'ensemble des résultats de simulation est ainsi d'autant plus léger que la période de simulation est plus longue. Cette durée est cependant limitée par la longueur des chroniques de données qui ont pu être établies. Aussi pourrait-on penser ne travailler que sur des chroniques synthétiques aussi longues qu'on le souhaite. Encore faudrait-il être en mesure de les générer, en reproduisant fidèlement toutes les caractéristiques, explicites ou non, de la ressource. Les chroniques historiques, bien que trop courtes, contiennent sûrement toute l'information qui est disponible, qu'elle ait été ou non explicitée.

Conditions initiales : réservoirs vides

Ces circonstances représentent le cas le plus défavorable à envisager. Au début de la mise en eau d'un ouvrage, la retenue, effectivement, est vide. Mais pense-t-on pouvoir faire fonctionner un système d'eau en régime de croisière dès le commencement de sa mise en eau ? Ne doit-on pas plutôt

"attendre" qu'il soit en état de fonctionner ? Adopter de telles conditions initiales conduit à simuler à la fois la phase de démarrage et la phase de fonctionnement en régime normal. Cette confusion ne facilite guère l'interprétation globale des résultats d'un essai de simulation.

Conditions initiales : réservoirs pleins

On se place ici dans le cas le plus favorable. Les performances réalisées par le système d'eau vont être biaisées par le fait que, quoi qu'il advienne, le fonctionnement s'effectuera sans défaillance pendant les premiers temps de la période de simulation. On constatera sans doute, en fin de période, que les conditions finales ne sont plus du tout celles qui prévalaient au début, et cette différence représente justement l'avantage dont on a initialement gratifié le système.

Conditions initiales "quelconques"

C'est adopter une position réaliste : la situation de départ est l'une de celles qui se présenteront une année ou l'autre. Pour choisir les conditions initiales quelconques, on réalise un essai préalable avec des conditions initiales arbitraires. On tire au hasard une date de la période de simulation et on prend pour conditions initiales celles qui règnent dans le système à cette date. L'opération est faite une fois pour toutes, et les conditions initiales ainsi définies sont identiquement imposées à toute une série d'essais de simulation. Il faut pourtant noter qu'en procédant de cette manière, on convient de ne simuler le fonctionnement du système qu'en régime de croisière, abstraction faite des péripéties de la mise en eau des retenues et du démarrage des installations et cela est essentiel pour les grandes retenues.

V - REMPLISSAGE DES GRANDES RETENUES

Dans la période actuelle, on peut malheureusement relever des cas de retenues artificielles de grande capacité qui, après de longues années de mise en eau, ne fonctionnent toujours pas en régime de croisière faute d'un remplissage satisfaisant. Les grandes retenues dont la capacité représente plusieurs années d'apports du cours d'eau qui les alimente, méritent que le processus de leur premier remplissage soit étudié, ou simulé, séparément. Il y a d'autant plus de raisons à cela que les règles de gestion d'un tel ouvrage, en vigueur pendant cette phase et qui ont pour rôle de hâter le remplissage, diffèrent sûrement de celles qui prévaudront en régime de croisière. Ne pas prendre cette précaution, c'est probablement escamoter un problème de grande importance, en simulant le fonctionnement de l'ouvrage à partir de conditions initiales apparemment "quelconques" mais en réalité particulièrement favorables.

Il s'agit donc de déterminer la probabilité de la durée de remplissage du réservoir.

Le plus souvent, la chronique historique des apports ne s'étend guère que sur un petit nombre de décennies. Lorsqu'on simule le remplissage en commençant celui-ci successivement au début de chaque année, on obtient une chronique de ces durées dont les termes sont fortement auto-corrélés. Pour

constituer un échantillon de variables indépendantes, on partage cette suite en tranches de longueurs égales et nettement supérieures à la valeur la plus élevée de la série, de chacune desquelles on extrait le terme correspondant à un rang choisi au hasard une fois pour toutes. Les termes ainsi recueillis sont indépendants les uns des autres et constituent un échantillon des durées de remplissage dont on peut réaliser l'analyse statistique s'il est assez grand pour être représentatif. Ce sera rarement le cas si l'on travaille sur une chronique historique.

Une autre manière de procéder est de considérer que la retenue a une capacité illimitée. On calcule alors les volumes qu'elle aurait stockés au bout d'un an de remplissage, au bout de deux ans, au bout de trois ans, etc. . On obtient un lot d'échantillons de volumes, dont le premier contient N volumes, le second N/2, le troisième N/3, etc. . On analyse leurs distributions statistiques et on relève sur chacune d'elles la fréquence correspondant à la capacité réelle de la retenue. On trace alors point par point la courbe fréquence/durée de remplissage.

Si l'on renonce à s'engager dans une démarche de ce type qui peut s'avérer très complexe, on peut au moins mentionner les valeurs extrêmes des durées de remplissage simulées à partir de la chronique historique des apports, sans faire allusion à leur probabilité d'occurrence.

Dans tous les cas, et pas seulement pour étudier le remplissage des retenues, il faut absolument s'interdire de modifier la chronologie historique des données de la ressource sous prétexte de composer artificiellement avec des données réelles des chroniques d'abondance et des chroniques d'indigence des apports : on ne pourrait accorder aucune vraisemblance aux circonstances fastes ou indigentes qu'on aurait ainsi créées arbitrairement.

Dans le même ordre d'idées, et de façon tout aussi générale, il ne nous paraît pas recommandable de projeter, en prévision du proche avenir, les seules circonstances observées dans le plus proche passé, sauf bien sûr s'il existe des arguments fondés en faveur d'une évolution durable des caractères de la ressource.

Le modèle de simulation de fonctionnement du système d'eau, après avoir confronté la ressource disponible à la demande à satisfaire, répartit la fourniture d'eau aux divers utilisateurs selon des règles de gestion intangibles ou adaptables, qui visent à maintenir au fonctionnement du système, dans les circonstances les plus diverses, une efficacité maximale en vertu de critères d'ordre technique et économique. Cette efficacité ne va pas sans contrainte.

VI - SATISFACTION DES DEMANDES ET RESTRICTION DE LA FOURNITURE D'EAU

Selon la connaissance qu'on a de la ressource et de son évolution possible, l'aménagement hydraulique sera construit selon des normes de prudence et d'économie. Une fois mis en service, il devra répondre pour le mieux et en temps voulu aux demandes de fourniture d'eau. On n'empêchera cependant pas qu'en cours d'exploitation le gestionnaire de l'aménagement ait à faire face à des situations difficiles plus ou moins persistantes. Il conviendra

alors d'éviter que les conséquences des circonstances défavorables passagères ne tournent à la catastrophe.

Certes, on peut introduire dans la gestion des réserves un ordre de priorité de la fourniture d'eau aux divers utilisateurs selon la nature de leurs besoins. Il n'en reste pas moins que satisfaire à un instant donné les demandes les moins urgentes risque de pénaliser l'instant suivant, les utilisateurs prioritaires. En revanche, le taux de satisfaction d'une demande perd de sa signification lorsque la fourniture d'eau diffère de la demande d'une quantité inférieure à la précision du besoin exprimé. Il existe donc une marge de tolérance qui tempère, mais peu, la rigueur de la notion de déficit.

Etant donné qu'un faible déficit de la fourniture sur la demande est toujours supportable même s'il se prolonge un peu, que le déficit est d'autant plus grave de conséquences qu'il est élevé, et que l'arrêt de la fourniture d'eau est intolérable, les restrictions qu'on est amené à infliger constituent des mesures de prévention contre une pénurie généralisée. Elles ont pour effet, en cas d'insuffisance des réserves et de l'approvisionnement, d'anticiper le rationnement de l'eau afin d'allonger la période déficitaire, de manière à écrêter si cela est possible le maximum du déficit. Outre l'allongement de la durée de la période déficitaire, les restrictions entraînent une légère augmentation des pertes en eau par évaporation des réserves maintenues dans les réservoirs. Il s'y ajoute encore deux inconvénients. Le premier, mineur, tient dans le fait qu'occasionnellement on fait naître artificiellement de légers déficits qui normalement ne seraient pas apparus parce que les circonstances n'ont été que très momentanément défavorables. Le second, majeur, est que les mesures préventives de restriction deviennent inefficaces si la période d'indigence manifeste de la ressource dure trop longtemps. L'efficacité à attendre de ces mesures a donc des limites.

Le processus de restriction de la fourniture d'eau peut s'introduire dans la simulation du fonctionnement d'un réservoir de façon simple, à partir de la courbe de capacité hauteur/volume de cette retenue :

Lorsque le niveau du plan d'eau passe au dessous d'une certaine "cote d'alerte", on lui associe une "cote minimale provisoire d'exploitation" supérieure à la cote minimale de la prise d'eau, inférieure à la cote du plan d'eau et fonction de celle-ci. Le volume d'eau à ne pas utiliser dans l'instant est celui qui est compris entre la cote minimale provisoire et la cote minimale de la prise d'eau : il est réservé à une utilisation ultérieure. Des essais de simulation sont nécessaires pour arrêter la valeur, constante ou saisonnière, de la cote d'alerte et ajuster un coefficient qui règle entre 0 et 1 l'amplitude des restrictions. Ces mêmes essais permettent de mesurer dans diverses circonstances le degré d'efficacité de telles dispositions qu'il paraît d'autant plus souhaitable de prendre que les prélèvements à effectuer sont grands par rapport à la capacité de la retenue. Un procédé de cette nature ne présume en rien des consignes de gestion qui seront appliquées en temps réel en exploitation de l'aménagement. Il permet simplement dans la simulation d'introduire systématiquement le principe d'un rationnement modulable pour juger des limites de ses effets sur le fonctionnement du système d'eau.

Pour conclure cet exposé, nous soulignerons d'une part, l'objectivité de la méthode de simulation de fonctionnement par modèle, et d'autre part l'hypothèse capitale de stabilité de la ressource sous laquelle elle s'applique.

En raison des inévitables schématisations et simplifications introduites dans les algorithmes du modèle, il est certain que le fonctionnement fictif du système d'eau ne reflète pas exactement le comportement réel qu'adopterait le système dans les circonstances simulées : l'image précise qu'il en donne n'en est cependant pas éloignée. Mais ce qui importe sans doute davantage est que les résultats obtenus par des essais successifs de simulation sont objectivement comparables entre eux, de sorte que les choix vers lesquels ils orientent correspondent à des améliorations réelles qu'on peut apporter au système initialement conçu, et que l'influence de chacun des multiples paramètres intervenant dans le fonctionnement est directement appréciable.

Ceci dit, la consistance des résultats obtenus, leur fiabilité, dépend de celle des données d'entrée et notamment de la ressource. Or, si ces données infirment par exemple la stabilité de la ressource, les sorties du modèle sont elles aussi instables, et leur interprétation en termes de probabilité n'est pas satisfaisante. La définition des performances de l'aménagement à différentes étapes de la prospective serait alors incorrecte parce que la définition de la ressource à ces mêmes échéances serait erronée. Pour éviter cet écueil, il faudrait être en mesure de connaître les caractéristiques de la ressource aux différentes étapes de l'avenir proche, donc de les prévoir, puis de générer des chroniques synthétiques de la ressource conformes à ces caractéristiques à chacune de ces échéances, et simuler enfin le fonctionnement du système à chaque horizon à l'aide de la chronique synthétique qui lui est associée. Les difficultés que soulèvent les lentes fluctuations ou l'évolution des caractéristiques de la ressource ne retirent rien à la pertinence de la méthode de simulation.