

HYDRAM

Système informatique d'aide à la décision dans l'aménagement des eaux Planification des HYDro-AMénagements

par

Jean-Christophe POUGET ¹
Alain DEZETTER ²
et **Marc MORELL** ³

Résumé

La complexité croissante des systèmes d'eau en Guadeloupe, notamment pour l'irrigation, et la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations ont conduit l'ORSTOM à proposer l'élaboration d'un outil d'aide à la décision dans l'aménagement des eaux. Une des originalités du logiciel réside dans la construction interactive des systèmes permettant d'envisager facilement différents scénarios de développement. En se basant sur la confrontation des besoins et des ressources, l'outil permet de simuler le fonctionnement hydrologique des aménagements et de fournir des analyses synthétiques des résultats. Le choix de la conception et programmation par objets autorise toutes les extensions nécessaires pour envisager les multiples facettes d'une gestion rationnelle des ressources en eau.

Abstract

Given the growing complexity of water resource systems in Guadeloupe, particularly for irrigation, and the high space-time variability of rainfall, ORSTOM decided to propose the development of a decision support system in water resources management. One of the original features of the proposed software is its ability to interactively construct water systems, thereby allowing to envisage easily future scenarii. Based on the comparison between requirements and resources, this tool allows the hydrological simulation of the water system and provides a synthetic analysis of the results. Due to the choice of an object-oriented software construction, all extensions which are necessary to an effective water resources management can be considered.

¹ Allocataire de Recherche

² Chargé de Recherche

³ Ingénieur de Recherche
Responsable du Laboratoire d'Hydrologie

1. INTRODUCTION

Les milieux insulaires, de par leurs limites finies, sont une illustration de la nécessaire adéquation entre des besoins et des ressources, tout particulièrement dans le domaine de l'eau. Ils constituent donc un terrain privilégié d'études et de recherches sur la gestion globale des systèmes.

Les Petites Antilles, où se situe l'archipel Guadeloupéen, forment la limite orientale de la mer des Caraïbes, qu'elles séparent de l'Océan Atlantique (figure 1). La Guadeloupe est constituée des deux plus grandes îles de cet archipel : la Grande-Terre, à prédominance calcaire et de relief faible, avec une superficie de 570 km², et la Basse-Terre, à prédominance volcanique avec de hauts reliefs, dont la superficie est de 950 km². L'exposition de ces îles aux vents d'Est dominants (Alizés) et le rôle joué par le relief expliquent les différences climatiques très sensibles qu'on y observe. La Grande-Terre, peu élevée, présente une pluviométrie comprise entre 1000 et 1700 mm par an. La Basse-Terre, dont l'altitude atteint 1467 m au sommet du volcan de la Soufrière, a son versant "au vent" très arrosé avec une pluviométrie annuelle comprise entre 2000 et 12000 mm par an, et un versant "sous le vent" où la pluviométrie s'abaisse jusqu'à 1000 mm au niveau de la mer.

L'évolution démographique ainsi que le développement économique et touristique de l'archipel impliquent des besoins en eau croissants qui sont actuellement difficilement satisfaits par de simples prélèvements au fil de l'eau opérés en Basse-Terre, véritable château d'eau de la Guadeloupe. Pour alimenter en eau les régions défavorisées de la Grande-Terre voire les petites îles proches, la sollicitation de nouvelles ressources et l'équipement de sites de stockage s'imposent.

L'ampleur du programme d'irrigation de la Grande-Terre et la nécessité d'une gestion régionale des ressources en eau ont conduit l'ORSTOM à proposer le développement d'un outil informatique d'aide à la décision dans l'aménagement des eaux : le progiciel HYDRAM. Cet outil doit permettre de préciser la possibilité de développement des périmètres irrigués, la gestion des réservoirs, l'échéancier de mise en oeuvre de nouvelles ressources, le planning de construction d'autres barrages...(figures 2 et 5).

L'idée de base est de rendre disponibles facilement, de manière claire et synthétique les conséquences prévisibles de scénarios de développement, d'alternatives de gestion [LOUCKS 1985].

L'approche adoptée permet de :

- . modéliser un système où interviennent divers types de besoins et de ressources, et envisager facilement différentes évolutions spatiales et temporelles,
- . simuler le fonctionnement hydrologique du système avec des règles de gestion de satisfaction des besoins et de sollicitation des ressources, selon un mode se rapprochant des conditions réelles,
- . présenter des bilans de fonctionnement de chacun des composants du système ainsi que des résultats globaux pour chaque simulation.

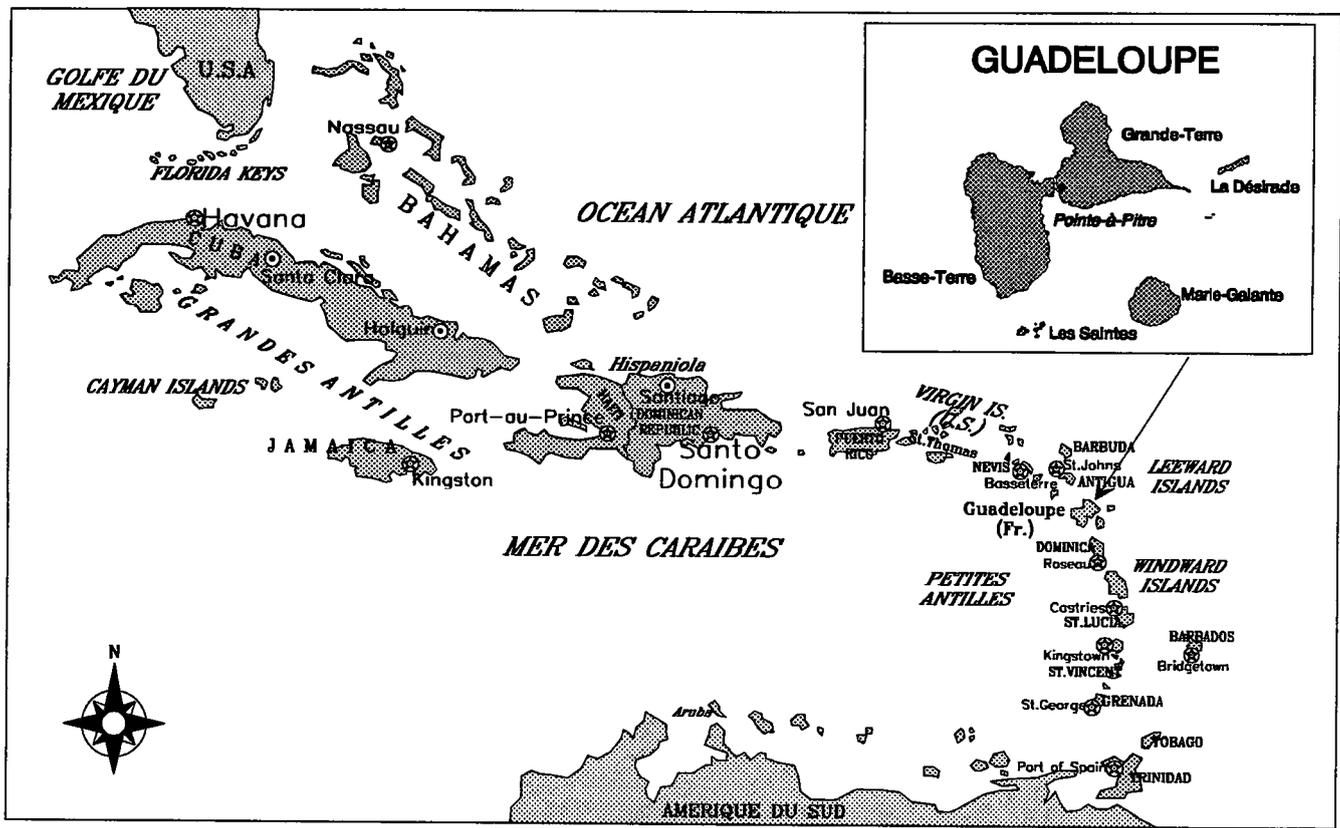


Figure 1 : Carte de situation de la Guadeloupe

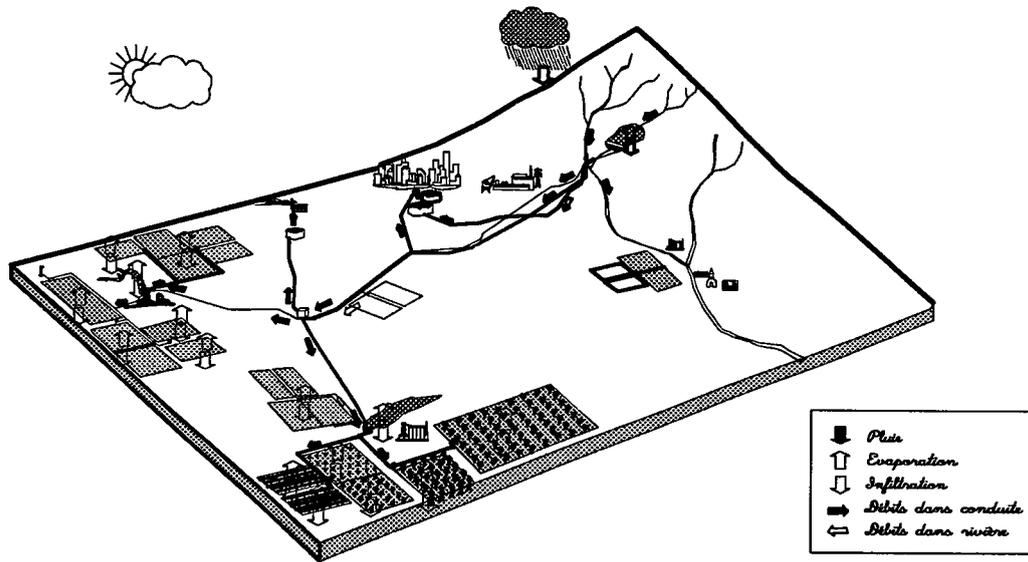


Figure 2 : Représentation du système considéré par HYDRAM

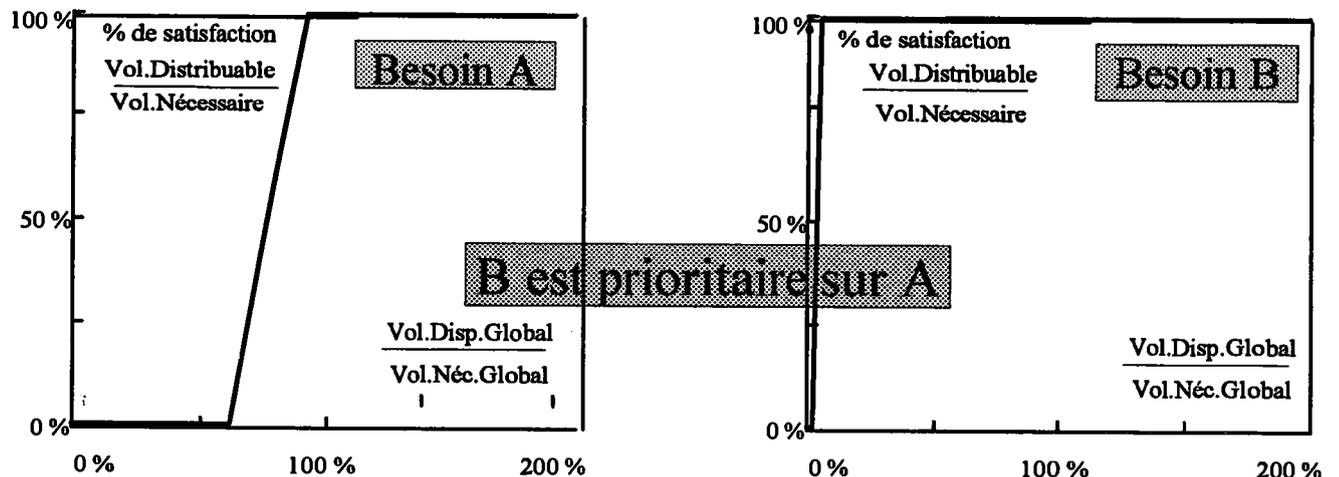


Figure 3 : Définition de la satisfaction attendue

2. CONCEPTION

2.1 Les bases

Ensemble de composants physiques, avec des modalités de fonctionnement et de gestion, un hydro-aménagement constitue un système hiérarchisé destiné à atteindre un certain nombre d'objectifs [VOTRUBA 1989]. L'étude du système consiste en la confrontation de besoins et de ressources sous la contrainte des moyens mis en oeuvre pour solliciter ces dernières. De grandes classes de composants sont donc identifiables : demande en eau, ressource, organe de transfert.

Les composants disponibles dans le modèle fournissent des spécifications plus ou moins complexes des caractéristiques de ces classes, indispensables pour en assurer le fonctionnement : volume disponible, volume nécessaire, débit maximum de transit...

Au niveau le plus abstrait, un système d'eau peut ainsi être considéré comme un réseau constitué de noeuds et de liens. Construire un hydro-aménagement consiste donc à ajouter, modifier, supprimer des composants dans ce réseau.

Ainsi l'état actuel d'un hydro-aménagement existant peut être aisément modélisé avec le degré de finesse souhaité. A partir de ce système, divers aménagements correspondant à des scénarios de développement peuvent être obtenus facilement par copies puis modifications. Pour tenir compte du degré de connaissance variable des composants eux-mêmes, on dispose d'une grande flexibilité au niveau de leur description.

De manière pratique l'ajout de nouveaux composants se fait par sélection d'éléments déjà existants dans un autre système, puis copie dans l'hydro-aménagement étudié. Le choix des éléments est effectué par sélection dans une liste, ou sur la représentation graphique du système. Les différents composants disponibles pour construire un hydro-aménagement sont de l'ordre d'une vingtaine. Le but n'est pas ici de détailler chacun. Nous nous contenterons de souligner les traits essentiels des grandes classes : besoins, ressources, liens.

2.2 Des besoins

La spécification de la demande en eau est plus ou moins complexe suivant les besoins. Une prise de débit dérivé est le type de composant le plus simple : le besoin est exprimé par la variation saisonnière de demande de débit. Les périmètres d'irrigation sont les plus complexes, le calcul de leur besoin devant notamment tenir compte de plusieurs facteurs dont la réserve en eau du sol. De nombreux types peuvent être identifiés : demande en eau potable, station de traitement... Dans tous ces composants, on distingue des caractéristiques fixes (nom, localisation, ...) et des caractéristiques propres à une simulation (règles de gestion). On verra l'intérêt pratique de cette distinction dans le paragraphe SIMULATION.

La possibilité de reproduire une politique de distribution est essentielle [MOREL-SEYTOUX 1985]. On a donc introduit la notion de disponibilité globale du système, définie par le rapport entre la somme des volumes disponibles au niveau des ressources et la somme des volumes des demandes à satisfaire, sur une période donnée. Cet état varie donc en fonction du temps. Il y a pénurie lorsque l'état de disponibilité globale est inférieur à 1.

En cas de déficit, deux solutions sont possibles :

- tous les besoins sont également prioritaires : donc théoriquement tous les besoins seront desservis avec un même coefficient de réduction, égal au coefficient de disponibilité globale.
- il existe une hiérarchie dans les besoins : le pourcentage de satisfaction obtenu pour les besoins les plus prioritaires est supérieur au pourcentage de disponibilité globale.

La satisfaction attendue se définit pour un besoin donné et pour un état de disponibilité globale donné, comme le rapport du volume distribuable (consenti compte tenu des priorités) au volume de la demande.

La politique de distribution est introduite en définissant les satisfactions attendues pour 0 % et 100 % de disponibilité globale. Ces coefficients induisent bien une hiérarchie dans les besoins : les besoins assurés à 100 % pour l'état de disponibilité le plus faible étant les plus prioritaires (figure 3).

2.3 Des ressources

L'expression du volume mobilisable constitue la caractéristique de base d'une ressource en eau. Ce volume est simple à exprimer pour les composants captage d'eau et usine de dessalement. Par contre, pour une prise en rivière, les volumes disponibles sont obtenus à partir de chroniques de débits. Ces chroniques dépendent bien sûr du pas de temps de simulation choisi (mensuel, décadaire ou journalier). La formulation d'une limite de prélèvement et d'un débit aval objectif permet de cerner le volume mobilisable.

La politique de gestion des ressources est reproduite grâce à l'introduction de coefficients de sollicitation attendue. C'est la définition en fonction d'un état de disponibilité globale (rapport du volume disponible sur le volume nécessaire pour tout le système) du pourcentage de sollicitation, exprimé ici par le rapport de la ressource sollicitée à la ressource disponible. Ces coefficients induisent une hiérarchie dans les ressources.

Cas particulier des retenues

Le composant réservoir est un des éléments du système les plus complexes à spécifier de manière externe [SIGVALDASON 1976]. En effet la notion de volume disponible est difficile à cerner dans un système où les réservoirs doivent permettre d'échelonner les déficits d'eau : une politique de gestion doit introduire des restrictions d'eau avant que tout le volume de stockage des retenues ait été consommé.

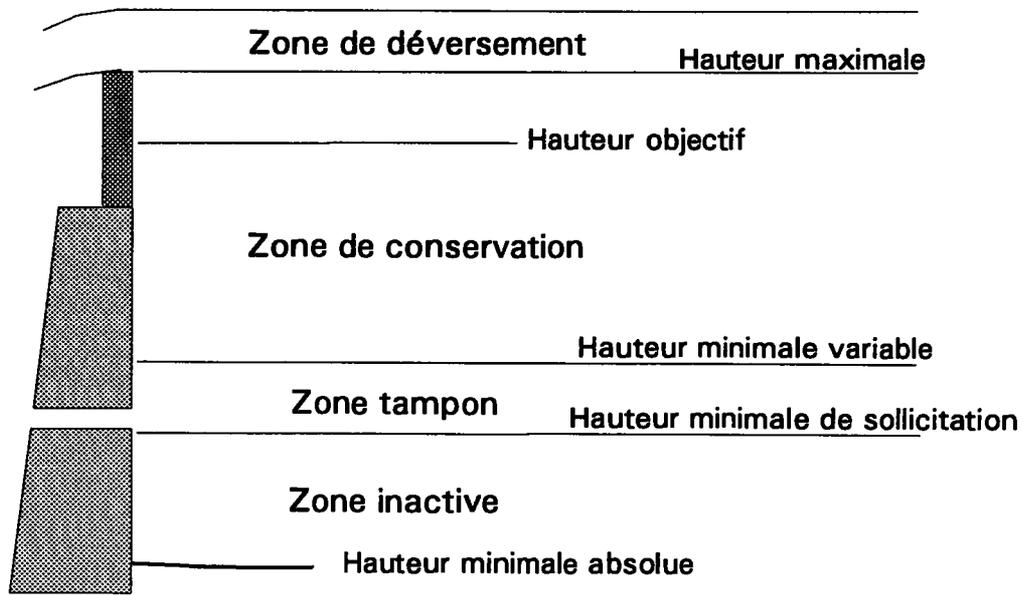


Figure 4 : Conceptualisation d'un réservoir

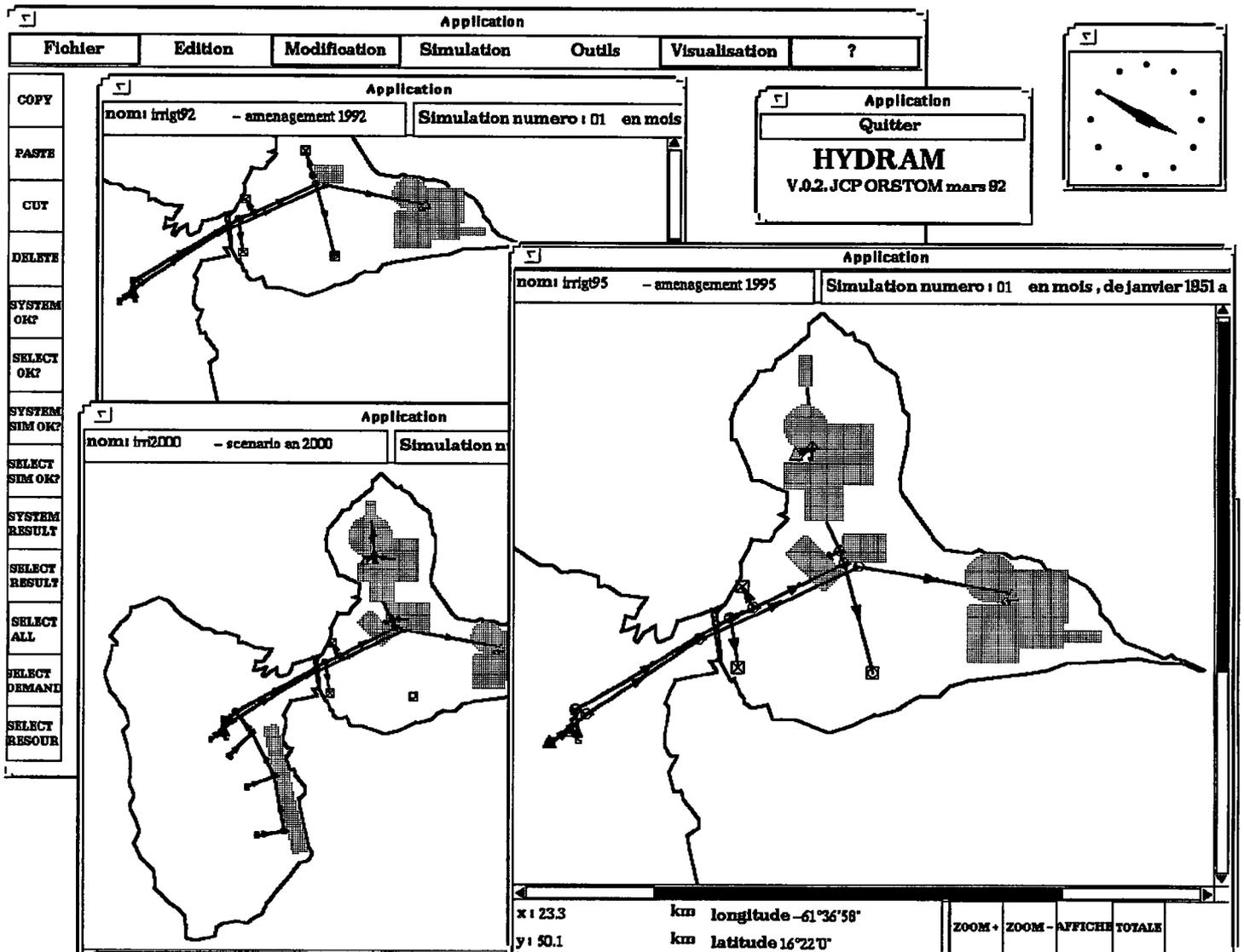


Figure 5 : Application d'HYDRAM à l'irrigation de la Grande-Terre

L'introduction d'une hauteur minimale variable (figure 4) permet de définir une zone tampon, elle correspond au volume qu'on se fixe de conserver pour faire face aux pénuries sur les prochains pas de temps. Le volume disponible au niveau des retenues est le seul volume de stockage utile.

$$\text{vol_stockage_utile} = \text{stock}(t) - \text{stock_mini}(t) \quad (1)$$

où : $\text{stock}(t)$ volume stocké au temps t
 $\text{stock_mini}(t)$ volume minimum stocké au temps t

Conformément à une ressource classique, la politique de gestion des retenues est établie en considérant des coefficients de sollicitation attendue. Mais la définition du pourcentage de sollicitation devient alors :

$$\%_sollicitation = 100 \frac{\text{stock_object}(t) - \text{stock}(t)}{\text{stock_object}(t) - \text{stock_mini}(t)} \quad (2)$$

ou

$$\%_sollicitation = 100 - \%_stockage_utile \quad (3)$$

avec $\%_stockage_utile = 100 \frac{\text{stock}(t) - \text{stock_mini}(t)}{\text{stock_object}(t) - \text{stock_mini}(t)} \quad (4)$

où : $\text{stock_object}(t)$ volume objectif à stocker au temps t

Il faut noter que dans le cas des réservoirs avec apport artificiel, cette définition de coefficients de sollicitation permet de traiter le caractère ambivalent de ces composants à la fois ressource et demande.

2.4 Des liens

Le propre d'un lien est d'assurer le transfert d'eau d'un point à un autre. Dans les aménagements, un organe de transfert est caractérisé par le débit maximal à transiter. Les canaux peuvent ainsi être spécifiés, avec la précision éventuelle d'une efficacité de transport. Au niveau des conduites, la donnée de la longueur et du diamètre sont nécessaires pour le calcul des pertes de charge. Différentes formulations sont disponibles : Colebrook, Darcy, William et Hazen.

3. SIMULATION

La simulation doit offrir un moyen de discerner entre les défaillances du système dues à des limites de l'aménagement (limites structurales) et celles qui résultent des règles de gestion adoptées, notamment au niveau des réservoirs. Il a donc été introduit la notion d'horizon prévisionnel. C'est la période prise en compte à partir du pas de temps courant à simuler pour décider du plan de gestion à adopter pour la satisfaction des besoins et la sollicitation des ressources.

Horizon $(t) = t + \text{Futur}(t)$

où t : pas de temps courant

$\text{Futur}(t) = t+1$ à $t+N$,

avec N = nombre de pas de temps de l'horizon prévisionnel.

En effet, nous pouvons calculer un état de disponibilité globale, rapport du volume d'eau disponible au volume nécessaire, sur l'horizon, en intégrant les résultats de ce calcul pour chacun des noeuds du système.

Théoriquement, si l'horizon est suffisamment long pour englober la fonction de régulation des retenues, on peut s'affranchir de la définition d'une zone tampon.

La simulation du fonctionnement sur un pas de temps consiste donc schématiquement à :

- **calculer les états de disponibilité sur l'horizon prévisionnel et sur le pas de temps courant et en déduire l'état de disponibilité global à considérer (disp_glob). On a :**

$$\text{disp_glob} = \min (\text{disp_glob} (t), \text{disp_glob}(t \text{ à } t+N))$$

$$\text{avec : } \text{disp_glob} (t) = \frac{\sum_{\text{noeuds}} \text{vol_disponible} (t)}{\sum_{\text{noeuds}} \text{vol_nécessaire} (t)}$$

- **appliquer la politique de distribution définie par les coefficients de satisfaction attendue et en déduire la "pression" de la demande sur les ressources et la mobilisation effective de celles-ci déterminée par les coefficients de sollicitation attendue. Les transferts d'eau sont ajustés, suivant les priorités définies au niveau des demandes, pour respecter les débits maximaux à transiter dans les liens.**
- **simuler le fonctionnement hydraulique du réseau. Ceci permet d'avoir une image de la répartition des pressions moyennes dans le système, indispensable pour le calcul de production électrique ou l'étude des organes de surpression.**

A ce niveau il convient de préciser la notion de simulation dans HYDRAM. Une simulation est propre à un hydro-aménagement. Elle comprend outre les modalités globales de simulation, définies par la suite, le type de pas de temps et les données hydro-météorologiques associées, les caractéristiques pour une simulation de tous les composants et les résultats globaux sur tout le système. Une simulation est repérée par un numéro d'ordre, une description peut y être adjointe.

Un hydro-aménagement est donc vu comme un système de composants physiques, associé aux caractéristiques d'une simulation, à savoir des règles de gestion, des modalités de simulation et les résultats correspondants.

Ainsi on peut réaliser de nombreux essais de simulation sur un même système d'eau en modifiant les règles de gestion, le pas de temps d'étude... Les résultats sont donc toujours consultables avec toutes les caractéristiques considérées pour la simulation : il ne peut y avoir ambiguïté.

Les modalités de simulation à préciser portent sur :

- **le type de simulation : il s'agit de définir l'horizon prévisionnel qui sera associé à chaque pas de temps de la période à simuler. L'utilisateur peut choisir la durée de cet horizon et, si cette durée est supérieure à un, le type de prévision prise en compte pour le futur.**

En effet, l'horizon considéré peut faire l'objet :

- . d'une prévision certaine : pour le futur, il sera fait référence aux données hydro-météorologiques historiques. Son utilisation devrait permettre d'approcher les limites structurales des systèmes d'eau.
- . ou d'une prévision moyenne : les moyennes glissantes des variables référencées sont alors employées.

- la période de simulation et les conditions initiales

4. ANALYSE

Les résultats globaux du fonctionnement d'un système sont essentiellement basés sur la confrontation entre les quantités d'eau demandées et réellement fournies. On étudie la fiabilité par le nombre et la répartition saisonnière des défaillances obtenues, à savoir les pas de temps pendant lesquels la demande n'est pas satisfaite. La vulnérabilité est mesurée par l'ampleur des déficits, qui définit le taux de pénurie [MOY 1986].

Une fonction "expertise" offre une analyse interprétée des résultats de simulation présentée sous forme de textes établis grâce aux liens entre le quantitatif et le qualitatif, en utilisant des notions telles que faible, moyenne, forte. Ces notions sont employées pour la classification de la pénurie et la hiérarchisation des besoins.

Pour une analyse plus détaillée, on peut consulter des résultats caractéristiques au niveau de chacun des composants, fournis sous forme de tableaux multicritères.

Une autre fonction permet de comparer directement les résultats globaux de deux simulations. Cette option est utile en particulier pour dégager rapidement le gain apporté par de petites variantes sur un hydro-aménagement.

Comme pour toutes les fonctions du modèle, des outils à plusieurs niveaux de spécification permettent des approches plus ou moins poussées suivant les buts recherchés ou la connaissance requise.

5. CONCLUSIONS

Système informatique d'aide à la décision dans l'aménagement des eaux, HYDRAM permet d'établir facilement et rapidement les conséquences prévisibles de différentes alternatives d'aménagement, en favorisant la perception globale du système d'eau. Notre objectif immédiat n'impliquait qu'une approche quantitative de la ressource. Mais, pour être crédible, l'outil doit recouvrir bien d'autres aspects : production électrique, qualité de l'eau... et offrir une grande souplesse dans l'intégration de domaines connexes : hydrologie, agronomie, ... [ADEBNEGO 1989].

C'est dans la nécessité d'extensions que le choix du mode de développement devient primordial. Alors pourquoi notre choix de conception et programmation par objets?

"L'idée de base est de s'écarter de toutes les méthodes informatiques traditionnelles en oubliant, au moins temporairement, les "fonctions" du système sur lequel on travaille pour privilégier les "objets" qu'il manipule. Cette idée a un corollaire, c'est ce qui caractérise un objet (pris au sens large, cela peut être une retenue, un système de gestion, une structure de données...), ce n'est pas ce qu'il est, mais ce qu'on en fait. C'est une autre façon de réintroduire les fonctions. De là toute l'approche -qui a une base théorique rigoureuse- des "types abstraits", qui consiste à spécifier des objets, de façon externe (et non interne) en leur donnant une axiomatique au sens mathématique (comme on décrit un corps, un anneau...)."

Tels sont les fondements de l'approche objet, vus par Bertrand MEYER [Monde Informatique 1989], principal concepteur du langage Eiffel [Interactive 1990], environnement choisi pour le développement d'HYDRAM. Le but affiché de ce langage est de permettre la production de "composants logiciels" fiables et réutilisables [MEYER 1990].

Ainsi, les types abstraits de données : NOEUD, LIEN,... peuvent être décrits dans des classes. Une classe définit le moule permettant de produire des objets identiques, les actions caractérisant le comportement de ces objets. Les structures du système sont uniquement fondées sur la relation de client et la relation d'héritage. Considérons un exemple concret de la puissance de ce mode d'architecture. Pour introduire dans notre système le composant micro-centrale hydro-électrique, on a créé une nouvelle classe qui hérite de NOEUD, c'est à dire adopte les propriétés et le comportement de cette classe. De nouvelles propriétés et actions viennent compléter cet acquis, permettant, par exemple, de calculer la puissance électrique produite.

En conclusion, la mise à disposition d'un tel outil, pour les décideurs, planificateurs et gestionnaires devrait apporter une aide effective dans la gestion rationnelle des ressources en eau, par ses possibilités d'identification, d'exploration, d'analyse et de synthèse des systèmes.

Remerciements

Ces travaux ont été menés au sein du Centre ORSTOM de la Guadeloupe et financés par le Conseil Général de la Guadeloupe et l'ORSTOM.

Références

ADEBNEGO 1989.

ADEBNEGO, B., MEYLAN, P., MUSY, A., 'Modélisation hydrologique orientée objet', New Directions for Surface Water Modelling, Proceedings of the Baltimore Symposium, May 1989, IAHS Publ. n° 181, p 387-395.

Interactive 1990.

'EIFFEL : The Environment', Interactive Software Engineering Inc., Version 2.3, 1990, 157p.

LOUCKS 1985.

LOUCKS, D.P., KINDLER, J., FEDRA, K., 'Interactive Water Resources Modeling and Model Use : an Overview', Water Resources Research, Fév. 85, Vol 21, n° 2, p 95-102

MEYER 1990.

MEYER, B., 'Conception et Programmation par Objets, Pour du logiciel de qualité', InterEditions, oct. 1990, 622 p.

Monde Informatique 1989.

Dossier 'Approche Objet : Mode ou Révolution ?', le Monde Informatique, N° 376, 10 jul. 89, p 16-31

MOREL-SEYTOUX 1985.

MOREL-SEYTOUX, H.J., RESTREPO, J.I., 'SAMSON :A very brief Description and SAMSON Computer System', HYDROWAR Program, Colorado State University, Fort Collins, May 85, 59 p.

MOY 1986.

MOY, W-S., COHON, J.L., REVELLE, C.S., 'A Programming Model for Analysis of the Reliability, Resilience, and Vulnerability of a Water Supply Reservoir', Wat.Resour.Res., apr. 86, Vol. 22, NO. 4, p 489-498

SIGVALDASON 1976.

SIGVALDASON, O.T., 'A Simulation Model for Operating a Multipurpose Multireservoir System', Wat.Resour.Res., apr. 1976, Vol. 12, NO. 2, p 263-278

VOTRUBA 1989.

VOTRUBA, L., KOS, Z., NACHAZEL, K., PTERA, A., ZEMAN, V., 'Analysis of Water Resource Systems', Elsevier, Developments in Water Science, NO. 32, 1989, 454 p.

Centre ORSTOM de la Guadeloupe
BP 1020
97178 - Pointe-à-Pitre
Guadeloupe
Tél : 590 82 05 49
Fax : 590 91 73 94

Centre ORSTOM de Montpellier
AGROPOLIS
BP 5045
34032 - Montpellier
Tél : 67 61 74 35
Fax : 67 41 18 06