

UN OUTIL D'AIDE A LA PLANIFICATION ET A LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU. LE MODELE DE SIMULATION HYDRAM.

Alain DEZETTER *

ORSTOM, 01 BP 182 OUAGADOUGOU 01,
BURKINA FASO

Résumé

La gestion et la planification des ressources en eau est un des enjeux fondamentaux du problème mondial de l'eau. Devant la complexité croissante des systèmes de mobilisation et d'utilisation des ressources en eau, la tâche des ingénieurs et des décideurs est de plus en plus ardue. Le modèle de simulation HYDRAM a pour but d'apporter une aide dans toutes les étapes de planification et de gestion de ces systèmes complexes. Nous présentons tout d'abord les principes retenus pour la description et la modélisation de ces systèmes à l'aide du modèle HYDRAM ainsi que son fonctionnement. Deux exemples d'utilisation de ce modèle sont ensuite présentés afin de bien cerner le cadre d'utilisation de cet outil.

ABSTRACT

Water resources planning and management is one of the main challenge of world water problem. Due to increasing complexity of the systems of mobilization and use of water resources, the task of specialists and policy makers becomes more and more difficult. The objective of the HYDRAM simulation model is to help all stages of planning and management of these complex systems. First of all, we will present the principles retained for the description and model formation of these systems within the HYDRAM model as well as his modes of functioning. Two case studies of this model will be exposed in order to better delimit the use of this tool.

INTRODUCTION

Les travaux de la conférence internationale sur l'Eau et l'Environnement (ICWE, Dublin, Janvier 1992) ont permis d'attirer l'attention sur la question sensible des réserves en eau douce et la manière d'en optimiser l'utilisation à l'avenir. On peut rappeler ici certains extraits de la Déclaration de Dublin sur l'Eau dans la Perspective d'un Développement Durable :

"La rareté de l'eau douce et son emploi inconsidéré compromettent de plus en plus gravement la possibilité d'un développement écologiquement rationnel et durable. Santé et bien-être de l'homme, sécurité alimentaire et industrialisation sont autant de domaines menacés, de même que les écosystèmes dont ils dépendent, sauf à opter dans la présente décennie et au-delà, pour une gestion plus efficace de l'eau et des sols".

"Les problèmes n'ont pas un caractère théorique et ce n'est pas dans un avenir lointain qu'ils affecteront notre planète : ils sont bien réels et nous en ressentons les effets aujourd'hui. Il y va de la survie de millions d'êtres humains et une action efficace s'impose dans l'immédiat".

"Les participants à la Conférence demandent que l'on aborde l'évaluation, la mise en valeur et la gestion des ressources en eau dans une perspective radicalement nouvelle, ce qui ne sera possible que par l'engagement de tous les responsables politiques, des plus hautes instances de l'Etat aux plus

petites collectivités. Cet engagement doit s'appuyer sur des investissements importants, sur des campagnes de sensibilisation, sur des changements législatifs et institutionnels et sur un renforcement des capacités. Pour ce faire, il faut d'abord reconnaître pleinement l'interdépendance de tous les peuples et leur place dans le monde naturel".

D'autres conférences consacrées à l'Environnement ont également abordé ces problèmes liés à l'exploitation et la gestion des ressources en eau, mettant en avant la nécessité de traiter avec efficacité les quatre grandes questions suivantes :

- conséquences écologiques et sociales. Ce sont les effets des grands projets d'aménagement hydraulique sur le milieu naturel et sur le bien-être social des populations.
- liaisons terre - eau. Cette question implique que la gestion efficace des bassins qui a pour objet la lutte contre l'érosion et la sédimentation ainsi que la conservation de l'eau soit intégrée dans les projets d'exploitation.
- répartition de l'eau entre des intérêts vitaux. Cette question qui a trait à tous les conflits d'usages de l'eau, voit son importance croître au fur et à mesure que s'intensifient les pressions de la population et de l'activité économique.
- mise en oeuvre efficace. Les procédures de suivi pour la gestion des impacts sociaux et environnementaux des projets sont souvent demeurées inappliquées. Ce qui accroît considérablement le risque

de voir se creuser le fossé entre objectifs prévus et résultats obtenus.

La gestion des ressources en eau doit s'entendre comme un ensemble de mesures destinées à exploiter et maîtriser les apports naturels dans une optique qui soit utile à la société. La démarche du gestionnaire doit alors s'appuyer sur un grand nombre de relations et d'interactions physiques, économiques et sociales :

- les liens physiques quantitatifs et qualitatifs entre les eaux de surface et les eaux souterraines, i.e. une planification et une exploitation conjointes de ces masses d'eau ;
- les interactions complexes entre les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques ;
- les activités humaines en cours et projetées influant sur les ressources en eau ;
- l'environnement politique, social et économique dans lequel doit s'inscrire la gestion des ressources en eau.

Face à ces constatations et sur la base d'un cas concret d'étude, l'ORSTOM a proposé la mise au point et la réalisation d'un logiciel de simulation des systèmes d'eau, le modèle HYDRAM.

Cet outil permet de connaître et de présenter de manière simple et précise les conséquences prévisibles de scénarios de développement, d'alternatives de gestion, sur les ressources en eau. La mise à disposition de telles informations constitue une importante aide à la décision dans les choix politiques de développement auxquels sont confrontés les pays en développement.

LE MODÈLE DE SIMULATION HYDRAM

L'utilisation du modèle de simulation HYDRAM (Pouget, Dezetter, 1993) passe par trois étapes : la conception (représentation du système par le modèle), la simulation (simulation du fonctionnement), et l'analyse (analyse des simulations en termes de performances du système).

Construire des hydro-aménagements

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, etc.

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.

Le modèle HYDRAM est basé sur

compte de plusieurs facteurs dont la réserve en eau du sol. De nombreux types peuvent être identifiés : demande en eau potable, station de traitement, etc.. Dans tous ces composants, on distingue des caractéristiques fixes (nom, localisation, etc.) et des caractéristiques propres à une simulation (règles de gestion).

La possibilité de reproduire une politique de distribution est essentielle. On utilise 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 satis-

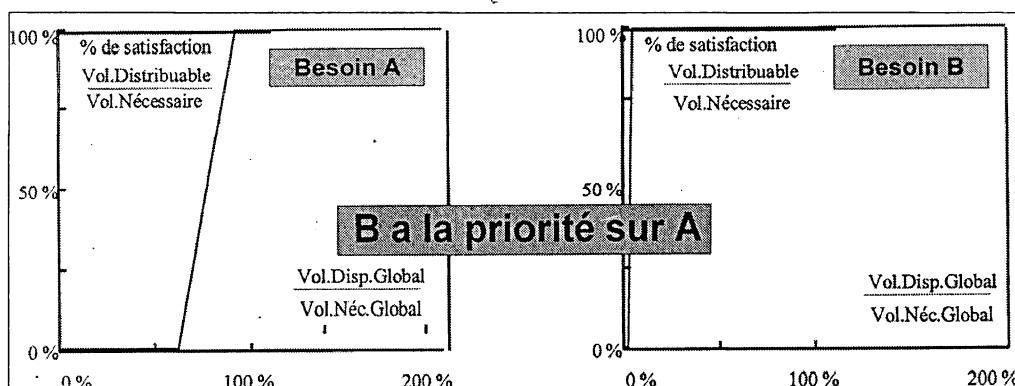


Figure 1 : Définition de la satisfaction attendue

une confrontation " ressources - besoins " sur chaque pas de temps. Les pas de temps disponibles pour les simulations vont du journalier au mensuel.

Les 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, etc.. Dans tous ces composants, on distingue des caractéristiques fixes (nom, localisation, etc.) et des caractéristiques propres à une simulation (règles de gestion).

La satisfaction attendue se définit pour un besoin et pour un état de disponibilité globale donnés, 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 (Fig. 1).

Les ressourcés : L'expression du volume mobilisable constitue la caractéristique de base d'une ressource en eau. Ce volume est simple à exprimer pour le composant captage d'eau. 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, 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. 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.

Les 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 faire 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.

Simuler la desserte en eau

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.

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.
- appliquer la politique de distribution définie par les coefficients de satisfaction attendue et en déduire la "pression" de la demande sur les ressources ainsi que 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 faire transiter dans les liens.
- simuler le fonctionnement hydraulique du réseau. Ceci permet d'avoir une image de la répartition des charges hydrauliques moyennes dans le système, indispensable pour le calcul de production électrique ou l'étude des organes de surpression.

Evaluer les performances

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.

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. 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.

EXEMPLES D'UTILISATION

Deux exemples seront traités ici. Le premier concerne le cas d'étude qui a été à l'origine de la création du modèle HYDRAM, la Guadeloupe, le second concerne un système en cours d'étude, le système d'eau de la Comoé supérieure au Burkina Faso.

Le modèle de simulation HYDRAM a été utilisé en collaboration avec la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (D.D.A.F.) pour l'élaboration du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Guadeloupe conformément aux lois françaises sur l'eau de 1992.

Trois scénarios principaux ont été envisagés : horizon 1995, horizon 2000 et horizon 2010. Après l'étude de la projection des besoins, la simulation des différents systèmes envisagés a été effectuée permettant de mettre en relief les avantages et inconvénients des différentes solutions techniques préconisées.

Le Cas de la Guadeloupe

Le système d'eau de la Guadeloupe

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 2). La Guadeloupe est constituée des deux plus grandes îles de cet archipel : la Grande-Terre, à prédominance calcaire et de relief faible, avec une

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.

inchangés. Seule la capacité de production de chacune d'elles varie d'un horizon au suivant, afin de s'adapter à la demande croissante en eau potable des régions qu'elles desservent.

On compte ainsi 8 stations de traitement d'eau potable. Deux cas de figure sont envisagés pour l'ensemble des horizons : le cas où le

rendement du réseau est estimé à 50 % et le cas où le rendement est estimé à 65 %.

En outre, les besoins journaliers en eau potable ne sont pas constants sur l'année. Afin de modéliser cette variation, la D.D.A.F. préconise la prise en compte de deux valeurs de la demande journalière sur l'année :



Figure 2 : Carte de situation de la Guadeloupe

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

Projection des besoins

L'évolution prévue des besoins aux différents horizons a été mise au point en collaboration avec les services techniques de la D.D.A.F. et peut être séparée en deux volets : la demande en eau potable et l'irrigation.

une valeur dite de pointe, applicable durant la période du carême qui s'étend du 1er Février au 30 Avril, et une valeur dite moyenne, valable tout le reste de l'année. Le tableau 1 présente l'évolution des besoins en eau potable pour les différents horizons et les deux rendements à considérer.

Horizon	Débit hors carême (m ³ /j)	Débit de pointe de carême (m ³ /j)
1995 (r = 50 %)	91 500	110 000
1995 (r = 65 %)	83 500	100 000
2000 (r = 50 %)	111 500	135 000
2000 (r = 65 %)	87 500	105 000
2010 (r = 50 %)	153 500	173 500
2010 (r = 65 %)	87 500	115 000

Tableau 1 : Evolution des besoins en eau potable

La demande en eau potable

Pour l'ensemble des horizons considérés, le nombre et l'implantation des stations de traitement restent

Les surfaces irriguées

Les besoins en eau de l'irrigation dépendent de plusieurs facteurs : la surface irriguée, sa localisation,

le type de culture, la pluie et l'évaporation sur la zone étudiée. Dans notre cas, on distingue quatre types de cultures : le maraîchage, le fourrage, la canne à sucre et la banane. Le tableau 2 indique l'évolution prévue des surfaces irriguées aux différents horizons.

Horizon	Maraîchage (ha)	Fourrage (ha)	Canne (ha)	Banane (ha)	Total (ha)
1995	1487	299	3642	0	5428
2000	1937	419	5272	2000	9628
2010	1937	419	5272	3800	11428

Tableau 2 : Evolution des besoins d'irrigation

A l'aide de ces superficies prévues et en tenant compte des données culturales de chaque type de culture (RU, RFU, Kc,...) on aboutit aux figures 3 et 4 présentant respectivement l'évolution des besoins moyens mensuels de l'irrigation et de l'ensemble du système en considérant un rendement de l'AEP de 50 %.

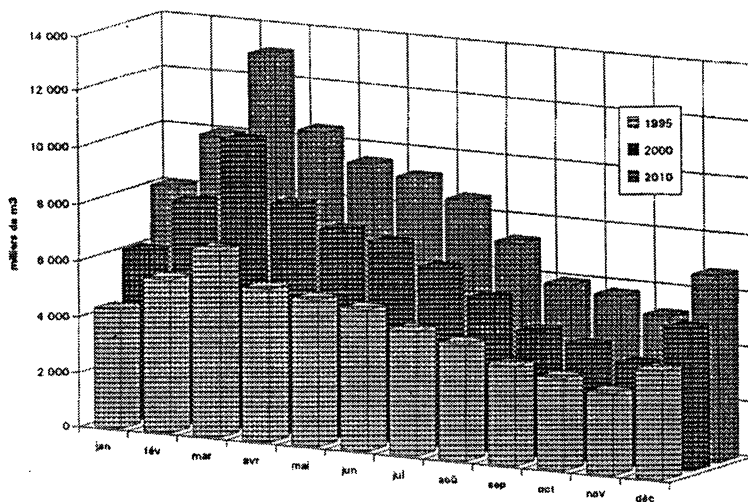


Figure 3 : Evolution des besoins mensuels moyens de l'irrigation de 1995 à 2010

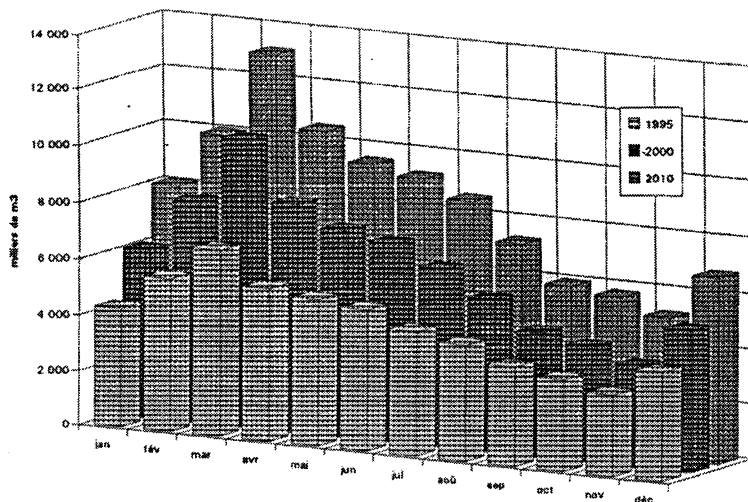


Figure 4 : Evolution des besoins mensuels moyens globaux (AEP 50%)

Chacun des types de besoins suivant une progression entre les horizons 1995 à 2010, le besoin global suit la même évolution.

Ainsi, on observe entre 1995 et 2000 une majoration de 39% de la demande annuelle moyenne globale, et une augmentation de 29%

entre 2000 et 2010, ce qui conduit à une majoration de 80% entre 1995 et 2010.

Compte tenu de cette forte croissance des besoins et des ressources limitées, une politique de distribution doit être choisie et appliquée lors de toutes les simulations.

Les besoins ont donc été classés par ordre de priorité décroissante comme suit :

Type de besoin	Priorité
Station d'eau potable	1
Banane	2
Maraîchage, golf	3
Fourrage	4
Canne	5

Tableau 3 : ordre de priorité choisi

Pour les cultures irriguées, l'ordre de priorité suit l'ordre croissant des RFU. En effet une culture à RFU élevée est plus résistante à la sécheresse qu'une autre.

Simulations

L'ensemble des simulations ont été réalisées grâce à une banque de données mise à jour et complétée allant de 1962 à 1990. Cette banque de données comporte 79 postes pluviométriques au pas de temps journalier ainsi que 11 stations hydrométriques correspondant aux débits naturels reconstitués des cours d'eau aux points de prélèvements (prises en rivière).

Pour l'ensemble des simulations le pas de temps utilisé est le pas de temps décennaire. Couramment utilisé en agronomie, il est de plus le meilleur compromis entre précision des résultats, banques de données disponibles, et lourdeur des manipulations.

L'aménagement 1995

L'aménagement projeté pour l'horizon 1995 est présenté sur la figure 5. Les principaux éléments de l'aménagement sont les trois prises en rivière de Traversée, Bras-David, et Vernou, ainsi que les retenues de Gachet et Letaye.

Notons d'ores et déjà que la prise de Vernou n'est mobilisable que par la station de production d'eau potable du même nom, et n'a donc d'influence sur le reste du système que par son prélèvement sur la Grande Rivière à Goyaves à l'amont de la prise de Traversée. Les retenues de Letaye et Gachet ont des capacités respectives de 535 000 m³ et 2 800 000 m³.

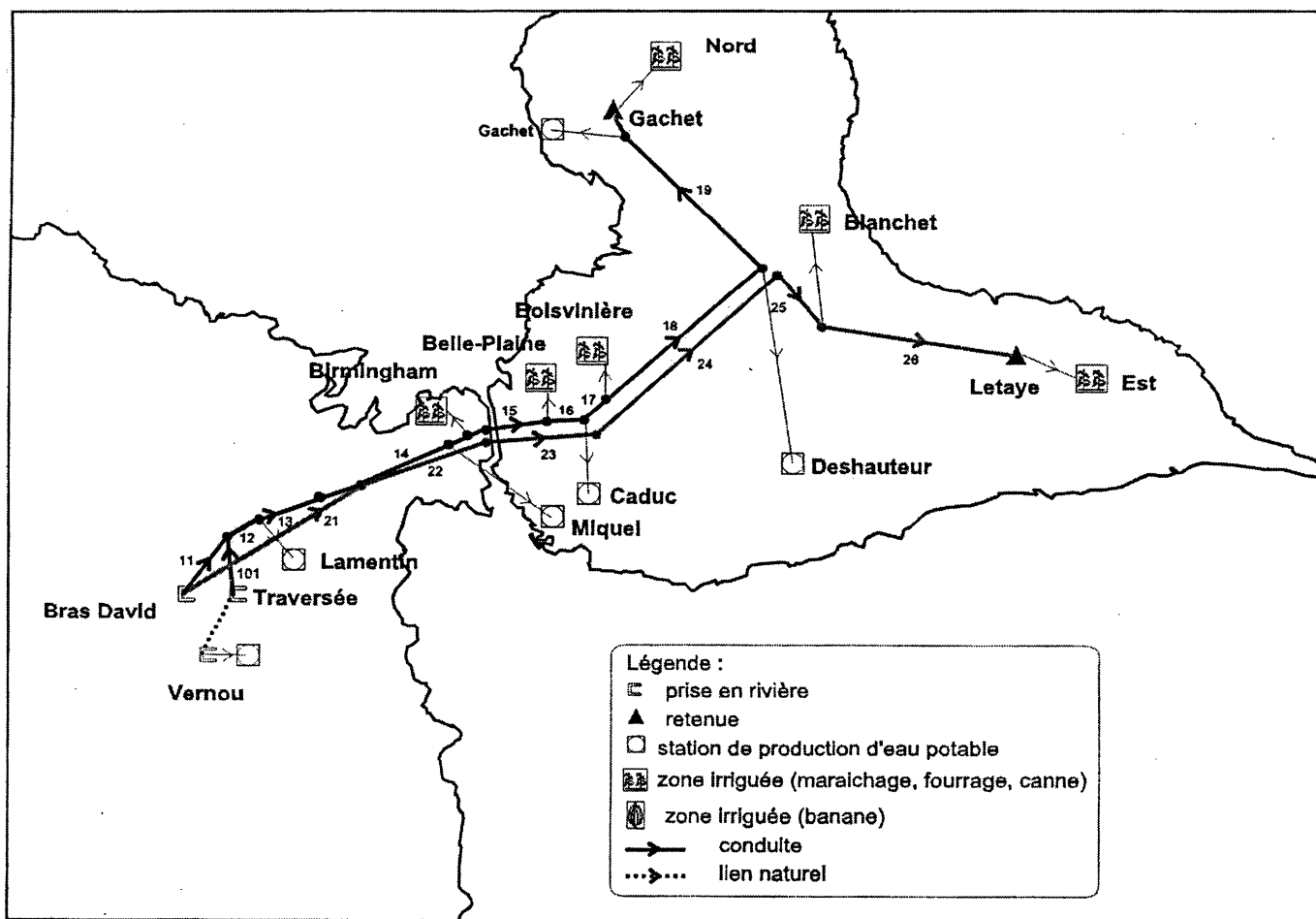


Figure 5 : Plan schématique de l'aménagement 1995

La simulation de cet aménagement sur la période 1962 à 1990 conduit au résultat suivant :

Dans le cas d'un rendement $r = 50\%$ du réseau AEP on compte, en 29 années de gestion simulée :

- 1 année sans pénurie (1967) ;
- 13 années à faible pénurie inférieure à 5% ;
- 15 années à pénurie moyenne ;
- aucune année à forte pénurie supérieure à 20%.

Statistiquement, la fréquence des années à pénurie supérieure à 5% s'élève donc à 1 sur 2. Une analyse plus détaillée des résultats permet de conclure à une insuffisance des ressources mobilisables au regard des demandes exprimées. Deux solutions complémentaires, consistant en la sollicitation d'une prise en rivière supplémentaire ont été ensuite étudiées.

Au terme de ces simulations, une des deux solutions a pu être conseillée bien qu'apportant une amélioration limitée et présentant des difficultés d'exploitation. On remarque que l'essentiel des fortes

pénuries sont observées durant le carême, au cours duquel les ressources en rivière sont faibles, et les seuls aménagements efficaces sont alors des retenues de stockage, dont la réalisation n'est projetée qu'à partir de l'an 2000.

L'aménagement 2000

Nous avons vu, dans la partie projection des besoins, que l'essentiel de l'évolution de la demande à l'horizon 2000 réside dans la mise en place de périmètres irrigués sur la Côte-au-vent qui regroupent 2000 ha de bananeraies.

Au niveau des ressources sollicitées et des aménagements mis en place pour cet horizon, on trouve deux nouvelles prises en rivières et trois nouvelles retenues (figure 6).

Les deux nouvelles prises en rivière sont La Rose et La Lézarde. Une retenue est implantée au niveau de la prise d'eau de Bras-David, les deux autres nouvelles retenues étant respectivement Dumanoir et Moreau.

La retenue de Bras-David a une capacité de 1 800 000 m³, celle de Dumanoir a une capacité de 1 180 000 m³ tandis que celle de Moreau représente 650 000 m³.

Au terme de la simulation, dans le cas d'un rendement de 50% des réseaux aval des stations de production d'eau potable, on compte en 29 années de gestion simulée :

- 12 années sans pénurie ;
- 15 années à faible pénurie inférieure à 5% ;
- 2 années à pénurie moyenne ;
- aucune année à forte pénurie supérieure à 20% .

Statistiquement, la fréquence des années à pénurie supérieure à 5% s'élève donc à 1 sur 15, ce qui constitue un résultat très satisfaisant. En outre il faut noter que les deux plus fortes pénuries annuelles observées ne dépassent pas 5.2% et 7.5% respectivement en 1965 et 1987, années réputées pour leur étiage particulièrement sévère.

L'aménagement proposé à l'horizon 2000 est, en vertu des résultats observés au cours des diverses simulations réalisées durant l'étu-

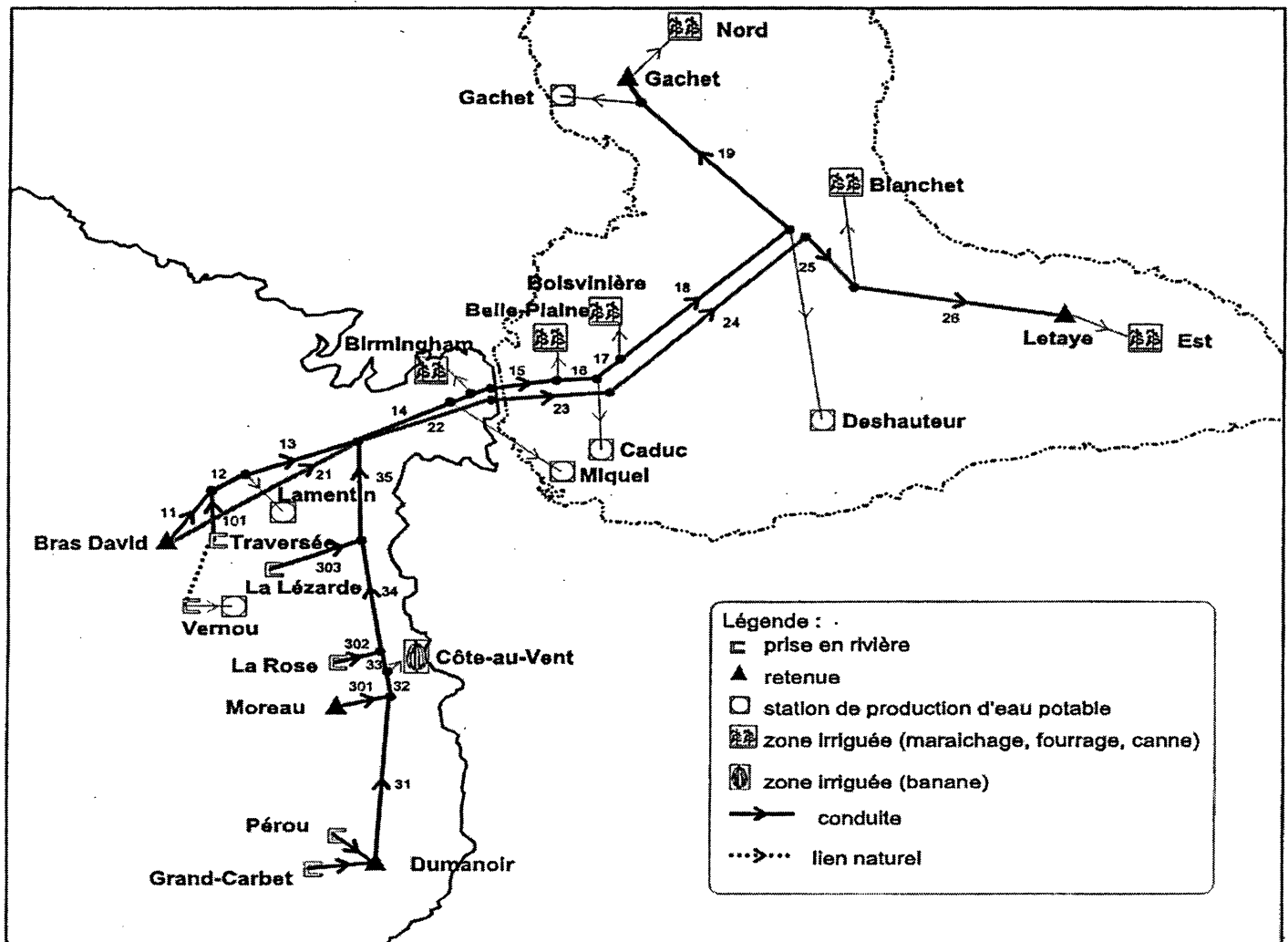


Figure 6 : Plan schématique de l'aménagement 2000

de, tout à fait satisfaisant. Les ressources mobilisables suffisent à faire face à l'ensemble des demandes en eau de manière très convenable, malgré l'augmentation de 70% des besoins de l'irrigation entre les horizons 1995 et 2000.

L'aménagement 2010

La demande en eau globale que l'on se propose de satisfaire à l'horizon 2010 est en augmentation de 29% par rapport aux besoins considérés à l'horizon 2000. L'essentiel de cette évolution est dû à la croissance des besoins liés à la production d'eau potable, majorés de 35% entre 2000 et 2010, pour faire face à l'augmentation de la population Guadeloupéenne. En ce qui concerne l'irrigation, aucune modification de la demande n'est envisagée en Grande-Terre, mais on se propose de porter à 3800 ha la surface de bananeraies irriguées sur la Côte-au-vent (contre 2000 ha à l'horizon 2000).

Afin de s'adapter à l'augmentation de la demande, le développement du système d'eau se poursuit à l'horizon 2010, avec la réalisation projetée d'une retenue supplémentaire de 1 300 000 m³ à l'emplacement de la prise en rivière de Traversée, déjà exploitée aux horizons 1995 et 2000. Le reste de l'aménagement est inchangé par rapport à l'aménagement 2000.

Au terme de la simulation, pour la période 1962 à 1990 on obtient, en 29 années de gestion simulée :

- 8 années sans pénurie ;
- 12 années à faible pénurie inférieure à 5% ;
- 9 années à pénurie moyenne ;
- aucune année à forte pénurie supérieure à 20% .

La fréquence des années accusant une pénurie supérieure à 5% est donc statistiquement de l'ordre de 1 sur 3, alors que le système est en déficit plus de 2 années sur 3.

Une analyse plus détaillée met en

évidence des disparités de fonctionnement au sein du système, et la zone Côte-au-vent est la plus mal desservie avec un taux interannuel de pénurie pour le mois d'avril de l'ordre de 18 %.

Il semble donc souhaitable de rechercher des solutions complémentaires afin d'améliorer la desserte de l'ensemble des besoins que l'on se propose de satisfaire à l'horizon 2010. La concentration des pénuries au niveau de l'ensemble des besoins au cours du carême, période d'étiage des rivières de la Basse-Terre impose une solution faisant intervenir une retenue de stockage de grand volume permettant d'en atténuer l'amplitude.

Deux solutions complémentaires ont été étudiées, l'une appelée solution Grands-Fonds fait intervenir une retenue supplémentaire de 10 000 000 m³ située en Grande Terre entre Caduc et Deshauteur (fig. 6) l'autre fait intervenir une retenue supplémentaire en Basse

Terre, au niveau de la Côte sous le vent, à Vieux-Habitants, d'une capacité de 5 400 000 m³ venant se brancher dans le système entre les stations La Rose et Moreau.

Les simulations effectuées montrent une très nette amélioration de la desserte pour les deux variantes. En effet la fréquence des années accusant une pénurie supérieure à 5% passe de 1 sur 3 à 1 sur 10 pour la solution Grands-Fonds et à 1 sur 15 pour la solution Vieux-Habitants.

La seconde solution convient mieux car elle met en œuvre de nouvelles ressources, ce qui n'est pas le cas de la première. Cependant, devant les difficultés techniques présentées par la solution Vieux-Habitants (franchissement de relief, traversée du parc national) c'est la solution Grands-Fonds qui doit être préconisée.

Le Cas du bassin supérieur de la Comoé

Le système d'eau de la Comoé

La Comoé est un des grands fleuves d'Afrique Occidentale. La superficie de son bassin versant est de 76510 km² et s'étend sur le Mali (5110 km²), le Burkina Faso (17496 km²) et la Côte d'Ivoire (53904 km²) où il rejoint le Golfe de Guinée. Le système d'eau étudié ici est situé dans le haut bassin de la Comoé, au Burkina Faso, dans la région de Banfora, au sud de Bobo Dioulasso, deuxième ville du pays.

Cette zone sud-ouest du Burkina Faso est la zone la plus arrosée du pays, avec une pluviométrie moyenne annuelle autour de 1000 mm. Contrairement au reste du territoire, certains cours d'eau y sont pérennes et la zone subit donc de fortes pressions anthropiques dues aux migrations nationales en provenance de zones purement sahéliennes défavorisées.

Les bonnes potentialités en eau et en sols du bassin, couramment appelé " région du paysan Noir " (Traore S., 1996), lui offrent des possibilités de développement intéressantes.

Les ressources

Dans le cadre de cet hydro-aménagement les ressources mobilisées sont essentiellement constituées de trois retenues :

- Le barrage de la Lobi à Bodadiougou, d'une capacité de 6 millions de m³, construit en 1977 ;
 - le barrage de Yannon à Toussiana, d'une capacité de 6,1 millions de m³, construit en 1982 ;
 - et le barrage de la Comoé à Mousodougou, d'une capacité de 38,5 millions de m³, construit en 1991.
- A ces ressources, viennent s'ajouter deux lacs, qui peuvent occasionnellement servir de ressource d'appoint : le lac de Karfiguéla (800 000 m³) et le lac de Lémouroudougou (400 000 m³). L'ensemble de ces infrastructures de stockage est géré par la SO.SU.CO. (Société Sucrière de la Comoé) principal consommateur d'eau du système pour l'irrigation de la canne à sucre.

Les besoins

Les demandes identifiées sont de trois types : les demandes agricoles, les demandes industrielles et les demandes en eau potable.

S'agissant des demandes agricoles, la SO.SU.CO. est le principal utilisateur avec près de 4000 ha de canne à sucre. On compte également un périmètre rizicole de 350 ha ainsi que des demandes en eau pour des périmètres maraîchers représentant un total d'environ 100 ha.

Pour les demandes industrielles, deux unités sont présentes : il s'agit de l'usine de production de sucre (SO.SU.CO.) et d'une usine de production d'alcool (SOPAL).

Les demandes en eau potable sont quant à elles constituées de la ville de Banfora et des cités ouvrières de la SO.SU.CO. au nombre de cinq.

Les volumes moyens annuels de demande de ces trois catégories sont respectivement de 49 millions de m³ pour l'eau agricole, 3,8 millions de m³ pour l'eau industrielle et 1,1 millions de m³ pour l'eau potable, soit un total de 53,9 millions de m³.

On note d'ores et déjà que le volume des demandes est supérieur au

volume stocké par les retenues (50,6 millions de m³). Cette remarque est à nuancer par le fait qu'une partie de l'eau demandée pour l'irrigation est apportée par la pluie, mais ces apports sont irréguliers et concentrés sur la saison des pluies d'une durée de 3 à 4 mois.

Les organes de transfert

Le système peut être subdivisé en deux sous-ensembles : un sous-ensemble Ouest avec les deux retenues " Comoé " et " Lobi " et un sous-ensemble Est avec la retenue " Toussiana ". Ces deux sous-ensembles sont interconnectés par le maillage du réseau d'irrigation de la canne à sucre.

On trouvera sur la figure 7 le plan schématique de l'aménagement du haut bassin de la Comoé.

Pour la partie Ouest, les lâchures des barrages Comoé et Lobi suivent le lit naturel du cours d'eau et se rejoignent avant la prise en rivière de Karfiguéla. Cette prise en rivière alimente un canal qui amène l'eau jusqu'à un bassin de mise en charge de deux conduites de diamètre 1000 et 1200 mm. L'eau résiduelle continue le cours naturel pour alimenter le périmètre rizicole de Karfiguéla. Les deux conduites alimentent le périmètre de canne à sucre de la SO.SU.CO. ainsi que les usines et toutes les demandes en eau potable.

Pour la partie Est, les lâchures de Toussiana suivent le cours naturel où des prélèvements pour le maraîchage sont effectués avant la mise en charge d'une conduite de diamètre 700 mm qui rejoint la partie ouest par maillage au niveau du périmètre irrigué de canne à sucre. Hormis quelques stations de surpression utilisées occasionnellement, l'ensemble du transport se fait par gravité.

Fonctionnement du système

La SO.SU.CO., en tant que principal utilisateur, et propriétaire des ouvrages, a la maîtrise opérationnelle du système. Les ressources mobilisées étant limitées et les demandes croissant au fil des ans, des pénuries et des conflits

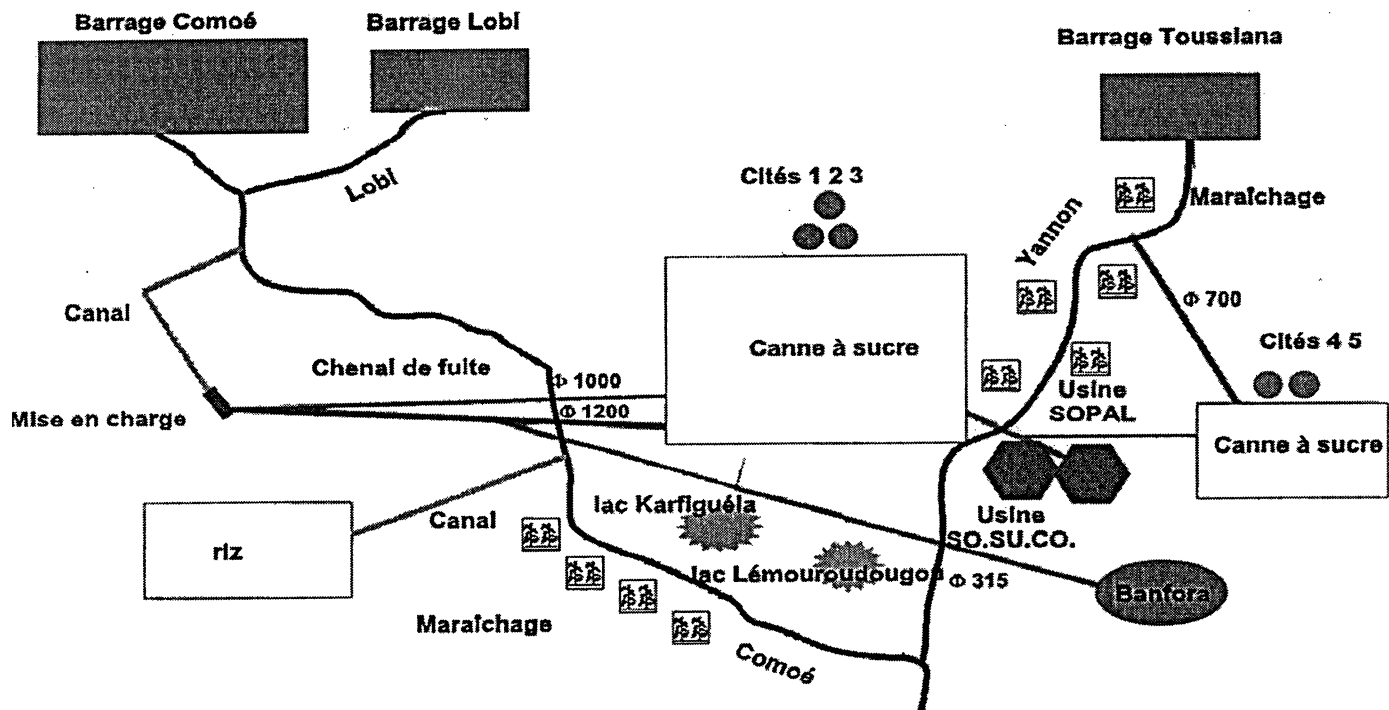


Figure 7 : Plan schématique de l'hydro-aménagement de la Comoé

d'usages apparaissent régulièrement. Ainsi, actuellement, sur les 350 ha aménagés du périmètre rizicole de Karfiguéla, seuls 120 ha sont exploités. Les maraîchers de Toussiana demandent la déconnexion du barrage de Toussiana du système et de nouveaux maraîchers s'installent. Pendant ce temps, la SO.SU.CO. souhaite augmenter de 1000 ha la superficie de la canne à sucre.

Face à cette situation, un comité de gestion des eaux des affluents régularisés de la Comoé a été créé en 1992. Il est chargé d'organiser l'exploitation de la ressource par la définition, chaque année, d'un programme de lâchers, d'arbitrer les conflits entre les utilisateurs, de veiller à la préservation de la ressource et à l'entretien des infrastructures mises en place.

Scénarios et simulations

Dans le cas du bassin aménagé de la Comoé, les différents scénarios à tester ont été mis au point en collaboration avec la Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts Bassins de Bobo Dioulasso. Cette Direction a en charge la gestion et la planification de l'eau dans la région sud-ouest du Burkina Faso. Elle mène actuellement un programme dénommé R.E.SO. (valorisation des Ressources en Eau du

Sud-Ouest) qui comporte un volet "Schéma Directeur et Planification". Plusieurs scénarios d'évolution ont été envisagés, en considérant l'évolution de la population de Banfora, l'augmentation des surfaces irriguées, etc..

Parmi ces scénarios nous en présenterons deux, les autres étant encore en cours d'analyse.

Le premier concerne la simulation de l'état actuel du système, en tenant compte de l'ensemble des demandes à satisfaire (350 ha de riz notamment). Le second envisage la déconnexion du barrage de Toussiana de l'ensemble du système pour le réserver au maraîchage. Pour l'ensemble des simulations, la période choisie pour la base de données va de 1960 à 1995. Dans l'état actuel d'avancement, seule la base de données mensuelles a été complétée. Les simulations ont donc été effectuées au pas de temps mensuel.

Pour la base de données pluviométriques, 18 stations situées sur le bassin ou aux abords du bassin ont été utilisées. Les données manquantes ont pu être reconstituées par corrélation avec les stations les plus proches. La station de mesure servant au calcul de l'ETP est celle de Bérégadougou située au cœur du périmètre sucrier et disposant de plus de 22 ans de données. Concer-

nant la base de données hydrométriques, on dispose de trois stations fournissant les apports des trois retenues. Les débits naturels ont été reconstitués et étendus à l'aide des stations hydrométriques de longue durée observées sur la Comoé et des apports issus des bilans hydrologiques des trois retenues effectués pour les années observées.

Pour les deux scénarios simulés, les principes suivants ont été retenus :

- l'ordre de priorité des besoins a été fixé de la façon suivante, du plus prioritaire au moins prioritaire : Eau potable ; demandes industrielles, maraîchage et riz ; canne à sucre ;
- l'efficacité d'irrigation a été fixée à 65 %, ce qui correspond aux techniques par aspersion utilisées, les résultats globaux de simulation des deux scénarios sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

Discussion

Pour le premier scénario, on a un système déficitaire puisque 58 % des années simulées sont déficitaires, de manière plus ou moins marquée. En analyse mensuelle globale, 11 % des pas de temps sont déficitaires. Compte tenu des priorités fixées, les besoins en eau potable sont assurés correctement,

Comoé - système d'eau - simulation 1 de Comoé - résultats globaux		
fourniture	2523778.3	10 ³ m ³
déficits	162388.6	10 ³ m ³
défaillances	48	
prélèvements	2703993.6	10 ³ m ³
Evénements extrêmes - distribution des besoins		
pénurie max.	100.0 %	- avr-83
durée max. de pénurie	5 mois de fev-94 à jui-94 avec une pénurie de 22.8 %	
Pertes		
pertes totales	666972.4	10 ³ m ³
pertes par liens	0.0	10 ³ m ³
aval en sus	245578.5	10 ³ m ³
analyse des résultats	En 36 ans de gestion simulée on compte 15 ans sans pénurie, 12 ans à faible pénurie inférieure à 10.0 %, 7 ans à pénurie moyenne, 2 ans à forte pénurie supérieure à 25.0 %, dont l'année 1984 (29.4 %).	
Les défaillances sont survenues pour les mois de, février avec un taux de pénurie de 4.3 %, mars avec un taux de pénurie de 11.3 %, avril avec un taux de pénurie de 27.5 %, mai avec un taux de pénurie de 7.4 %, juin avec un taux de pénurie de 0.3 %.		
Sur les 18 besoins de l'aménagement, il est survenu au moins une défaillance sur :		
- 18 besoins de priorité moyenne (18 au total) - le besoin le moins prioritaire, perim7 de type périmètre d'irrigation, a connu une pénurie de 6.5 % - -Cite A de type demande en Eau Potable est le besoin le plus prioritaire à avoir connu une pénurie de 0.9 % -		

Tableau 4 : Texte fourni par le modèle HYDRAM - résultats de simulation du scénario 1

sys_CL96 - système d'eau - simulation 2 de sys_CL96 - résultats globaux		
fourniture	2389532.0	10 ³ m ³
déficits	65830.9	10 ³ m ³
défaillances	139	
prélèvements	2502858.3	10 ³ m ³
Evénements extrêmes - distribution des besoins		
pénurie max.	58.7 %	- mar-84
durée max. de pénurie	6 mois de jan-94 a jui-94 avec une pénurie de 10.9 %	
Pertes		
pertes totales	462563.5	10 ³ m ³
pertes par liens	0.0	10 ³ m ³
aval en sus	162449.0	10 ³ m ³
analyse des résultats	En 36 ans de gestion simulée on compte 0 an sans pénurie, 33 ans à faible pénurie inférieure à 10.0 %, 3 ans à pénurie moyenne.	
Les défaillances sont survenues pour les mois de janvier avec un taux de pénurie de 1.5 %, février avec un taux de pénurie de 2.1 %, mars avec un taux de pénurie de 6.3 %, avril avec un taux de pénurie de 8.3 %, mai avec un taux de pénurie de 2.9 %.		
Sur les 17 besoins de l'aménagement, il est survenu au moins une défaillance sur :		
- 9 besoins de priorité moyenne (17 au total) - le besoin le moins prioritaire, perim4 de type périmètre d'irrigation, a connu une pénurie de 17.0 % -		

Tableau 5 : Texte fourni par le modèle HYDRAM - résultats de simulation du scénario 2

seuls les périmètres irrigués connaissent des déficits. La pénurie maximale observée de 100 % en avril 1983 survient lors d'une année exceptionnellement sèche pour la région ; les ressources sont alors plus faibles et les demandes très fortes. Il faut noter qu'en réduisant la superficie de riz de

350 à 120 ha le système devient alors presque suffisant, avec 80 % des années non déficitaires et moins de 3 % des mois en déficit.

Pour le second scénario, 32 % des mois sont déficitaires et on observe aucune année sans pénurie. Il faut néanmoins noter que les déficits,

s'ils surviennent plus souvent, sont moins sévères. Cette particularité peut être expliquée par la conformation du réseau et l'occurrence de saturations de certaines conduites. Les mois d'avril connaissent une pénurie globale de 8,3 % contre 27,5 % pour le scénario précédent. Là encore, si l'on réduit la superfi-

cie du périmètre rizicole de 350 à 120 ha, on obtient une amélioration notable, avec un taux maximum de pénurie qui passe de 58,7 % à 19,8 % et toutes les années sont alors avec une pénurie inférieure à 10 %.

En conclusion, le système aménagé de la Comoé atteint ses limites d'extension par le manque de ressources en eau. Les ressources mobilisables supplémentaires sont rares et leur mobilisation doit faire l'objet d'attentions particulières au regard des conséquences environnementales possibles. Les limitations d'exploitation du périmètre rizicole de Karfiguéla sont compréhensibles au vu des résultats de simulation. L'utilisation du modèle de simulation HYDRAM doit per-

mettre d'envisager d'autres scénarios de développement en collaboration avec tous les acteurs et utilisateurs du système.

CONCLUSION

Avec le modèle de simulation HYDRAM, on dispose d'un outil adapté à la modélisation du fonctionnement des systèmes d'eau complexes. Une fois la banque de données mise au point, un grand nombre de scénarios peuvent être simulés rapidement et les conséquences prévisibles de ces scénarios aisément déduites. Le dialogue entre techniciens, politiques, acteurs et décideurs peut alors être plus facilement instauré et les modifications issues de ce dialogue

peuvent également être envisagées facilement. La résolution des conflits et la mise au point de la politique de distribution s'en trouve alors facilitée. □

REMERCIEMENTS

L'auteur souhaite remercier :

- le Conseil Général de la Guadeloupe ; les travaux d'élaboration du modèle HYDRAM ont été menés au sein du centre ORSTOM de Pointe-à-Pitre et cofinancés par le Conseil Général de la Guadeloupe et l'ORSTOM.

- La Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts-Bassins de Bobo Dioulasso, pour la collaboration et la mise à disposition des données.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pouget, J.C., Dezetter, A., 1993, Water resources management in a tropical island environment. The case of Guadeloupe. 4e Symposium de l'AISH, "Hydrology of Warm Humid Regions", Symposium H3, Yokohama, Japon.

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

Traore, S., 1996, Le bassin versant de la Comoé et ses hydrosystèmes, Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts-Bassins, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, document interne.

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.



SUD SCIENCES & TECHNOLOGIES

La Revue Sud Sciences et Technologies est accessible sur le WEB à l'adresse suivante :

<http://ohraoc.orstom.bf/HTMLF/ORGINT/EIER/SST/INDEX.HTM>

(attention à la distinction minuscules/majuscules - le serveur fait la différence)

Vous y trouverez :

Les photos des couvertures du numéro 1, l'éditorial, l'avant-propos, le sommaire, les titres et les résumés des articles ainsi qu'un bulletin d'abonnement.