

## **Différentes approches de développement informatique au sein de FRIEND-AOC: des outils pour la recherche et l'hydrologie opérationnelle, et des supports de formation**

**E. SERVAT, J. F. BOYER, J. E. PATUREL, C. BERKHOFF & B. KOUAME**

*Antenne Hydrologique Orstom, 06 BP 1203, Abidjan 06 Cidex 1, Côte d'Ivoire*

**Résumé** La réalisation de programmes de recherche qui s'inscrivent dans la thématique FRIEND-AOC a eu pour conséquence le développement d'outils informatiques de natures diverses. Ces logiciels peuvent être utilisés tant pour la recherche que pour traiter des problèmes d'hydrologie opérationnelle. Certains d'entre eux se révèlent très utiles en matière de formation. Emile (Ensemble Modélisateur Intégré pour le calcul des Lames d'Eau) a été réalisé afin de remédier aux habituelles difficultés d'utilisation des modèles hydrologiques (nombreux fichiers, algorithmes spécifiques, programmation). Ce produit combine traitements automatisés et méthodes numériques de type programmation non linéaire. Son interface conviviale permet à l'utilisateur de gérer l'ensemble des données nécessaires, et de se servir aisément des outils mathématiques sophistiqués que sont les modèles hydrologiques pluie-débit. Le logiciel Generator a, quant à lui, pour ambition de permettre à tout hydrologue de construire lui-même un algorithme pluie-débit conceptuel et global à partir d'objets de base. Ces objets sont mis à sa disposition dans une boîte à outils qui, elle-même, peut être enrichie à partir d'objets créés par l'utilisateur. Generator a été développé sous l'environnement Windows. Il ne fonctionne qu'en calage et propose, à cette fin, des méthodes d'optimisation des paramètres. Il devra à terme fonctionner en synergie avec Emile dont il constituera l'outil de créations de modèles. Dans le cadre de FRIEND-AOC, projet à vocation régionale, il est apparu nécessaire de développer des bases de données opérationnelles compte tenu de la quantité d'informations à traiter. Pour gérer les nombreuses données acquises dans le cadre du programme Iccare, il a fallu développer une base de données relationnelle (HEP-Base), qui constitue également le gestionnaire de données d'Emile. Pour l'ensemble du projet FRIEND, il existe une centralisation des données mises en commun par les pays participant. La gestion de cette information se fera à l'aide de Badoie (BASE de DONNÉES Inter-Etats). Cette base, élément important du projet dans son ensemble, développée sous environnement Windows, est présentée, ici, sous ses aspects les plus caractéristiques (conservation et de gestion de plusieurs jeux de données pour une même station, historique des mouvements de données, production d'inventaires complétés par des représentations cartographiques, etc.).

**Data processing developments within FRIEND-AOC: tools for research and operational hydrology, and for the support of training**

**Abstract** The development of research programmes within the FRIEND-AOC project has led to the construction of many computer tools. This software can be used for both research and operational hydrology. Some of the programs are very useful for training. Emile (Ensemble Modélisateur Intégré pour le calcul des Lames d'Eau) has been designed to avoid the usual difficulties in the utilization of hydrological models (many files, specific algorithms, programming, etc.). It is user-friendly and so allows easy data management and the easy use of three hydrological conceptual lumped models (CREC, GR3, Modglo). The program Generator aims to allow any hydrologist to build his own model from basic objects, some of which already exist and others which can be made by the user. It only works on calibration and will have to work with Emile. It will be the tool for creating models with Emile. As many data have to be managed within the FRIEND-AOC project, operational data bases had to be developed. A relational data base (HEP-Base) has been developed to manage the very numerous data of the Iccare program. More generally, and for the whole FRIEND-AOC project, there is a centralization of the data given by the countries taking part in the project. This data management will be made using Badoie. The main features of this database are explained here.

**NOTES TECHNIQUES EMILE**

Les modèles hydrologiques pluie-débit se révèlent généralement des outils difficiles à utiliser, tant pour un hydrologue non spécialiste de la modélisation que pour un non informaticien. Ils demandent en effet, très souvent, des manipulations de fichiers longues-et fastidieuses ainsi que la connaissance approfondie du programme et de son langage de programmation. En outre, les résultats obtenus sont rarement directement exploitables, et il faut fréquemment avoir recours à l'aide externe de tableurs graphes ou de logiciels de traitements statistiques pour les traiter. Or, les modèles hydrologiques sont aujourd'hui des outils indispensables à toutes les études et recherches dans le domaine de l'estimation, de la valorisation et de la gestion des ressources en eau, en particulier dans le cadre des projets de développement mis en place dans les PED. Afin de remédier à ces difficultés, il fallait pouvoir utiliser un logiciel qui gère les données des stations hydrométriques et des postes pluviométriques de manière transparente pour l'utilisateur, qui offre les différentes possibilités d'utilisation d'un ou plusieurs algorithmes de transformation de la pluie en débit, et qui permette une première exploitation des résultats. C'est pour répondre à ces différents impératifs que le logiciel Emile (Ensemble Modélisateur Intégré pour le calcul des Lames d'Eau) a été réalisé. Il associe une gestion de l'ensemble des données utilisées à l'emploi de trois modèles conceptuels et à des méthodes numériques sophistiquées dans un environnement très convivial pour l'utilisateur.

## MODELES HYDROLOGIQUES ET METHODES NUMERIQUES

Emile intègre trois algorithmes de modélisation de la relation pluie-débit. Ce sont des modèles globaux conceptuels et déterministes fréquemment utilisés en hydrologie:

- CREC, mis au point au Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de l'Université de Montpellier II (Guilbot, 1986; Servat & Dezetter, 1993);
- GR3, mis au point par la Division Hydrologie du Cemagref à Antony (Edijatno & Michel, 1989, Servat & Dezetter, 1993);
- Modglo mis au point à l'Orstom (Servat & Dezetter, 1988).

Tous ces algorithmes, dont le pas de temps de calcul est journalier, ont une architecture commune, à savoir:

- deux entrées: pluie et évapotranspiration;
- une fonction de production et une fonction de transfert qui transforment la pluie en débit et modulent sa répartition dans le temps;
- une sortie: le débit calculé.

Les fonctions de production et de transfert sont construites autour de réservoirs dont les coefficients de répartition et les lois de vidange permettent la représentation des volumes mis en jeu et leur modulation dans le temps. Les équations utilisées dans ces algorithmes présentent un nombre de paramètres très variable d'un modèle à l'autre. Les paramètres des modèles permettent de les régler afin qu'ils représentent au mieux les phénomènes observés, c'est à dire les débits mesurés à l'exutoire d'un bassin versant.

## EMILE: STRUCTURES ET PARTICULARITES

L'environnement informatique nécessaire à l'utilisation d'Emile consiste en un micro-ordinateur équipé d'un processeur de type 80386 et de 640 Ko de RAM. La présence d'un coprocesseur mathématique est souhaitable compte tenu des calculs auxquels il est procédé. L'utilisation d'un écran VGA couleur et d'une souris est gérée par le logiciel.

Emile a été entièrement réalisé en Turbo Pascal 6.0. High-Screen 5.0, générateur d'interface écrans a été utilisé pour développer la totalité des écrans de saisie et d'interrogations du logiciel.

### Le modèle conceptuel des traitements

La Fig. 1 présente le modèle général des traitements effectués dans le cadre d'Emile. C'est donc l'enchaînement des différentes opérations réalisées par le logiciel. Une session correspond à quatre types de traitements différents: calage manuel, calage automatique, simulation et génération de débits. Nous reviendrons plus en détail sur ces spécificités.

Gestion des stations hydrométriques et des postes pluviométriques. Emile gère les stations hydrométriques (assimilées aux bassins versants qu'elles contrôlent) et les postes pluviométriques. Cette gestion permet de classer les données par bassin ou par poste. En outre, il est possible d'établir un lien dynamique entre les bassins (stations hydrométriques) et les postes pluviométriques. Ce lien permet le calcul de la pluviométrie moyenne sur un bassin versant donné. Créé par l'utilisateur, ce lien dynamique autorise

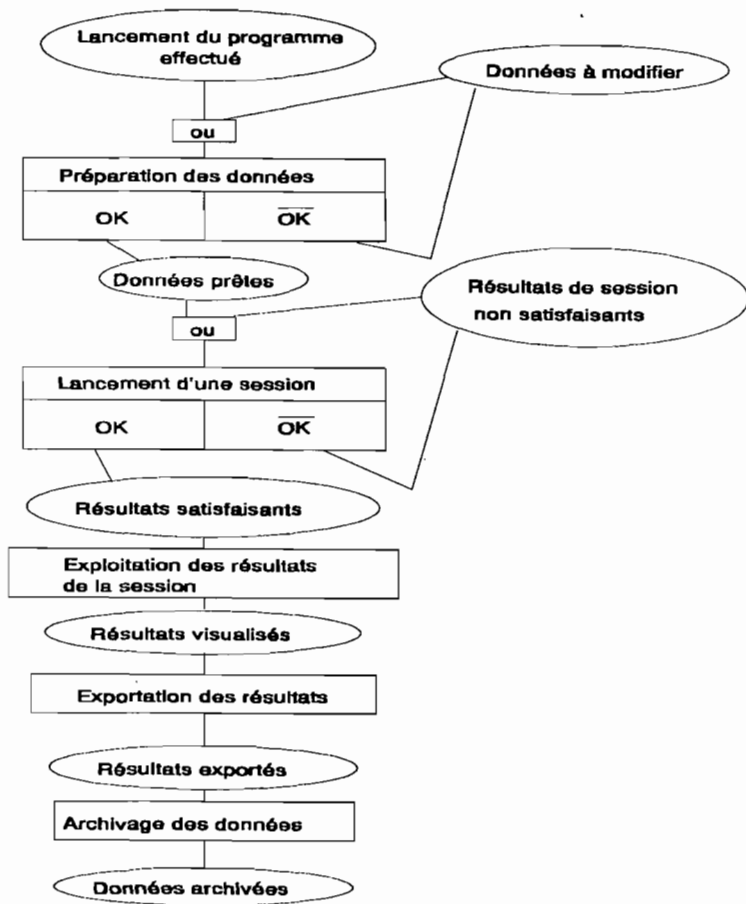


Fig. 1 Modèle conceptuel des traitements: modèle général.

l'utilisation de l'information recueillie sur un poste pluviométrique pour plusieurs bassins.

C'est ce que montre la Fig. 2: les données hydrométriques sont rattachées à un bassin versant, lui-même rattaché à une zone, alors que les données pluviométriques sont gérées séparément. L'information contenue en *PPa* peut ainsi être utilisée pour le B.V. 1 ou pour le B.V. 2 si la réalité géographique ou hydrologique le permet.

### Les données traitées

Les modèles hydrologiques globaux traitent plusieurs types de données: pluies moyennes sur un bassin, débits et évapotranspiration (ETP). Emile permet de gérer facilement ces trois types de données à l'aide d'une série de menus de préparation des données qui servent à leur mise en forme pour les modèles hydrologiques. De nombreuses possibilités sont offertes à l'utilisateur pour acquérir ces données.

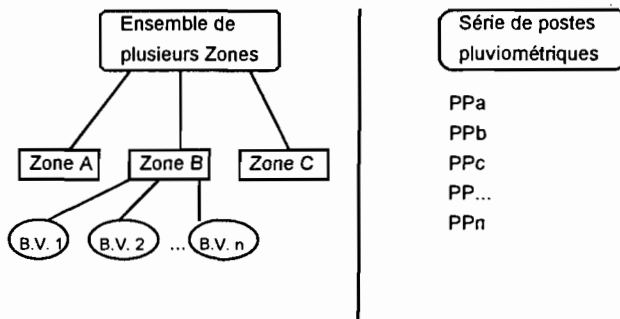


Fig. 2 Principe de gestion des données hydrométriques et pluviométriques.

#### Acquisition des débits:

- importation selon plusieurs formats de fichiers dont les fichiers Hydrom (Boyer & Cochonneau, 1993);
- saisie des débits journaliers.

#### Acquisition des pluies moyennes pour le bassin versant considéré:

- importation selon plusieurs formats de fichiers dont les fichiers Pluviom (Boyer *et al.*, 1992);
- saisie des pluies moyennes journalières;
- calcul des pluies moyennes à l'aide de différents postes pluviométriques et de leurs coefficients de pondération. Les pluies journalières de chaque poste pluviométrique peuvent être saisies ou importées de la même façon que les pluies moyennes journalières.

#### Acquisition des ETP:

- importation des ETP journalières, décadaires ou mensuelles, ces dernières étant ensuite transformées en données journalières;
- saisie des ETP journalières, décadaires ou mensuelles;
- calcul des ETP selon la formule de Penman, les paramètres de cette formule peuvent être saisis ou importés au pas de temps journalier ou mensuel;
- calcul des ETP selon la formule de Thornthwaite, les paramètres de cette formule peuvent être saisis au pas de temps mensuel.

En outre, plusieurs outils de visualisation et d'étude des concomitances permettent de tester la présence et la cohérence des données. Il est possible, par exemple, de visualiser les pluies et les débits sur un graphique et d'avoir accès à une grille de saisie afin de corriger une ou plusieurs valeurs de pluies ou de débits.

**Les différents types de sessions:** Emile permet l'accès à plusieurs types de sessions, et donc à différentes utilisations des algorithmes: calages manuels, calages automatiques, simulations et générations de débits. Parmi ceux-ci, calages manuels et calages automatiques sont utilisés pour générer des jeux de valeurs optimales de paramètres des modèles pour un bassin donné. La Fig. 3 présente les détails de la phase de modélisation au sein du modèle conceptuel des traitements.

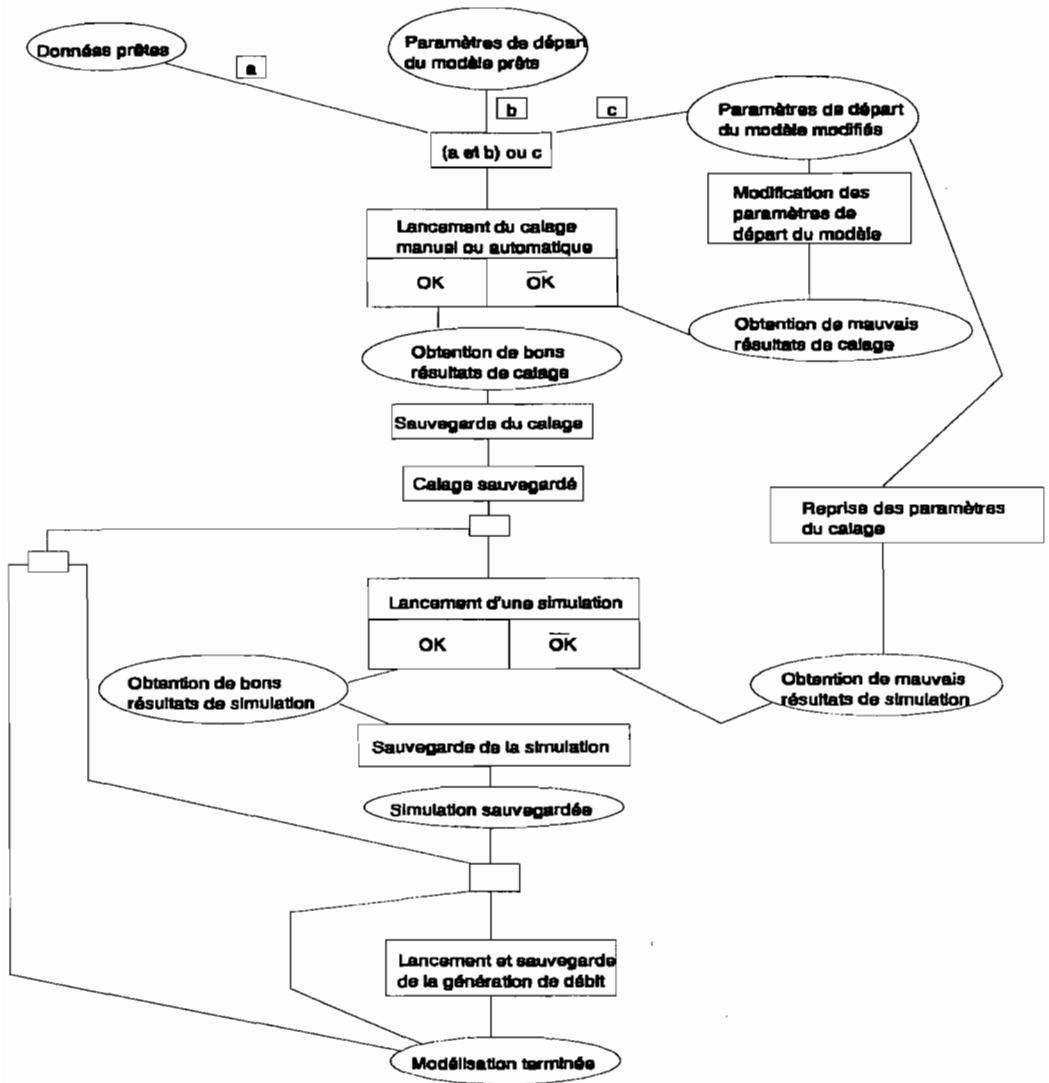


Fig. 3 Modèle conceptuel des traitements: détail de la phase de modélisation.

**Les traitements automatisés (ou par lots):** les traitements par lots permettent d'effectuer plusieurs sessions différentes les unes à la suite des autres.

### L'exploitation des résultats

La phase d'exploitation des résultats vient en complément des sessions d'utilisation des modèles proprement dites. Elle fournit plusieurs types de graphiques (hydrogrammes, suivis des niveaux de réservoirs de modèles, etc.) ainsi que divers calculs statistiques (coefficients d'IRVC, écarts type, coefficients de corrélation, coefficients d'autocorréla-

tion) et de bilans qui permettent une évaluation plus précise de la qualité d'une session de calage ou de simulation.

### Les utilitaires

Emile dispose également d'une série d'utilitaires qui permettent une gestion efficace des données et des sessions ainsi que des communications avec d'autres logiciels.

Des utilitaires de sauvegarde, suppression et restauration des données:

- sauvegarde d'une zone: une zone est un regroupement de plusieurs bassins versants, la zone du fleuve Niger par exemple comprend tous les bassins versants situés sur le bassin hydrographique du Niger;
- restauration d'une zone;
- suppression d'une zone;
- sauvegarde d'un bassin: cette opération sauve toutes les données du bassin (pluviométrie, débits observés et ETP), y compris les résultats de sessions (débits calculés, paramètres des modèles calés, etc.);
- restauration d'un bassin;
- suppression d'un bassin;
- sauvegarde d'un poste pluviométrique: cette opération sauve les pluies journalières relevées pour un poste donné;
- restauration d'un poste pluviométrique;
- suppression d'un poste pluviométrique;
- purge d'une session: permet de supprimer les résultats d'une session.

Des utilitaires d'exportation de données:

- pluies par poste;
- pluies moyennes;
- débits journaliers;
- ETP journalières;
- paramètres de calage;
- ETP et ETR;
- niveau des réservoirs;
- pluies et débits;
- résultats d'exploitation.

### Conclusions et perspectives

Emile a reçu un accueil très favorable de la part de l'ensemble des intervenants dans le domaine de l'eau. Sa conception lui permet en effet de remplir un triple rôle en matière de modélisation hydrologique: pédagogique, opérationnel et outil de recherche. Il peut effectivement être utilisé dans le cadre d'une formation à la modélisation hydrologique, et ses nombreux graphiques et résultats chiffrés permettent de bien saisir le rôle de chacun des composants. Mais il peut également servir d'outil de modélisation dans le cadre d'études d'ingénierie ou de travaux de recherche.

Les perspectives d'avenir du logiciel sont celles de la sortie dans le courant de l'année 1996 de la version d'Emile sous environnement Windows. Elle devrait combiner

les modules de calcul avec une gestion des données effectuée, cette fois, à l'aide d'un véritable SGBD. De même les possibilités de sortie des graphiques seront améliorées, Emile s'enrichissant alors de toutes les fonctionnalités Windows.

## **GENERATOR**

### **Introduction**

Les modèles hydrologiques sont des outils très fréquemment utilisés dans le domaine de l'évaluation, de la valorisation et de la gestion des ressources en eau. Les hydrologues ont construit une grande variété de modèles conceptuels globaux. L'informatique permet de réaliser certains traitements de manière automatique mais son application à la construction de modèles n'est pas chose aisée pour un profane. Le logiciel Générateur, utilisant les principes de la programmation orientée objet, permet à l'hydrologue de concevoir simplement le modèle conceptuel global qui lui convient, à partir d'objets de base.

### **Application de la programmation orientée objet à l'hydrologie**

Il existe une forte analogie entre la conception d'un modèle global en hydrologie et l'approche orientée objet en informatique. Dans un cas comme dans l'autre on découpe le problème en terme d'objets. Les modèles hydrologiques sont en effet constitués d'entités de base (la pluie, les réservoirs, les débits, etc.) qui stockent ou qui distribuent de l'eau.

La programmation orientée objet met en oeuvre trois concepts fondamentaux:

- l'héritage: il est possible de créer toute une hiérarchie d'objets héritant les uns des autres. Ainsi toute information héritée d'un objet ne nécessite pas d'être redéfinie à chaque fois;
- l'encapsulation: les informations sont toujours rattachées à des objets. On peut donc faire complètement abstraction des informations que l'on manipule si l'on passe par l'intermédiaire de ces objets;
- le polymorphisme: consiste à donner le même nom à une action commune à une hiérarchie d'objets, chaque objet redéfinissant son effet réel afin de l'adapter à ses besoins.

Ces trois concepts permettent de construire plus facilement une application en procédant par couches, du plus simple vers le plus complexe. Générateur a été développé à l'aide du compilateur Borland Pascal 7.0. Cet environnement de développement nous permet de bénéficier des qualités ergonomiques de l'environnement graphique Windows.

### **Présentation de Générateur**

L'environnement de Générateur est constitué de trois éléments principaux (Fig. 4): une fenêtre dans laquelle l'utilisateur peut dessiner son modèle, une barre d'outils contenant les boutons représentatifs des fonctions les plus couramment utilisées, et une palette



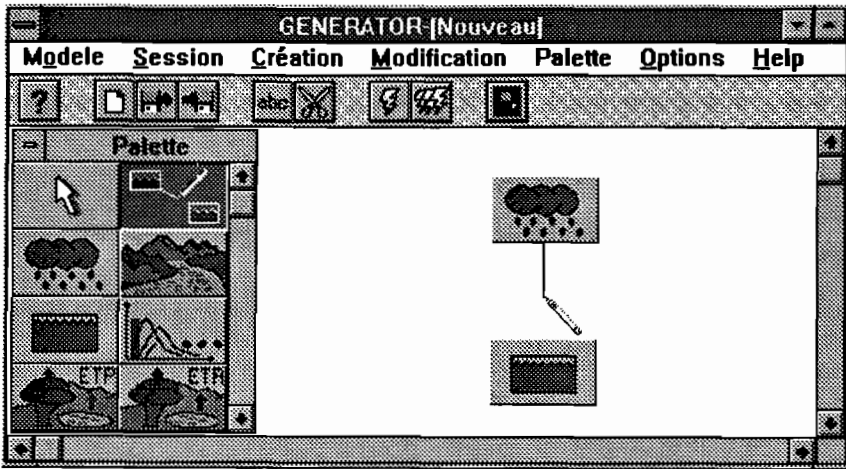


Fig. 4 La fenêtre principale de Générateur.

composée de boutons sur lesquels on peut cliquer pour insérer un objet dans la fenêtre du modèle.

Les objets utilisés peuvent être classés en deux catégories: les objets standards fournis avec l'application et les objets définis par l'utilisateur. Parmi les objets standards on a isolé les objets contenant les données calculées ou observées (les débits, l'évapotranspiration réelle, l'évapotranspiration potentielle, ou la pluie), l'objet répartiteur qui permet de moduler dans le temps les quantités d'eau restituées et enfin l'objet réservoir qui dispose d'un niveau et d'une capacité. Ces objets ont tous une structure identique: ils contiennent une série de variables et une série de paramètres qu'il est possible de modifier. L'utilisateur peut aussi créer une nouvelle catégorie d'objets à partir des éléments qu'il aura sélectionnés dans le modèle. Un nouveau bouton sera alors créé et rajouté à la palette.

Les liens qui relient les différents objets d'un modèle hydrologique sont matérialisés par des flux dans lesquels sont stockées des équations mathématiques. Ces flux relient une variable de départ d'un objet à une variable d'arrivée d'un autre objet. L'équation permet de calculer la quantité d'eau qui se déplace. Une fois le modèle créé on peut le caler en sélectionnant une méthode d'optimisation des paramètres parmi celles qui sont proposées. Chaque donnée des objets d'entrée (pluie ou évapotranspiration potentielle) sera alors injectée dans le modèle et circulera d'objet en objet par l'intermédiaire des flux jusqu'aux objets débit ou évapotranspiration réelles qui recueillent les données calculées. Entre chaque cycle de calcul les méthodes d'optimisation adéquates seront appliquées afin de faire converger les valeurs des paramètres du modèle vers la solution optimale. Les différentes valeurs prises par les variables au cours d'un calage peuvent être stockées dans des fichiers ou visualisées sous forme graphique. Chaque modèle créé peut être sauvegardé pour être réutilisé à tout moment.

### Conclusion et perspectives

En plus de son attrait pour les hydrologues qui manipulent des modèles, Générateur

possède un intérêt pédagogique évident. Un étudiant qui utilisera ce logiciel pour construire un modèle pas à pas comprendra plus facilement de quoi se compose un modèle hydrologique et quelle est son utilité. L'application ne fonctionne actuellement qu'en calage. Elle devra à terme fonctionner en synergie avec le logiciel Emile dont elle constituera l'outil de création de modèles.

## **HEP-BASE**

### **Introduction**

Le programme Iccare (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en AfRique de l'ouest non sahélienne), a pour objet l'identification, dans toute la sous-région « Afrique de l'Ouest non sahélienne », d'une éventuelle variabilité du climat. La masse de données que représente une telle étude est considérable. Pour la gérer, il s'est avéré nécessaire de développer HEP-Base sous environnement Windows, une base de données relationnelle alimentée à partir d'Hydrom et Pluviom (logiciels développés à l'Orstom), qui permet un accès simplifié par requêtes, et l'utilisation de nombreuses fonctionnalités. En outre, HEP-Base constitue le gestionnaire de données d'Emile.

### **Contenu de la base: types de données gérées et fonctionnalités**

HEP-Base a été développé pour gérer des données d'Hydrométrie, d'Evapotranspiration et de Pluviométrie. Ces données sont acquises à des stations d'observations, HEP-Base gère également les données d'identification de ces stations de mesures. Les observations sont acquises au pas de temps journalier, décadaire et mensuel.

Les fonctions remplies par HEP-Base sont multiples:

- mise à jour: recouvre les opérations de saisie, correction, exclusion et visualisation de données (tableaux et graphiques);
- édition: englobe les éditions d'inventaires de données;
- traitements simples: regroupe les opérations simples de statistiques descriptives annuelles et interannuelles;
- mise à disposition: permet d'extraire par des requêtes, des données dans des formats standards.

### **Critères de choix de Paradox 4.5 pour Windows**

Paradox est un système de gestion de base de données relationnelles, muni d'un puissant langage de programmation piloté par les événements, ObjectPal. De plus Paradox est un produit très répandu dans ses versions DOS, ce qui est un gage de qualité et une garantie de suivi et d'évolution.

### **Utilisation de Paradox**

Paradox met à la disposition du programmeur différents types d'objet qui lui servent à définir et constituer la base de données, et à implémenter son application:

**Les tables:** Paradox stocke les informations dans des tables. Elles sont composées d'enregistrements qui contiennent l'information sous la forme d'une succession de variables appelées champs;

**Les fiches:** les fiches sont les objets permettant de visualiser et de travailler sur un enregistrement. Elles fonctionnent comme un écran de saisie, et représentent l'élément principal de l'interface entre l'utilisateur de la base de données et les données elles mêmes;

**Les états:** les états sont la forme imprimée des données. Ils peuvent représenter les données d'une table mais aussi les résultats de calculs ou de combinaisons sur les champs d'une ou plusieurs tables;

**Les requêtes:** une requête est une question que l'on formule sur les données de la base. La réponse est stockée dans une table sur laquelle on peut effectuer divers traitements;

**Les scripts:** les scripts sont des lignes de programmation écrites en ObjectPal, qui permettent d'effectuer automatiquement des opérations;

**Les bibliothèques:** les bibliothèques sont des objets permettant de stocker du code ObjectPal. Ceci permet de partager des procédures entre les fiches, les états et les scripts d'une application.

## Schéma relationnel

La Fig. 5 représente les relations établies entre les tables qui constituent la base de données. Les trois tables de données (hydrométrique, pluviométrique et ETP) sont indexées aux stations ou postes par leur code. Les postes pluviométriques et ETP sont indexés chacun à un pays et à une zone. La station hydrométrique est, de plus, reliée à une rivière. Enfin, chaque rivière est reliée à un bassin.

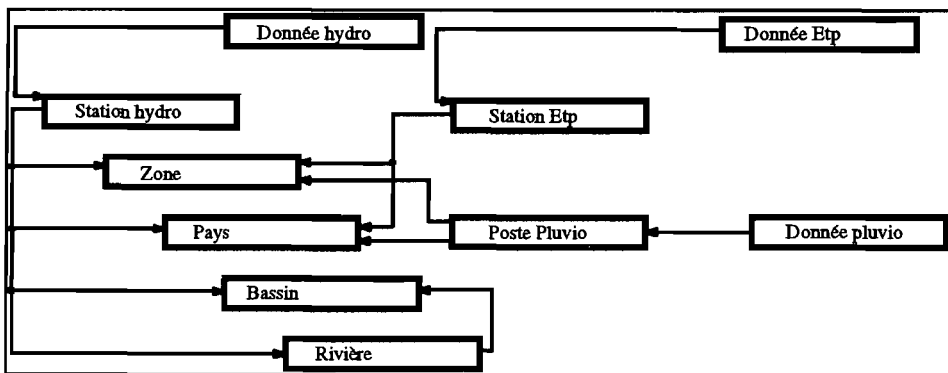


Fig. 5 Relations entre les différentes tables de HEP-Base.

## Elaboration des fiches

Les fiches sont des objets assimilés à des écrans de saisie qui permettent de visualiser les enregistrements d'une table. La Fig. 6 montre celle représentant les enregistrements de la table « données pluviométriques ». A chaque champ de l'enregistrement données pluviométriques va correspondre un champ de saisie de la fiche. D'autres objets sont rajoutés à la fiche: des champs calculés, des boutons et un menu.

**Mise à jour des données pluviométriques**

Unités en 1/10 mm

Code poste : 109000100 Année : 1936 Mois : 6

01	280	11	200	21	0
02	0	12	0	22	20
03	0	13	0	23	0
04	0	14	120	24	0
05	1000	15	0	25	0
06	0	16	0	26	0
07	0	17	0	27	0
08	0	18	0	28	100
09	0	19	100	29	0
10	0	20	0	30	100

1000 2 1305 1220 31 3545

Fig. 6 Fiche représentant les enregistrements de la table « données pluviométriques ».

## Les requêtes

Les requêtes sont des questions posées à la base de données. La réponse est fournie sous la forme d'une table contenant les données satisfaisant aux critères. Pour initialiser les critères, une fiche a été créée qui résume toutes les possibilités de sélection des données (Fig. 7).

## Les états

Les états sont les sorties imprimées de tout ou partie des champs des enregistrements d'une table. Ils se construisent graphiquement et peuvent présenter, par exemple, le résultat d'une requête. La Fig. 8 présente le résultat de l'impression d'une liste de bassins. Cette liste peut être dirigée soit à l'écran soit directement sur l'imprimante.

## Conclusion

Sans rentrer dans le détail de Paradox Windows et sans vouloir exposer la théorie des bases de données, cette communication a pour objet de donner un exemple de la

Fig. 7 Fiche dédiée aux requêtes, apparaissant avant chaque interrogation (impression, extraction, inventaire, etc.).

faisabilité d'un gestionnaire simple de données hydroclimatiques; et ce, sans investissement important tant en programmation qu'en développement d'outils spécifiques.

Il existe, cependant, une contrainte majeure à la réalisation d'une telle base de données. HEP gère, en effet, des données à pas de temps fixe, ce qui permet d'élaborer les tables nécessaires sans difficultés. Il en aurait été autrement, s'il avait fallu gérer des données à pas de temps variable telles que les cotes instantanées ou la pluviographie.

Code bassin	Nom des bassins
Aghad	Aghad
Banco	Banco
Banda	Banda
Ba	Ba
Boubou	Boubou
Caval	Caval
Comoe	Comoe
Dgbi	Dgbi
Dodo	Dodo
Ebang	Ebang
Me	Me
Zouo	Zouo
Neri	Neri
Niger	Niger
Rabou	RABOUMOU
Oueme	Oueme
Sampo	San Pedro
Sassa	Sassandra
Tabou	Tabou
Valla	Valla
Yopou	Yopougon

Fig. 8 Exemple d'impression sous HEP-Base de la table des bassins hydrographiques.

## BADOIE

### Introduction

Badoie (**BA**nque de **DO**nnées **Inter-Etats**) est le nom de la base de données du projet FRIEND-AOC (Flow Regimes from International and Experimental Network Data, Afrique de l'Ouest et Centrale).

Les données seront collectées au pas de temps journalier ou aux pas de temps supérieurs disponibles (pentadaire, décadaire ou mensuel), dans les formats utilisés par les services nationaux ou les pôles de recherche du projet (formats Hydrom, Pluviom, Clicom, etc.). Badoie devra aussi fournir une vue globale des données à l'aide de divers types d'inventaires. Les données hydrométriques et pluviométriques seront transmises sur disquette, après accord écrit du Centre de Coordination au service national ou à l'équipe de recherche qui en fera la demande. Celle-ci s'engage à respecter les règles de mise à disposition des données qui auront été définies par le Comité d'Orientation du projet.

### L'architecture de Badoie

Les données manipulées peuvent être séparées en deux types: les informations environnementales et les informations de fonctionnement. Les informations environnementales sont liées aux données proprement dites. Quant aux informations de fonctionnement, elles constituent les éléments qu'il est nécessaire de conserver pour une gestion dynamique des données (provenance des données, qui les a fournies ?, etc.).

### Les informations stockées

Les données qu'il est nécessaire de stocker sont les débits et les pluies ainsi que les informations concernant les stations et postes auxquels elles sont rattachées. Il convient aussi de pouvoir identifier les personnes en relation avec Badoie, c'est à dire, les pôles de recherche et les services nationaux, ainsi que l'origine et la nature des données, en mémorisant les informations telles que les flux de données et les jeux de données (*cf.* Fig. 9).

Les fonctions offertes par Badoie sont de trois sortes: la manipulation des données dans la base, l'établissement d'un historique des transactions effectuées avec Badoie et enfin une vue globale du stock de données, au moyen d'éditeurs et d'inventaires.

**Les interlocuteurs:** on regroupe dans cette entité les personnes en relation avec Badoie qu'ils soient clients ou fournisseurs de données. Ce sont généralement les services nationaux des Etats impliqués dans le programme FRIEND-AOC ou les pôles de recherche.

**Les flux de données:** les flux de données permettent de stocker toute information de provenance et de date sur les échanges de données entre Badoie et les services nationaux ou les pôles de recherche.

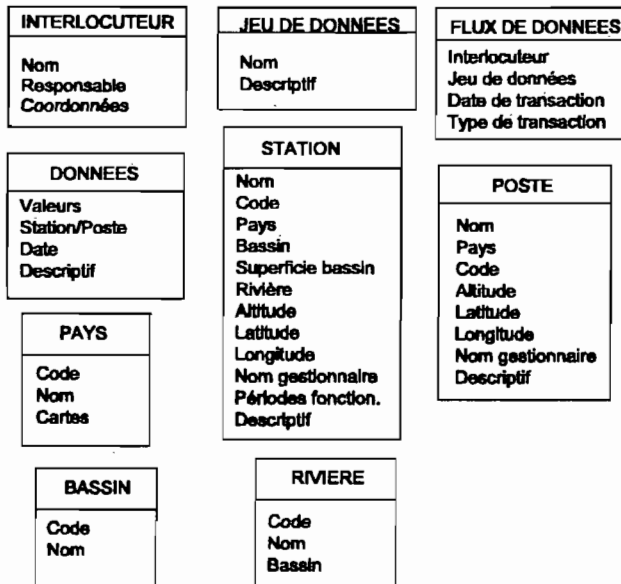


Fig. 9 Tables de Badoie.

**Le jeu de données:** un jeu de données permet de décrire la donnée. Ainsi, un jeu de données permet d'identifier la nature des données comme, des données brutes ou ayant fait l'objet d'un traitement.

**Les données:** chaque donnée fait référence à une station hydrométrique ou à un poste pluviométrique. Elle est aussi associée à une date précise. De plus un code permet de fournir des informations précises quant à la nature de la donnée (brute, reconstituée ou modifiée).

**Les stations hydrométriques:** toutes les données de débit gérées par Badoie sont nécessairement rattachées à une station.

**Les postes pluviométriques:** de la même façon, les données de pluie sont rattachées à des postes pluviométriques.

### Les services liés à la manipulation des données dans la base

Dans Badoie, les données sont visualisées sous la forme d'écrans tels que celui donné, à titre strictement indicatif, dans la Fig. 10. Les données ne seront pas saisies ou corrigées directement au sein de Badoie, la critique des données n'étant pas dans ses attributions. Pour ce faire, chaque client ou fournisseur disposera des outils Hydrom et Pluviom. Chaque correction effectuée par un service ou par un pôle de recherche sur un jeu de données constituera un jeu de données supplémentaire qui sera codé en conséquence.

Code station :		1090100112		Année :		1955		Mois :		1	
01	76,50	11	62,10	21	39,30	Decade 1 :	70,00				
02	71,00	12	59,50	22		Decade 2 :	65,00				
03	53,50	13	62,90	23	42,00	Decade 3 :	65,00				
04		14	46,40	24		Débit Mensuel :					
05	70,30	15	60,00	25		Boutons de consultation					
06	63,30	16	52,50	26		←   ←   →   →					
07		17	54,70	27	41,40						
08		18		28							
09	67,40	19	53,60	29							
10	66,70	20	37,10	30	48,30						

Fig. 10 Badoie – fiche de visualisation des données.

Code poste :	22000100	Nom de poste :	ABIDJAN AERO
Code pays :	109	Nom de pays :	Côte d'Ivoire
Latitude :	5.26	Altitude :	7.00 m
Longitude :	-3.93		
Boutons de consultation			
←   ←   →   →			

Fig. 11 Exemple de fiche de saisie d'informations « périphériques ».

Les procédures nécessaires à la saisie et à la correction des informations « périphériques » seront mises en place pour faire face à d'éventuels incidents (il faut pouvoir répondre, par exemple, au déplacement d'une station, au changement de nom d'un poste ou même d'un pays) (cf. Fig. 11).

Importation et exportation des données seront très ouvertes, de nombreuses passerelles étant développées tant vers les logiciels de gestion de données que vers les tableurs communément utilisés.

### Les services liés à la constitution d'un historique des transactions

L'ensemble des informations constituant l'historique des transactions de Badoie pourra être utilisé pour établir des requêtes spécifiques.

### Les services fournissant des éditions ou des inventaires

**Les éditions:** les éditions s'obtiendront à l'aide de critères tels que la nature des données, le pas de temps, les stations ou les postes, etc. Badoie permettra aussi l'élaboration de graphiques afin de mieux visualiser les données.

**Inventaires:** on considère deux types d'inventaires: les inventaires sous forme de tableaux et les inventaires sous forme de cartes:



Taux de lacunes  
 ■ = 0% ■ = 5% ■ = 5-10% ■ = 10-20% ■ = 20-30% ■ = 30-50% ■ = 50-70% ■ = 70-90% □ = 100%

Station: 1090000100	Station: 1090000100	Station: 1090000100	Station: 1090000100	Station: 1090000100
Année: 1950	Année: 1951	Année: 1952	Année: 1953	Année: 1954
Janvier	Janvier	Janvier	Janvier	Janvier
Février	Février	Février	Février	Février
Mars	Mars	Mars	Mars	Mars
Avril	Avril	Avril	Avril	Avril
Mai	Mai	Mai	Mai	Mai
Juin	Juin	Juin	Juin	Juin
Juillet	Juillet	Juillet	Juillet	Juillet
Août	Août	Août	Août	Août
Septembre	Septembre	Septembre	Septembre	Septembre
Octobre	Octobre	Octobre	Octobre	Octobre
Novembre	Novembre	Novembre	Novembre	Novembre
Décembre	Décembre	Décembre	Décembre	Décembre

Fig. 12 Exemple d'inventaire mensuel fourni par Badoie.

Inventaires tableaux (cf. Fig. 12). On distingue trois sortes d'inventaires de ce type, les inventaires dits annuels, les inventaires par périodes et les inventaires mensuels. Chaque type d'inventaire permet pour chaque année, chaque période ou chaque mois de représenter la disponibilité et le taux de lacunes des données.

Inventaires cartographiques (cf. Fig. 13 donnée à titre d'exemple, sans valeur réelle). L'utilisation de cartes dans Badoie permettra une meilleure visualisation des données et des stations ou postes dont dispose la banque. Pour cela, un pays donné sera découpé en zones de tailles équivalentes. A la suite de quoi, une échelle de couleurs permettra de visualiser la densité de stations ou de postes contenus dans chacune de ces zones.

Badoie pourra également permettre le pointage, sur une carte, des stations et des postes. On pourra, de même, visualiser la qualité et la quantité des données, à savoir

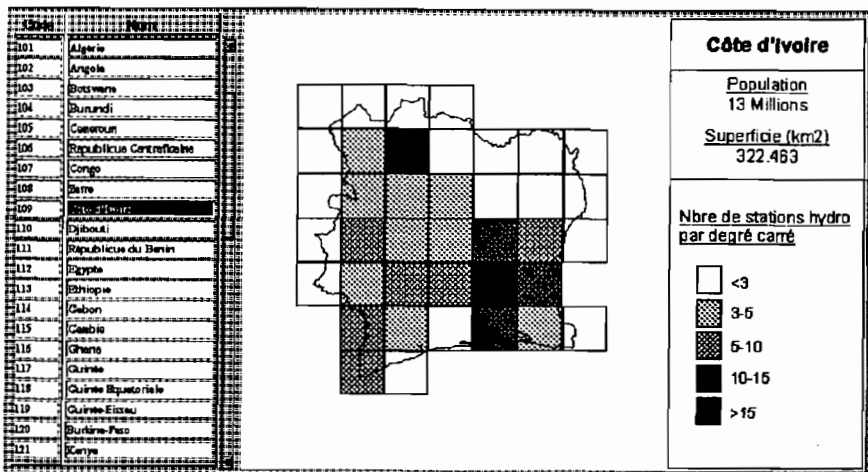


Fig. 13 Exemple d'inventaire cartographique fourni par BADOIE (à titre indicatif et sans valeur réelle).

leur taux de lacunes et leur nombre. Toutes ces représentations à l'échelle d'un pays seront possibles à l'échelle d'une carte de la zone AOC au complet.

## REFERENCES

- Boyer, J. F. & Cochonneau, G. (1993) *Hydrom 3.0. Manuel de référence*. Laboratoire d'hydrologie, Montpellier, Orstom.
- Boyer J. F., Crespy, A., Dieulin, C., Guiscafne, J., L'Hôte, Y. & Raous, P. (1992) *Pluviom 2.1. Manuel de référence*. Laboratoire d'hydrologie, Montpellier, Orstom.
- Edijatno & Michel, C. (1989) Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche* 2, 113-121.
- Guilbot, A. (1986) Des multiples applications d'un modèle conceptuel du cycle de l'eau en France. *Rev. Internat. des Sciences de l'Eau* 2, 19-26.
- Rosenbrock, H. H. (1960) An automatic method for finding the greatest or least of a function. *Computer J.* 3, 175.
- Servat, E. & Dezetter, A. (1988) Modélisation globale de la relation pluie-débit: des outils au service de l'évaluation des ressources en eau. *Hydrol. Continent.* 3(2), 117-129.
- Servat, E. & Dezetter, A. (1991) Selection of calibration objective functions in the context of rainfall-runoff modelling in a sudanese savannah area. *Hydrol. Sci. J.* 36(4), 307-330.
- Servat, E. & Dezetter, A. (1993) Rainfall-runoff modelling and water resources assessment in northwestern Ivory Coast. Tentative extension to ungauged catchments. *J. Hydrol.* 148, 231-248.