

# LE LOGICIEL APC

## (Aide à la Prévision des Crues)

---

### PRESENTATION

(Alain ERADES, Montpellier - Février 1991)

Dans le cadre de la convention EDF Ministères, le LNH (Laboratoire National d'Hydraulique - Chatou) a entrepris en 1985 la réalisation d'une bibliothèque de programmes informatiques destinés aux services d'annonce des crues.

Cette bibliothèque, conçue en collaboration avec le Ministère de l'Environnement, a pour but de mettre à la disposition des utilisateurs un ensemble de modules destinés à étudier ou à mettre au point des méthodes classiques de prévisions de crues.

Un premier rapport (cf. biblio. /1/) a donné une description d'ensemble de cette bibliothèque et les principales idées retenues pour harmoniser tous les programmes.

Un second rapport (cf. biblio. /2/) a présenté les cinq premiers modules réalisés dans le cadre de l'étude 1985 :

- 1) module de comparaison de 2 séries (SERIE),
- 2) module d'application de la méthode Bachet en calage (BACCAL),
- 3) module d'application de la méthode Bachet en prévision (PREBAC),
- 4) module de relation linéaire (PREREG),
- 5) module de filtrage de Kalman (KALMAN).

En continuité avec l'étude 1985, un troisième rapport (cf. biblio. /3/) a présenté les deux nouveaux modules retenus pour l'étude 1988 :

- 6) module de modélisation pluie-débit (RES2),
- 7) module de traitement des erreurs auto-régressives (ARMA).

Les deuxième et troisième rapports (cf. biblio. /2/ et /3/) donnent tous les éléments de base indispensables à la compréhension et à l'utilisation de ces programmes, le détail se trouvant dans les listings FORTRAN des programmes sources.

Tous ces modules, développés sur gros systèmes, puis adaptés sur micro-ordinateurs (très récemment pour les modules RES2 et ARMA) ont été intégrés dans le logiciel APC (Aide à la Prévision des Crues).

## FONCTIONS

Le but de ce logiciel est de permettre à tout utilisateur de tester plus aisément les possibilités des méthodes précitées, dans le cadre de la prévision des crues, de lui fournir une aide (comme son nom l'indique ...), mais pas de mettre à sa disposition un ensemble de "boîtes noires", l'intervention de l'utilisateur étant en effet indispensable à plusieurs niveaux :

- choix du mode de déroulement du programme,
- contrôle des estimations proposées,
- choix des échantillons de calage et de simulation,
- entrée de paramètres,
- transformation de variables,
- etc...

De fait, tous les programmes sont conversationnels.

## CARACTERISTIQUES GENERALES DU LOGICIEL

### Fichiers d'entrée/sortie :

#### Fichiers systématiques :

#### **Fichiers en entrée :**

- fichier standard de données,
- fichier "paramètres".

#### **Fichier en sortie :**

- fichier "résultats".

Les fichiers "données" et "résultats" sont des fichiers descriptifs de crues: données de pluies, hauteurs, débits à une série de stations, résultats de prévisions.

La caractéristique de base de ces fichiers est d'être composés d'un assemblage de séries de données, chaque série étant relative à un épisode de crue, précédé de lignes "générales" décrivant le contenu (on emploie l'expression "épisode de crue" pour souligner que ce découpage ne correspond pas toujours exactement à la série des crues proprement dites, une crue pouvant être séparée en plusieurs épisodes, ou inversement plusieurs crues réunies, pour des facilités de traitement ou de place mémoire).

Le fichier paramètre contient les informations nécessaires à l'exécution du programme.

Sa structure est la suivante: les 30 premiers caractères de chaque ligne sont réservés à l'inscription des textes non lus, donnant l'intitulé des variables; chaque entier ou réel est ensuite entré sur 8 caractères (I8 ou F8.3), 5 valeurs au plus étant entrées sur chaque ligne.

Le format type de lecture d'une série de réels est donc :

(30x, 5 F8.3/(30x, 5 F8.3))

En plus, une ligne "titre" figure en tête de chaque fichier, et des lignes analogues peuvent être éventuellement intercalées pour des raisons de clarté.

Ce fichier est modifiable (clavier) lors de l'exécution.

#### Fichiers spécifiques :

Certains modules ont également un ou plusieurs fichier(s) spécifique(s) en entrée ou en sortie.

#### **Fichiers en entrée :**

- fichier des temps de transfert (Bachet-prévision),
- fichier des cordes d'atténuation (Bachet-prévision).

#### **Fichiers en sortie :**

- fichier des temps de transfert (Bachet-calage),
- fichier des cordes d'atténuation (Bachet-calage),
- fichier des variables de la régression (modèle linéaire),
- fichier des variables prévues (filtre de Kalman, modèle à 2 réservoirs et modèle ARMA).

#### Support d'écriture des résultats

Lorsque les sorties peuvent être longues, l'utilisateur peut choisir le support d'écriture des résultats: terminal ou imprimante.

Dans le premier cas les résultats ne sont pas stockés dans un fichier et seuls des résultats abrégés défilent en cours d'exécution.

Dans le second cas les résultats abrégés ne défilent plus lors de l'exécution, mais les résultats complets sont stockés dans le fichier "résultats", permettant ultérieurement l'affichage ou l'impression de ces résultats.

Il est donc conseillé d'utiliser la sortie "terminal" pour mettre au point une méthode, tester des variantes..., et la sortie "imprimante" pour les résultats complets à conserver.

Quel que soit le support d'écriture choisi, on peut toujours lister le(s) fichier(s) spécifique(s) à un module en revenant sous DOS.

### **Enchaînement des modules**

Les modules peuvent être enchaînés les uns aux autres (notamment BACCAL/PREBAC et PREREG/KALMAN) les entrées/sorties de chaque programme ayant été conçues pour faciliter au mieux les passages d'un module à l'autre.

### **Données manquantes**

Le logiciel ne fait aucun traitement pour diminuer le nombre de données manquantes; elles n'affectent cependant pas, sur le plan informatique, le déroulement des programmes.

## **LES DIFFERENTS MODULES DU LOGICIEL**

### **1) module de qualité de prévision (comparaison de 2 séries) : SERIE**

Il sert à comparer, en utilisant quelques critères statistiques simples et quelques graphes habituels, deux séries S1 et S2 extraites d'un fichier standard de données.

Il s'agit typiquement du cas série d'observations/série de prévisions, mais ce programme peut aussi être utilisé pour comparer deux séries représentant deux stations d'un réseau.

#### **Les points essentiels sont les suivants :**

- une attention particulière est portée à l'analyse des résidus: ce sont soit la série des différences  $S1(i) - S2(i)$  si cela a un sens (cas type: observations/prévisions), soit la série des résidus  $S1(i) - f(S2(i))$  de la régression linéaire  $S1 = f(S2)$  (cas type: pluie/débit).

- une analyse spécifique de chaque épisode de crue est réalisée à la demande (graphes, auto-corrélation des résidus, comparaison des extrema).

**Critères statistiques utilisés :**

- moyenne,
- écart-type,
- asymétrie,
- coefficient de corrélation,
- écart quadratique moyen,
- coefficient de détermination,
- coefficient d'auto-corrélation des résidus.

**Graphes utilisés :**

- graphes "de contrôle" (série de référence en abscisse, série à comparer en ordonnée),
- graphes "chronologiques" (temps en abscisse, les deux séries en ordonnée).

La séparation en épisode de crue est calquée sur celle existant dans le fichier standard d'entrée, les deux contraintes suivantes étant ajoutées :

- un épisode de crue est pris en compte seulement si le nombre de données le caractérisant (i.e. le nombre de pas de temps le décrivant) est supérieur à une valeur minimum, figurant dans le fichier paramètre,
- si, pour un pas de temps donné, la valeur de l'une des deux séries est inconnue (donnée manquante), l'épisode en cours est automatiquement clos.

C'est le seul module dont l'utilisation en "boîte noire" ne pose pas de problème (implantation de "protections").

**2) module de calage de la méthode Bachet : BACCAL**

Son rôle est de fournir une aide à l'estimation des fonctions *corde d'atténuation* (CA) et *temps de transfert* (TT) utilisées pour la mise en oeuvre de la méthode en prévision.

La fonction CA traduit le phénomène d'atténuation de la crue de l'amont vers l'aval, tandis que la fonction TT rend compte du temps de propagation de la crue.

L'utilisateur a toujours la possibilité de contrôler les estimations et éventuellement de les modifier s'il pense que les résultats ne sont pas acceptables (valeurs précises ou lissage des estimations).

La difficulté essentielle du calage tient à l'imbrication des deux fonctions CA et TT: une estimation "correcte" de TT nécessite la construction des hydrogrammes atténués, et se trouve donc liée à l'estimation de CA, et inversement, l'estimation correcte de CA est liée à celle de TT.

### **3) module de prévision de la méthode Bachet : PREBAC**

Il s'agit de prévoir les hydrogrammes de crue à une station donnée, connaissant les hydrogrammes à une unique station amont, dans les conditions d'application habituelles de la méthode Bachet.

A partir d'un hydrogramme amont observé, le programme génère un hydrogramme amont atténué au moyen de la fonction CA, puis transforme ce dernier en un hydrogramme aval, constituant la prévision, au moyen de la fonction TT.

L'ordre de ces deux transformations ne peut être inversé.

Les modules BACCAL et PREBAC constituent un premier essai d'informatisation de la méthode Bachet.

Compte tenu du caractère largement empirique de cette méthode, ces programmes ne sauraient être figés: ils devront être testés sur des cas d'application aussi variés que possible, et en fonction des résultats de ces expérimentations, certains choix de méthodes pourront être revus, ou certains développements ajoutés.

Vis-à-vis de la méthode Bachet dite "classique", l'innovation propre à ces deux derniers modules est d'introduire une fonction atténuation mise en oeuvre de manière tout à fait identique à la fonction propagation classique: pour atténuer un hydrogramme, le logiciel utilise en effet une corde d'atténuation variable, dépendant du débit "en cours" de l'hydrogramme traité, et non plus constante, dépendant du seul débit maximum.

Les justifications sont surtout d'ordre pratique; ceci reste cependant proposé à titre "expérimental", et fait partie des choix pouvant être remis en cause suite aux tests du programme (cette procédure est de toute manière peu contraignante).

Les modules BACCAL et PREBAC sont étroitement liés, ils peuvent être enchaînés sans problème.

### **4) module de relation linéaire (régressions multiples) : PREREG**

Ce programme a été conçu pour prendre en compte les principales difficultés se posant pour des applications en prévision, tout en facilitant au maximum le travail de l'utilisateur :

- **choix des variables:** celles-ci étant loin de s'imposer naturellement, le programme donne la possibilité de construire des variables "transformées" à partir des variables "initiales",

- **traitement des non-linéarités:** souvent les hypothèses de linéarité qui permettent de simplifier les calculs ne sont valables que localement; une solution est alors d'"assembler" plusieurs modèles linéaires, le module permettant de séparer l'échantillon de données en sous-échantillons, sur chacun desquels un modèle linéaire peut être testé séparément,

- **corrélation des variables explicatives:** afin de retenir le minimum de variables explicatives (la corrélation des variables explicatives dégradant la qualité de l'estimation des paramètres), le programme propose, pour chaque modèle mis au point, de tester la significativité d'une ou plusieurs variables et de les éliminer éventuellement,

- **auto-corrélation des résidus:** dans la formulation "classique" des modèles linéaires les résidus sont supposés indépendants; si ce n'est pas le cas, l'estimation des paramètres telle qu'elle est réalisée dans cette formulation n'est plus optimale; pour retrouver une estimation optimale, il faut connaître a priori la structure probabiliste de la série des résidus, et modifier en conséquence les formules; le module calcule donc la prévision *standard*, *optimum* et *corrigée*.

## 5) module de filtrage de Kalman : KALMAN

Le filtre de Kalman s'utilise pour réestimer de manière régulière les paramètres d'un modèle linéaire.

Ce "réglage" des paramètres du modèle qu'impose l'utilisateur est tout l'intérêt et en même temps la principale difficulté de la méthode.

Le but de ce programme est d'aider le plus possible l'utilisateur dans cette tâche.

### Il donne trois types de prévision :

- prévision *standard* (non filtrée),
- prévision *théorique* (issue du filtrage, avec un délai de 1 pas de temps),
- prévision *corrigée* (prévision "temps réel" c'est-à-dire prévision filtrée tenant compte du délai de prévision).

Lorsque le programme KALMAN est enchaîné au programme PREREG, le fichier standard de données est automatiquement construit: c'est le fichier des variables de la régression.

## 6) module de modélisation pluie-débit (modèle à 2 réservoirs) : RES2

Ce programme vise à représenter le processus de production des débits pour des bassins versants allant de quelques km<sup>2</sup> à quelques milliers de km<sup>2</sup>, tout en excluant les bassins où les phénomènes neigeux jouent un rôle significatif.

L'architecture de ce modèle repose sur deux réservoirs :

- *le réservoir-sol* (réservoir de production) caractérisé par sa capacité S, premier paramètre du modèle,

- *le réservoir-eau-gravitaire* (réservoir de production) caractérisé par sa rétention maximale R, deuxième paramètre du modèle.

S et R sont calés automatiquement (grille d'optimisation), le troisième paramètre du modèle (*temps caractéristique* ou *retard* du bassin versant) doit être déterminé par l'utilisateur.

Le programme donne :

- la prévision *standard* (simulation),
- la prévision *corrigée* (prévision à n jours).

### **7) module de traitement des erreurs auto-régressives (modèle ARMA) : ARMA**

Il vise à réduire les erreurs à venir d'un modèle de prévision connaissant les erreurs passées, en exploitant la notion d'auto-corrélation, et en ignorant totalement le modèle de prévision (contrairement au filtrage de Kalman).

Il ne corrige donc que les "symptômes" du problème, mais pas sa cause (inadéquation probable et sous-jacente du modèle utilisé).

L'utilisateur choisit les ordres p et q du modèle ARMA qu'il souhaite utiliser (p et q < 2), le logiciel lui donnant en retour les valeurs des paramètres associés.

L'analyse des erreurs avec un délai de prévision de 1 pas de temps est systématiquement réalisée, la prévision correspondante étant optimale.

Le logiciel calcule également la prévision associée au délai de prévision réel appelée *prévision corrigée*.

Un changement de variable identique à celui du programme PREREG est possible.

Le programme SERIE peut être utilisé sur le fichier de sortie pour détailler les résultats par épisode de crue, et non plus globalement.

### **LANGAGES DE PROGRAMMATION**

Tous les modules sont écrits en langage de programmation FORTRAN (version 3.31); seuls les deux programmes gérant les principaux menus (choix du module à exécuter et choix de la visualisation/impression des résultats) sont en langage TURBO BASIC (version 1.1).



## CONDITIONS D'UTILISATION

Micro-ordinateur compatible IBM fonctionnant sous MS/DOS, équipé d'un disque dur et disposant de 590 Ko de mémoire.

Ce logiciel utilise les gestionnaires d'écran HIGH SCREEN et AFFICHE.COM.

Il ne permet pas l'utilisation de la mémoire haute.

## EN CONCLUSION...

Le Ministère de l'Environnement autorise le Laboratoire d'Hydrologie à diffuser le logiciel A.P.C. auprès des équipes de recherche en hydrologie de l'ORSTOM, sous réserve, bien entendu, de mention d'origine lors de publication, ou, utilisation hors ORSTOM.

Ce logiciel est donc désormais disponible au Laboratoire d'Hydrologie. Pour se le procurer il suffit d'en faire la demande auprès de l'Unité Statistique-Modélisation qui se fera un plaisir (si si...) de vous le fournir avec sa notice d'installation.

-----

Le logiciel APC est généralement livré avec le logiciel CRUE qui permet d'estimer les probabilités du débit maximum annuel d'une rivière, à partir des débits journaliers, en utilisant éventuellement les débits historiques connus; ils ont en commun les fichiers AFFICHE.COM et ECRANS.BIB.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

/1/ A. LEBOSSE, *Proposition pour une bibliothèque de programmes "Aide à la Prévion de Crues"*, Rapport EDF/LNH HE/43/86-38, 1986,

/2/ A. LEBOSSE, *Guide d'utilisation des premiers programmes de la bibliothèque "Aide à la Prévion de Crues"*, Rapport EDF/LNH HE/43/87-23, Octobre 1987, 96 p.,

/3/ J. DUPLEX, A. LEBOSSE, *Bibliothèque informatique "Aide à la Prévion des Crues", guide des programmes RES2 et ARMA*, Rapport EDF/LNH HE/43/89-29, Février 1990, 35 p.,

/4/ A. ERADES, *Adaptation sur micro-ordinateurs des programmes RES2 et ARMA du logiciel APC (Aide à la Prévion des Crues)*, Rapport ORSTOM, Janvier 1991, 10 p. + rapport annexe (listings).

# La Gazette

## Sommaire

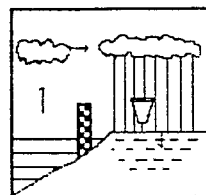
- Brief News par F. DELCLAUX
- Le logiciel APC: Aide à la Prévision de Crues par A. ERADES
- Bilan U.L.M. par H. LUBES
- Comité de pilotage U.S.M. par H. LUBES
- Ajouts et modifications au logiciel DIXLOI par B. MERCIER
- Les Fichiers de Travail Standard par F. DELCLAUX
- Note d'information sur Pole Calcul Image par M. MICHAUX

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 35.481 ep. 1

Cote : B

M



26 MAI 1992

43