

ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE

PROJET AGRHYM

OMM / PNUD -- SEN /



CONTRAT 17.532 / A / PEX DU 31.1.1992

*requis 86*

CHAINE DE PROGRAMMES POUR LA VERIFICATION,  
L'HOMOGENEISATION ET LE COMPLETEMENT DES DONNEES  
HYDROMETRIQUES

ETUDE DES TENDANCES, A PARTIR DES FICHIERS COMPLETES,  
AUX STATIONS DE BAKEL SUR LE SENEGAL ET SIMENTI SUR LA  
GAMBIE

J.C. BADER  
ORSTOM  
DAKAR, OCTOBRE 1992

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx 4754 Ex : 1

ORSTOM Documentation



010004754

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	3
1 GESTION DES DONNEES HYDROMETRIQUES AVEC HYDROM. EXTRACTION DES DEBITS JOURNALIERS .....	3
2 ELABORATION DE FICHIERS A ACCES DIRECT .....	3
3 VISUALISATION GRAPHIQUE DES FICHIERS. DETECTION DES VALEURS ABERRANTES .....	4
4 ELIMINATION DES VALEURS ABERRANTES .....	5
5 CALCUL DE CORRELATIONS SIMPLES OU DOUBLES ENTRE STATIONS .....	5
6 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TARISSEMENT MOYENS DE LA STATION PREVISANDE .....	6
6-1 CAS A: DETERMINATION A PARTIR DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS .....	6
6-2 CAS B : DETERMINATION A PARTIR DES COTES MOYENNES JOURNALIERES .....	7
7 RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES .....	7
7-1 REGRESSION LINEAIRE, SIMPLE OU DOUBLE .....	7
7-2 EQUATION DE TARISSEMENT .....	8
7-3 INTERPOLATION LINEAIRE .....	9
8 VERIFICATION GRAPHIQUE DES VALEURS RECONSTITUEES .....	9
9 REIMPORTATION DU FICHIER DE DEBITS MOYENS JOURNALIERS COMPLETE, DANS HYDROM ...	9
9-1 ELABORATION D'UN FICHIER ASCII DE DEBITS MOYENS JOURNALIERS .....	10
9-2 IMPORTATION DES DEBITS JOURNALIERS DANS HYDROM .....	10
10 CALCUL DES ELEMENTS STATISTIQUES DECRIVANT LES DEBITS, DANS HYDROM .....	10
11 EXPLOITATION DU FICHIER DES ELEMENTS STATISTIQUES AVEC EXCELL .....	10
12 EXEMPLE 1 : LE SENEGAL A BAKEL .....	11
13 EXEMPLE 2 : LA GAMBIE A SIMENTI .....	11
CONCLUSION .....	12
ANNEXE	

## INTRODUCTION

L'objet de cette note est de décrire une chaîne de traitement informatique permettant d'étudier les variations et les éventuelles tendances, de certains paramètres descriptifs du régime hydrologique d'une rivière à une station donnée. Les logiciels utilisés ont été fournis par l'ORSTOM à la DGRH, soit dans le cadre de la convention portant sur l'informatisation de la Section d'Hydrologie, financée par le FAC, soit dans le cadre de la présente étude. Il s'agit de:

- HYDROM (ORSTOM): logiciel de gestion de banque de données hydrométriques;
- EXCELL : tableur assorti de nombreuses possibilités d'éditeurs graphiques;
- un groupe de programmes (ORSTOM) destiné à vérifier les données hydrométriques et à reconstituer les valeurs manquantes. La liste de ces programmes et des fichiers nécessaires figure en annexe.

La note décrit la succession des différentes opérations effectuées à l'aide de ces programmes, et se termine par la présentation des résultats obtenus pour deux cas concrets: le Sénégal à Bakel et la Gambie à Simenti.

### 1 GESTION DES DONNEES HYDROMETRIQUES AVEC HYDROM. EXTRACTION DES DEBITS JOURNALIERS

L'ensemble des données hydrométriques de la Section d'Hydrologie est géré avec le logiciel HYDROM qui permet, à partir des données de base que sont les cotes instantanées et les étalonnages, d'effectuer un calcul automatique des débits instantanés et des débits moyens journaliers. Pour ces derniers, le logiciel propose un certain nombre de traitements, dont les deux suivants vont servir de base à notre étude:

- calcul des débits moyens mensuels et annuels
- calcul des débits extrêmes et caractéristiques

Il s'avère que les résultats fournis par ces procédures sont dégradés; la plupart du temps, par des lacunes figurant dans la banque de données brutes. Un seul débit journalier manquant empêche le calcul automatique du débit moyen mensuel correspondant, ainsi que celui des différents débits extrêmes et caractéristiques de l'année.

On voit donc l'intérêt d'un comblement préalable, aussi complet que possible, des lacunes affectant le fichier des débits moyens journaliers de la station à étudier. Ce travail peut être effectué en dehors d'HYDROM, à l'aide des programmes décrits plus bas, qui permettent de définir les corrélations existant entre stations, et de les utiliser pour reconstituer les valeurs manquantes. Dans la suite du texte, la station pour laquelle on veut reconstituer des données sera nommée **prévisande**, alors que les stations voisines utilisées pour cette reconstitution seront les **préviseurs**.

Deux cas de figure sont à envisager:

- cas A** : toutes les stations préviseurs sont étalonnées.

La première étape du travail dans HYDROM, consiste alors à faire pour l'ensemble des stations préviseurs et prévisande, les opérations suivantes:

- traduction des cotes en débits
- calcul des débits journaliers
- extraction des débits journaliers (utilitaires - exportation de données vers une autre configuration)

- cas B** : certaines des stations préviseurs ne sont pas étalonnées.

La première étape du travail dans HYDROM, consiste alors à faire l'opération suivante pour l'ensemble des stations préviseurs et prévisande:

- extraction des cotes instantanées (utilitaires - exportation de données vers une autre configuration)

A l'issue de cette première étape, on a donc un fichier ASCII de débits moyens journaliers (cas A) ou de cotes instantanées (cas B).

### 2 ELABORATION DE FICHIERS A ACCES DIRECT

Le fichier ASCII obtenu dans la première étape ne permet pas un accès très rapide aux données. On procède donc à une transformation de format qui permet de classer les données dans des fichiers à accès direct, beaucoup plus pratiques.

--cas A : on utilise le programme PREPARFI

A partir du fichier ASCII de débits journaliers en format "extrait d'HYDROM", le programme PREPARFI permet de créer, pour chaque station, trois fichiers de type "file of double" (Turbo Pascal 4.0) nommés:

Nom De station . JOU

Nom De Station . MEN

Nom De Station . ANN

Chacun de ces trois fichiers contient:

-Le numéro de station, codé sur 10 chiffres

-L'année de début de fichier

-L'année de fin de fichier

-La liste des débits moyens (journaliers, mensuels, ou annuels) correspondant à la période comprise entre l'année de début et l'année de fin incluses.

Les débits moyens sont exprimés en  $m^3.s^{-1}$ . Les lacunes et les débits non calculés pour cause de cotes hors barème sont codés respectivement 999000 et 998000.

--cas B : on utilise le programme COTPAFIX

Ce programme permet d'une façon générale, de créer à partir d'un fichier ASCII de cotes instantanées de format "extrait d'HYDROM", des fichiers de cotes moyennes sur N (valeur entière) heures, de pas de temps N heures, en choisissant l'année de début et l'année de fin des fichiers. Il effectue le calcul des valeurs moyennes par la méthode des trapèzes.

Chaque fichier créé est affecté d'un nom au choix (nom de station), suivi d'une extension égale au pas de temps N. Toutefois, dans le cas particulier des cotes moyennes journalières, l'extension n'est pas «24» mais «jou».

Ces fichiers sont de type «file of double» (Turbo pascal) et contiennent dans l'ordre:

-Le numéro (avec capteur) de la station, codé sur 11 chiffres

-L'année de début du fichier

-L'année de fin du fichier

-La série des cotes moyennes à pas de temps fixe, exprimées en cm, la première correspondant au 1<sup>er</sup> Janvier de l'année de début à 0 heure plus N/2 heures.

Les lacunes et les "à sec" sont codés 9999 et -999 respectivement.

Dans le cas qui nous intéresse, le pas de temps est choisi égal à 24 heures, de façon à obtenir des fichiers de valeurs moyennes journalières.

A la fin de cette étape, on dispose donc d'un fichier de valeurs moyennes journalières (débits dans le cas A, ou cotes dans le cas B) par station, dénommé "Nom De Station . JOU". On place alors tous ces fichiers dans un répertoire nommé OPTIM, situé sur la racine du disque dur C.

### 3 VISUALISATION GRAPHIQUE DES FICHIERS. DETECTION DES VALEURS ABERRANTES

Avant d'effectuer tout calcul sur les fichiers élaborés avec PREPARFI ou COTPAFIX, il est souvent utile d'en faire une visualisation graphique qui permet de détecter d'éventuelles valeurs aberrantes qui se seraient glissées dans la banque de données gérée avec HYDROM. On utilise pour ce faire le programme GRAFREC, qui permet de tracer de 1 à 3 hydrogrammes superposés, à partir de fichiers "Nom De Station . JOU". Cette superposition, qui n'est pas possible dans HYDROM, ainsi que la possibilité de faire les graphiques sur un nombre de mois quelconque (limité à 12 dans HYDROM), sont d'un grand intérêt pour la vérification des données.

Pour utiliser GRAFREC, on saisit:

--le choix d'un tracé avec points reliés entre eux, ou non.

--le nom complet des fichiers de cotes ou de débits

--l'année souhaitée pour le début du tracé

--le nombre de mois souhaité par fenêtre de tracé.

Les fenêtres successives de tracé se recouvrent toujours de 1 mois, et sont appelées par frappe d'une touche.

Lorsque des valeurs aberrantes sont détectées, on peut en déterminer la date précise en demandant un tracé par fenêtre de 1 mois, avec points non reliés entre eux.

#### 4 ELIMINATION DES VALEURS ABERRANTES

On utilise le programme **CORREC**, qui offre la possibilité d'effectuer des corrections sur les fichiers créés par **PREPARFI** ou **COTPAFIX**. Il suffit de saisir la date de début et la date de fin de la plage de données journalières à corriger, puis de choisir entre l'ajout d'une valeur constante aux données concernées, ou leur élimination.

Le programme **TROUS** permet d'afficher à l'écran les dates des lacunes dans le fichier de la station prévisande, ainsi que leur nombre. Ceci donne une indication sur l'importance du travail de reconstitution à effectuer.

#### 5 CALCUL DE CORRELATIONS SIMPLES OU DOUBLES ENTRE STATIONS

Les programmes **REG1** et **REG2** utilisent les fichiers créés par **PREPARFI** ou **COTPAFIX**, placés obligatoirement dans un répertoire **C: OPTIM**, pour effectuer un calcul de régression (simple ou double respectivement) entre stations. Ils offrent les possibilités suivantes:

- traitement de fichiers de taille inférieure à 32767 valeurs (soit 89 ans de valeurs moyennes journalières)
- choix du pas de temps de calcul (journalier, mensuel, annuel dans le cas des débits, journalier dans le cas des cotes)
- choix de la période (année de début, année de fin) sur laquelle doit être fait le calcul
- introduction, dans le cas du pas de temps journalier, de décalages d'un nombre entier de jours, positifs ou négatifs, entre prévisseur(s) et prévisande
- introduction de seuils limites (inférieur et supérieur) sur le premier prévisseur. Seuls sont alors pris en compte dans les calculs, les points pour lesquels la valeur du premier prévisseur est comprise entre ces seuils.
- choix d'un calcul sur les valeurs naturelles ou sur leurs logarithmes. Dans le second cas, un second calcul est fait automatiquement entre les valeurs naturelles du prévisande et la fonction puissance du ou des prévisseurs, déduite du calcul sur les logarithmes.
- choix d'impression, ou non, des résultats, qui comportent les coefficients de régression (simple, partielle, totale), moyennes, extremums et écart-types des échantillons, l'écart-type résiduel, et l'indication des dates des valeurs éliminées du calcul.
- suppression, pour le calcul, d'un nombre quelconque de points dans l'échantillon de la station prévisande. Les dates des points à éliminer peuvent être saisies soit de façon discrète, soit par intervalles, soit de façon générique (pour la suppression de certaines dates ou périodes sur l'ensemble des années). Cette fonction est utile pour faire des calculs relatifs aux saisons sèches ou aux saisons des pluies, et pour éliminer des points douteux mis en évidence dans les sorties graphiques.
- représentation graphique de la régression, dans un système d'axes donnant pour la station prévisande, les valeurs observées en abscisse, et les valeurs calculées par régression en ordonnée.
- sur le graphique précédent, les points distants de la première bissectrice, suivant l'ordonnée, de plus d'un certain nombre de fois (ajustable par l'utilisateur) l'écart type résiduel de la régression, sont signalés par l'impression à proximité, de la date correspondante dans le fichier prévisande.
- l'échelle du graphique est modifiable
- sortie graphique du cumul des résidus en fonction du temps. Ce graphique permet de mettre en évidence et de quantifier les hétérogénéités dues à des décalages d'échelle ou à des erreurs d'étalonnage par exemple.

L'utilisation des programmes **REG1** et **REG2** permet dans certains cas de mettre en évidence des points anormaux. Ceux-ci peuvent correspondre à des erreurs isolées passées inaperçues lors de l'examen avec **GRAFREC**, ou à des séries présentant des décalages dont il faut alors rechercher la cause (décalage de zéro d'échelle, détarage), avant de faire d'éventuelles suppressions ou corrections à l'aide de **CORREC**.

A la fin de cette étape, on dispose en principe pour les stations retenues, de fichiers de valeurs moyennes journalières vérifiées et homogènes.

## 6 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TARISSEMENT MOYENS DE LA STATION PREVISANDE

La formule généralement adoptée pour le tarissement d'une rivière, qui correspond à un débit provenant uniquement de la vidange des nappes et du lit, est la suivante:

$$Q(j+n) = Q(j) * \exp(-k * n) \quad [1]$$

avec:    Q    : débit (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)  
          j    : jour  
          k    : coefficient de tarissement (jour<sup>-1</sup>)  
          n    : décalage de temps (jour)

### 6-1 CAS A: DETERMINATION A PARTIR DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS

Dans ce cas, l'équation 1 nous montre que le coefficient de tarissement k peut être déterminé par un calcul d'autorégression simple dans lequel on force la constante additive à être nulle. On procède de la façon suivante:

--copie, avec l'ordre COPY de MSDOS, du fichier "Nom De Station . JOU" des débits journaliers de la station prévisande, sur un fichier nommé "Nom De Station X . JOU" par exemple.

--calculs d'autorégression effectués avec REG1, en prenant "Nom De Station . JOU" comme fichier de station prévisande, et "Nom De Station X . JOU" comme fichier de station prévisateur, pour différentes valeurs de décalage n. Dans ces calculs, on élimine les points situés en dehors de la période de tarissement (déterminée auparavant à l'aide du programme GRAFREC).

Chaque calcul nous donne les coefficients A<sub>n</sub>, B<sub>n</sub>, S<sub>x<sub>n</sub></sub>, S<sub>y<sub>n</sub></sub>, M<sub>x<sub>n</sub></sub>, M<sub>y<sub>n</sub></sub> et R<sub>n</sub> tels que:

$$Y = A_n * X + B_n \quad [2]$$

avec    Y = Q(j+n)    : débit journalier du jour j+n  
          X = Q(j)     : débit journalier du jour j  
          A<sub>n</sub> et B<sub>n</sub>    : coefficients de régression entre X et Y  
          M<sub>x<sub>n</sub></sub> et M<sub>y<sub>n</sub></sub>   : moyennes de X et Y respectivement  
          S<sub>x<sub>n</sub></sub> et S<sub>y<sub>n</sub></sub>   : écart-types de X et Y respectivement  
          R<sub>n</sub>           : coefficient de corrélation entre X et Y

Le coefficient K<sub>n</sub> de régression avec contrainte de constante nulle est alors donné par:

$$K_n = (R_n * S_{x_n} * S_{y_n} + M_{x_n} * M_{y_n}) / ((S_{x_n})^2 + (M_{x_n})^2)$$

$$Q(j+n) = K_n * Q(j) \quad [3]$$

$$[1] \text{ et } [3] \implies k = -\text{Log}(K_n) / n$$

En général, les valeurs de k varient assez peu en fonction du décalage n. En pratique, on retient la valeur moyenne des k obtenus pour des décalages n de 1, 5, 10 et 20 jours.

## 6-2 CAS B : DETERMINATION A PARTIR DES COTES MOYENNES JOURNALIERES

On fait l'hypothèse que l'étalonnage de la station est de la forme générale suivante:

$$Q = (H - H_0)^m \quad [4]$$

avec: H : (cm) cote à l'échelle correspondant au débit Q  
H<sub>0</sub> : (cm) cote correspondant à un débit nul  
m : constante

$$[1] \text{ et } [4] \implies (H(j+n) - H_0)^m = (H(j) - H_0)^m * \exp(-k * n)$$

$$\implies (H(j+n) - H_0) = (H(j) - H_0) * \exp(-(k/m) * n) \quad [5]$$

La forme de l'hydrogramme de tarissement, en cotes, est donc définie par les paramètres H<sub>0</sub> et k/n.

Ces deux paramètres peuvent être déterminés très simplement par autocorrélation, en procédant de la même façon qu'au paragraphe précédent. Dans l'équation 2, X et Y désignent maintenant H(j) et H(j+n), à la place de Q(j) et Q(j+n).

$$[2] \text{ et } [5] \implies (k/m) = -(\text{Log}(A_n)) / n$$

$$H_0 = B_n / (1 - A_n)$$

En général, les valeurs de k/m et de H<sub>0</sub> varient assez peu en fonction du décalage n. En pratique, on retient les moyennes des valeurs obtenues pour des décalages n de 1, 5, 10 et 20 jours.

## 7 RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES

On utilise le programme RECONSTI, qui crée à partir d'un fichier de valeurs moyennes journalières, un fichier complété.

L'intégralité des données existant dans le premier fichier se retrouve dans le fichier complété. Celui-ci contient par ailleurs des données reconstituées correspondant soit à des lacunes, soit à des dates n'existant pas dans le premier fichier.

Le calcul de reconstitution peut être fait par l'une des trois méthodes présentées ci-dessous.

Il est souvent nécessaire d'utiliser au moins deux de ces méthodes pour supprimer un maximum de lacunes. Dans ce cas, on commence par celle qui donne les résultats les plus fiables (par exemple, la régression qui donne le plus petit écart type résiduel résultant).

### 7-1 REGRESSION LINEAIRE, SIMPLE OU DOUBLE

On saisit:

- le(s) nom(s) du (ou des) fichier(s) prévisseur(s)
- la période (année début - année fin) sur laquelle doit être fait le calcul des cotes reconstituées. Cette période n'est limitée que par les données disponibles pour le(s) prévisseur(s), et peut dépasser les années existant dans le fichier à compléter.
- le nombre de jours de décalage de chaque prévisseur
- le nombre d'équations de régression à utiliser (au plus: 3)
- Pour chaque équation:
  - les coefficients de régression
  - les seuils limites d'application, sur le premier prévisseur

Pour chaque jour  $j$  en lacune d'observation dans le premier fichier, pour lequel une cote  $H(j)$  a ainsi pu être reconstituée, le programme cherche les trois jours précédents les plus proches,  $j_1, j_2$  et  $j_3$ , pour lesquels sont disponibles à la fois une cote reconstituée  $H$  et une cote  $h$  dans le premier fichier. On cherche de même les trois jours suivants,  $j_1, j_2$  et  $j_3$ , remplissant les mêmes conditions. La cote reconstituée  $H(j)$  subit alors une correction  $C$  calculée de la façon suivante:

$$C_{-1} = (h(j_{-1}) - H(j_{-1})) / (j - j_{-1})$$

$$C_{-2} = (h(j_{-2}) - H(j_{-2})) / (j - j_{-2})$$

$$C_{-3} = (h(j_{-3}) - H(j_{-3})) / (j - j_{-3})$$

$$C_1 = (h(j_1) - H(j_1)) / (j_1 - j)$$

$$C_2 = (h(j_2) - H(j_2)) / (j_2 - j)$$

$$C_3 = (h(j_3) - H(j_3)) / (j_3 - j)$$

$$D = 1/(j - j_{-1}) + 1/(j - j_{-2}) + 1/(j - j_{-3}) + 1/(j_1 - j) + 1/(j_2 - j) + 1/(j_3 - j)$$

$$E = (C_{-1} + C_{-2} + C_{-3} + C_1 + C_2 + C_3) / D$$

$$K = \min((j_1 - j), (j - j_{-1}))$$

Si  $K < 8$  jours, alors:  $C = E$

Sinon:  $C = E * 8 / K$

La cote reconstituée définitive pour le jour  $j$  est:  $H(j) + C$

La correction  $C$  apportée au calcul de régression permet donc de prendre en compte les écarts constatés entre valeurs observées et valeurs reconstituées par régression, à proximité du jour en lacune à reconstituer.

Cette prise en compte est indispensable pour éviter d'éventuelles anomalies de jonction entre parties observées et reconstituées des hydrogrammes. Une équation de régression ne rend compte en effet que d'une relation moyenne, à laquelle se superpose en réalité un écart aléatoire. Cet écart est dû, dans le cas de deux stations situées l'une en aval de l'autre, à la variabilité des apports intermédiaires, qu'on peut toutefois supposer suffisamment autocorrélés pour permettre le type de correction adopté.

## 7-2 EQUATION DE TARISSEMENT

On saisit:

--Dans le cas A, la valeur du paramètre  $k$  défini au § 6-1;

--Dans le cas B, les valeurs des paramètres  $k/m$  et  $H_0$  définis au §6-2;

--Les dates de début et de fin de la période sur laquelle peut être effectué le calcul. Dans le cas du Sénégal à Bakel, on peut retenir par exemple la période allant du 1<sup>er</sup> novembre au 30 juin.

Pour chaque jour en lacune situé dans la période retenue, le calcul est fait à partir de la cote observée antérieure la plus proche, à condition que celle-ci soit située, elle aussi, dans la période.

### 7-3 INTERPOLATION LINEAIRE

On saisit:

--La durée maximale des périodes en lacunes sur lesquelles peut être fait le calcul.

### 8 VERIFICATION GRAPHIQUE DES VALEURS RECONSTITUEES

Chaque calcul de reconstitution par l'une des trois méthodes présentées au dessus, doit être suivi d'une vérification graphique permettant de s'assurer de l'absence d'anomalie. On utilise le programme GRAFREC, dans lequel on définit comme fichiers à tracer, dans l'ordre:

--le fichier créé par le calcul de reconstitution

--le fichier à la base du calcul de reconstitution

--éventuellement, le fichier d'une station prévisseur dans le cas d'une reconstitution par régression

Si une anomalie est détectée dans les valeurs reconstituées, on supprime les points correspondants dans le fichier avec CORREC, avant de faire éventuellement un nouveau calcul de reconstitution, par une autre méthode.

### 9 REIMPORTATION DU FICHIER DE DEBITS MOYENS JOURNALIERS COMPLETE, DANS HYDROM

A ce stade, on dispose en principe pour la station prévisande, d'un fichier de valeurs journalières vérifiées et homogènes, complété par le plus grand nombre possible de valeurs reconstituées.

--Cas A : les traitements ont porté sur des fichiers de débits moyens journaliers

Alors le fichier complété va pouvoir être directement réimporté dans HYDROM, comme il est décrit plus bas (§ 9-1).

--Cas B : les traitements ont porté sur des fichiers de cotes moyennes journalières

Alors il est nécessaire de traduire ces cotes moyennes journalières en débits moyens journaliers, de la façon suivante:

-Extraction des étalonnages (HYDROM, utilitaires, exportation de données vers une autre configuration), pour la station prévisande. Ces étalonnages sont alors placés dans un fichier ASCII.

-Traduction des cotes en débits

A partir du fichier ASCII des étalonnages, le programme TRADU\_HQ permet de traduire un fichier de cotes moyennes journalières (de format conforme à celui des fichiers créés par COTPAFIX), en fichier de débits moyens journaliers (de format conforme à celui des fichiers créés par PREPARFI).

Dans le cas de variations pas trop rapides des cotes (et donc en général pour les stations contrôlant des bassins assez grands), cette façon peu orthodoxe de calculer les débits moyens journaliers, par traduction des cotes moyennes journalières, donne des résultats très proches de ceux qu'on obtient par la méthode rigoureuse consistant à traduire d'abord les cotes instantanées, avant de faire le calcul des moyennes.

## 9-1 ELABORATION D'UN FICHIER ASCII DE DEBITS MOYENS JOURNALIERS

Le programme QJASCII permet de créer un fichier ASCII de débits moyens journaliers dans un format reconnu par HYDROM, à partir de plusieurs fichiers de débits moyens journaliers du type décrit plus haut.

La possibilité est offerte d'affecter aux débits correspondant à des valeurs reconstituées, un code origine «D» dans le fichier ASCII (conformément au code retenu dans HYDROM pour les valeurs reconstituées). Pour ce faire, il faut préciser en plus pour chaque fichier de débits journaliers complété:

- Cas A: le nom du fichier de débits moyens journaliers original obtenu avec PREPARFI (cf § 2), et le nom d'un fichier sur lequel on aura copié au préalable le fichier de débits moyens journaliers complété.
- Cas B: le nom du fichier de cotes moyennes journalières originales obtenu avec COTPAFIX (cf §2), et le nom du fichier de cotes complété à partir duquel a été calculé le fichier de débits.

## 9-2 IMPORTATION DES DEBITS JOURNALIERS DANS HYDROM

La procédure utilitaire d'HYDROM intitulée "transformation de fichiers provenant d'une autre configuration", permet d'importer les données du précédent fichier ASCII de débits journaliers dans la banque de données HYDROM, sous forme des deux fichiers suivants:

FDEBJOU1.DAT  
FDEBJOU1.IDX

Il est important de noter que cette importation ne peut se faire que dans un répertoire ne comportant pas déjà de fichiers HYDROM de débits journaliers. Par ailleurs il est absolument indispensable de conserver les données brutes originales dans la banque de données de base gérée par HYDROM. Les données vérifiées, homogénéisées et complétées doivent être placées dans un répertoire séparé.

## 10 CALCUL DES ELEMENTS STATISTIQUES DECRIVANT LES DEBITS, DANS HYDROM

Après avoir défini (utilitaires - configuration de l'imprimante) le nom du fichier sur lequel doivent être dirigées des éditions, on utilise les procédures "impression des débits moyens mensuels et annuels" et "impression des débits extrêmes et caractéristiques", disponibles dans le menu des débits moyens journaliers.

## 11 EXPLOITATION DU FICHIER DES ELEMENTS STATISTIQUES AVEC EXCELL

Dans EXCELL, on procède en premier lieu à une redistribution des valeurs portées dans le tableau ASCII élaboré au § 10, et l'on effectue une sauvegarde de la feuille de calcul ainsi constituée, en format "normal" de EXCELL. Après quoi, on a de multiples possibilités pour représenter les variations des éléments statistiques décrivant la chronique de débit. Dans les deux exemples qui sont proposés plus loin, les procédures retenues sont les suivantes:

- élaboration d'un tableau des volumes écoulés mensuels rapportés au volume écoulé annuel;
- élaboration d'un tableau comportant les moyennes mobiles sur 3 ans, des valeurs du tableau précédent;
- représentation graphique de l'évolution de ces moyennes mobiles, et calcul de leur régression en fonction de l'année;
- élaboration d'un tableau comportant les moyennes mobiles sur 3 ans, des débits extrêmes et caractéristiques et des modules annuels;
- représentation graphique de l'évolution de ces moyennes mobiles, et calcul de leur régression en fonction de l'année.

## 12 EXEMPLE 1 : LE SENEGAL A BAKEL

Cet exemple illustre le cas B où la reconstitution des données manquantes est effectuée sur les cotes.

Un fichier de cotes vérifié, homogène, et complet de 1904 à 1989, a été obtenu pour Bakel. Les valeurs reconstituées, qui représentent 31% du fichier, correspondent pour la majorité aux basses eaux des années antérieures à 1950. Elles ont été calculées par régression double (à partir de Kayes et Kidira), régression simple (à partir de Kayes, Matam), et équation de tarissement ( $H_0 = -3$  cm;  $k/m = 0.00977$  jour<sup>-1</sup>). La traduction des cotes en débits a été faite à partir des étalonnages présentés dans un précédent rapport (J.C. Bader, 1992, Etude de l'impact du barrage de Manantali sur le régime hydrologique du Sénégal au niveau de Bakel. OMM, ORSTOM, Dakar). Les équations de régression utilisées sont les suivantes, pour des cotes  $H$  aux échelles exprimées en cm, et  $j$  désignant le jour:

$$\begin{aligned} H_{\text{BAKEL}}(j) &= 1.077 * H_{\text{KAYES}}(j-2) + 0.257 * H_{\text{KIDIRA}}(j-1) + 12.3 && \text{pour } H_{\text{KAYES}}(j-2) < 875 \\ H_{\text{BAKEL}}(j) &= 0.401 * H_{\text{KAYES}}(j-2) + 0.208 * H_{\text{KIDIRA}}(j-1) + 597 && \text{pour } 875 < H_{\text{KAYES}}(j-2) \\ H_{\text{BAKEL}}(j) &= 1.300 * H_{\text{KAYES}}(j-2) + 5.39 && \text{pour } H_{\text{KAYES}}(j-2) < 875 \\ H_{\text{BAKEL}}(j) &= 0.481 * H_{\text{KAYES}}(j-2) + 698 && \text{pour } 875 < H_{\text{KAYES}}(j-2) \\ H_{\text{BAKEL}}(j) &= 0.823 * H_{\text{MATAM}}(j+3) + 76.9 && \text{pour } H_{\text{MATAM}}(j-2) < 650 \\ H_{\text{BAKEL}}(j) &= 1.683 * H_{\text{MATAM}}(j+3) - 465 && \text{pour } 650 < H_{\text{MATAM}}(j-2) \end{aligned}$$

Les figures 1 et 2 montrent respectivement l'évolution de la part relative des volumes écoulés mensuels dans l'écoulement annuel, et celle des débits extrêmes, caractéristiques et moyens annuels. On constate une légère tendance à la baisse de l'importance relative des mois de décembre à avril. Pour les autres mois, la faiblesse des coefficients de corrélation ne permet de déceler aucune tendance (tableau 1). L'ensemble des débits extrêmes, caractéristiques et moyens annuels tend à diminuer sur l'ensemble de la période, avec toutefois des fluctuations marquées. On distingue nettement les périodes très déficitaires centrées sur 1913 et 1942, ainsi que celle qui, commencée à la fin des années 70, se prolonge jusqu'à la fin de la série étudiée (1988). La baisse moyenne du module annuel, sur l'ensemble de la période 1905 - 1988, est de 4.7 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> par an (tableau 2).

## 13 EXEMPLE 2 : LA GAMBIE A SIMENTI

Cet exemple illustre le cas A où la reconstitution des données manquantes est effectuée directement sur les débits.

Un fichier de débits vérifié, homogène, et complet de 1971 à 1991, a été obtenu pour Simenti. Les valeurs reconstituées représentent 17% du fichier. Elles ont été calculées par régression simple (à partir de Wassadou amont, Kédougou), régression double (à partir de Kédougou et Diaguéry au pont routier), et équation de tarissement ( $k = 0.046$  jour<sup>-1</sup>). Les équations de régression utilisées sont les suivantes, pour des débits  $Q$  exprimés en m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, et  $j$  désignant le jour:

$$\begin{aligned} Q_{\text{SIMENTI}}(j) &= 1.014 * Q_{\text{WASSADOU}}(j+1) - 1.2 && \text{pour } 0 < Q_{\text{WASSADOU}}(j+1) < 100 \\ Q_{\text{SIMENTI}}(j) &= 0.955 * Q_{\text{WASSADOU}}(j+1) + 9.0 && \text{pour } 100 < Q_{\text{WASSADOU}}(j+1) < 400 \\ Q_{\text{SIMENTI}}(j) &= 1.067 * Q_{\text{WASSADOU}}(j+1) - 38.7 && \text{pour } 400 < Q_{\text{WASSADOU}}(j+1) \\ Q_{\text{SIMENTI}}(j) &= 1.407 * Q_{\text{KEDOUGOU}}(j-2) + 1.281 * Q_{\text{DIAQUERY}}(j-2) + 3.3 \\ Q_{\text{SIMENTI}}(j) &= 1.532 * Q_{\text{KEDOUGOU}}(j-2) - 3.0 && \text{pour } 0 < Q_{\text{KEDOUGOU}}(j-2) < 180 \\ Q_{\text{SIMENTI}}(j) &= 1.321 * Q_{\text{KEDOUGOU}}(j-2) + 104.2 && \text{pour } 180 < Q_{\text{KEDOUGOU}}(j-2) \end{aligned}$$

Les figures 3 et 4 montrent respectivement l'évolution de la part relative des volumes écoulés mensuels, et celle des débits extrêmes, caractéristiques et moyens annuels. On constate une légère tendance à la baisse de l'importance relative des mois de décembre à mars dans l'écoulement annuel (tableau 3). L'ensemble des débits extrêmes, caractéristiques et moyen annuel tend à diminuer sur l'ensemble de la période, avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0.5 pour la plupart. La baisse moyenne du module annuel est de 2.9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> par an sur la période 1972-1989 (tableau 4).

## CONCLUSION

La chaîne de programmes présentée dans cette note, permet de vérifier, homogénéiser et compléter une banque de données hydrométriques brutes gérées avec HYDROM. La banque de données homogénéisée et complétée permet ensuite de faire une analyse statistique efficace du régime hydrologique, habituellement très dégradée par la présence de lacunes dans les fichiers. L'étude de l'évolution dans le temps de certaines caractéristiques données par la précédente analyse, permet enfin de détecter d'éventuelles tendances.

Les tendances observées se révèlent en général très lâches, avec des coefficients de corrélation faibles. Rien ne permet, par ailleurs, de les extrapoler dans le futur.

A titre d'exemple, les cas du Sénégal à Bakel et de la Gambie à Simenti, montrent une tendance générale à la baisse du module annuel de  $4.7 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  sur la période 1905 - 1988 (coefficient de régression : 0.47), et  $2.9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  par an sur la période 1972 - 1990 (coefficient de régression : 0.63), respectivement.

Figure 1 : évolution, en moyennes mobiles sur 3 ans, entre 1905 et 1988, de la part des volumes écoulés mensuels dans l'écoulement annuel du Sénégal à Bakel.

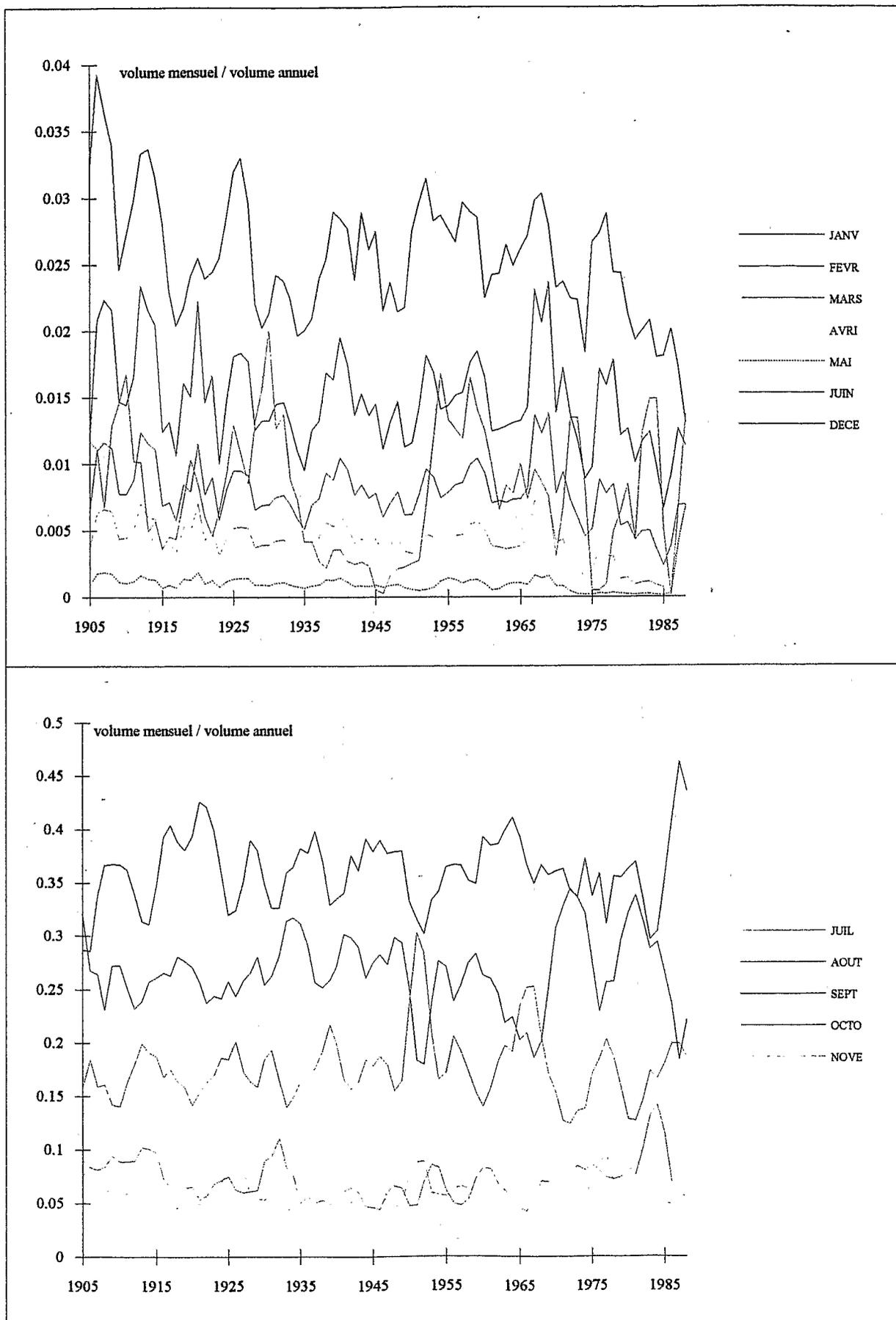


Figure 2 : évolution, en moyennes mobiles sur 3 ans, entre 1905 et 1988, des débits caractéristiques (DCn, DCC : dépassé pendant n mois et 10 jours respectivement; DCE : non atteint pendant 10 jours), des extremums journaliers, et du module annuel du Sénégal à Bakel.

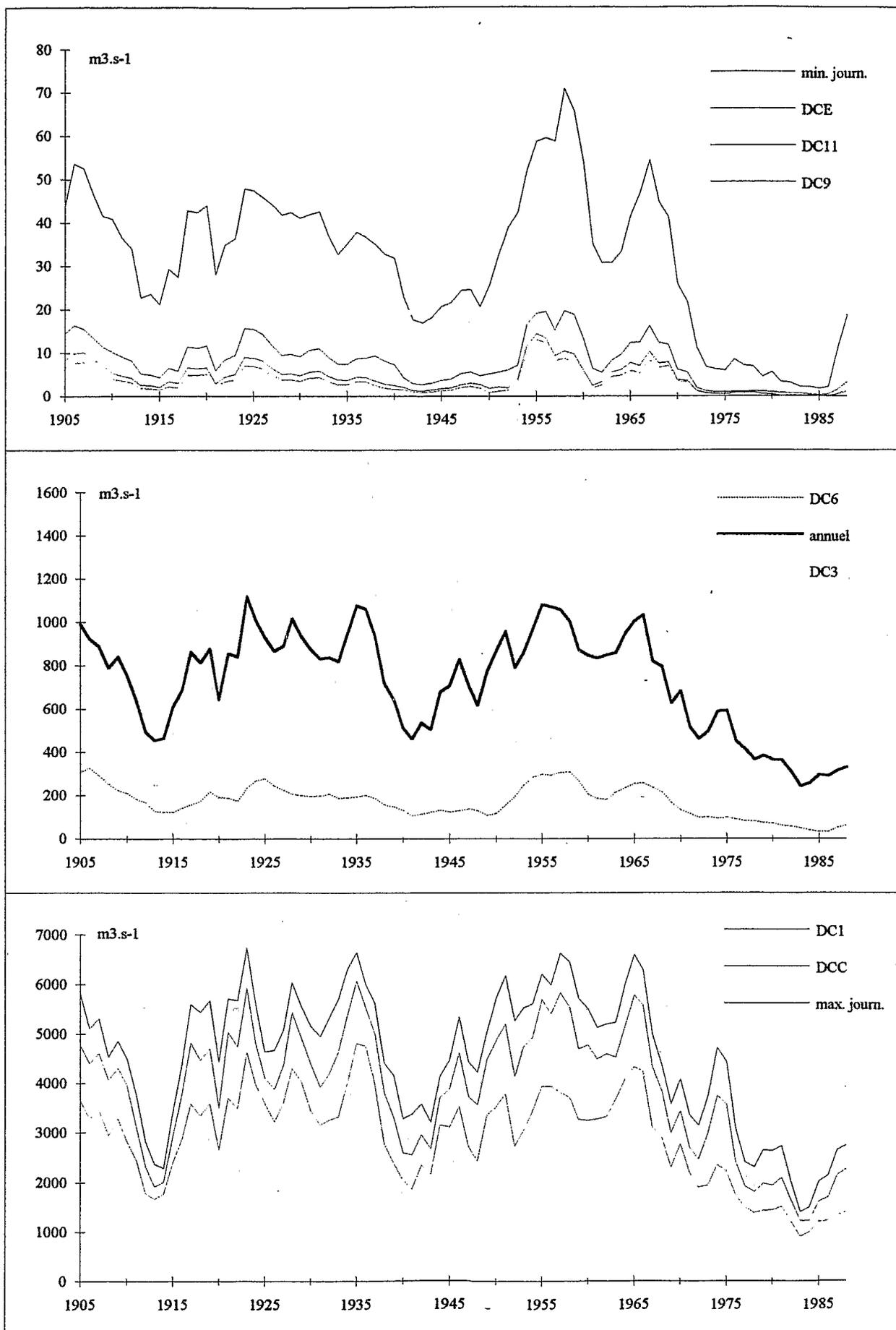


Figure 3 : évolution, en moyennes mobiles sur 3 ans, entre 1972 et 1990, de la part des volumes écoulés mensuels dans l'écoulement annuel de la Gambie à Simenti.

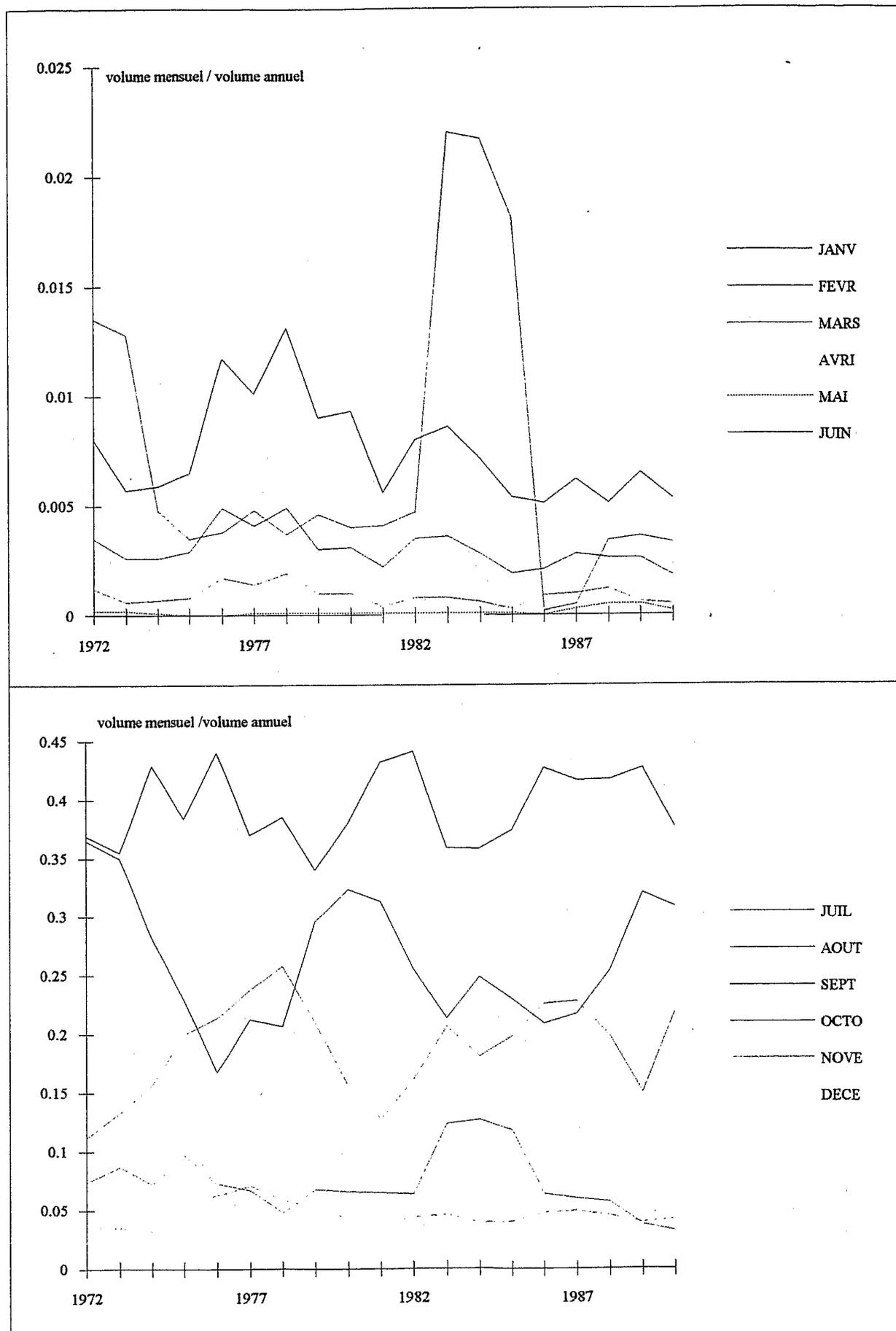
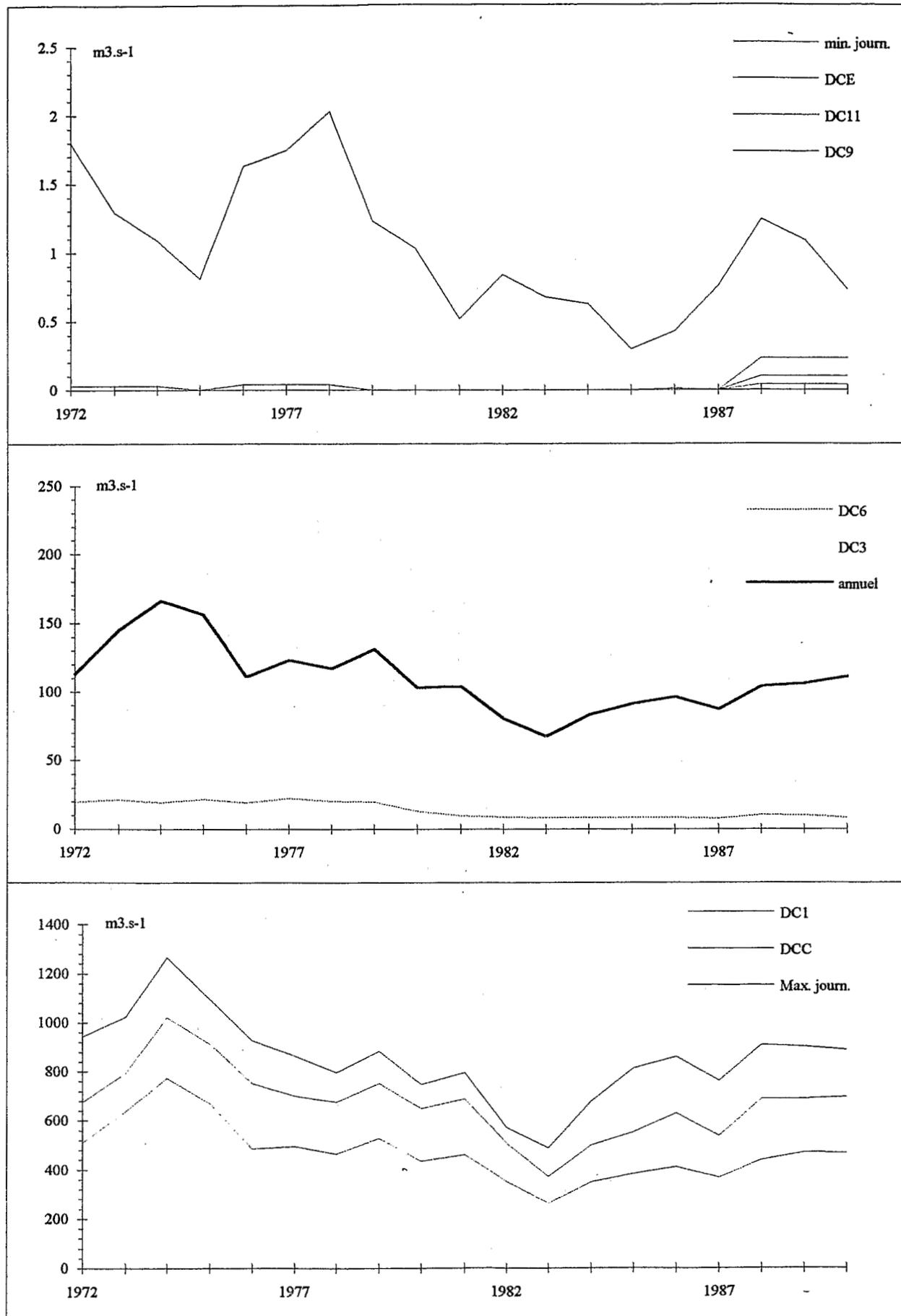


Figure 4 : évolution, en moyennes mobiles sur 3 ans, entre 1972 et 1990, des débits caractéristiques (DCn, DCC : dépassé pendant n mois et 10 jours respectivement; DCE: non atteint pendant 10 jours), des extremums journaliers, et du module annuel de la Gambie à Simenti.



**Tableau 1** : Régression en fonction de l'année, de la part des écoulements mensuels dans l'écoulement annuel du Sénégal à Bakel

$$Vmens/Vannuel = A*(année - 1904) + B$$

R : coefficient de régression

E : EcTyp : écart type résiduel

Val : valeur de Vmens/Vannuel donnée par la droite de régression

	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
A	-0.000052	-0.000032	-0.000032	-0.000024	-0.000004	-0.000017	0.000011	0.000035	0.000138	0.000112	-0.000042	-0.000089
B	0.0170	0.0093	0.0055	0.0030	0.0012	0.0087	0.0715	0.2640	0.3557	0.1725	0.0621	0.0293
R2	0.123	0.131	0.254	0.425	0.014	0.008	0.000	0.001	0.010	0.007	0.007	0.218
EcTyp	0.0034	0.0021	0.0013	0.0007	0.0008	0.0048	0.0194	0.0359	0.0333	0.0319	0.0126	0.0041
R	0.350	0.362	0.504	0.652	0.117	0.087	0.014	0.024	0.101	0.086	0.082	0.467
Val (1905)	0.0170	0.0092	0.0055	0.0030	0.0012	0.0086	0.0716	0.2640	0.3558	0.1726	0.0620	0.0292
Val (1989)	0.0126	0.0065	0.0028	0.0010	0.0009	0.0072	0.0725	0.2669	0.3673	0.1819	0.0585	0.0218

**Tableau 2** : Régression en fonction de l'année, des valeurs de débits extrêmes, caractéristiques et moyen annuel du Sénégal à Bakel

$$\text{débit (m}^3\text{.s}^{-1}\text{)} = A*(année - 1904) + B$$

R : coefficient de régression

E : EcTyp : écart type résiduel

Val : valeur du débit donnée par la droite de régression

	min. journ.	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	max. journ.	annuel
A	-0.035	-0.051	-0.096	-0.345	-1.584	-6.380	-18.644	-20.426	-22.126	-4.652
B	4.93	6.57	11.99	46.07	238.16	1200.39	3686.70	4725.40	5481.20	925.12
R2	0.088	0.136	0.198	0.251	0.267	0.266	0.219	0.154	0.153	0.229
EcTyp	2.77	3.16	4.75	14.63	64.41	260.03	863.89	1175.61	1275.48	209.53
R	0.296	0.369	0.445	0.501	0.517	0.516	0.468	0.392	0.392	0.478
Val (1905)	4.90	6.52	11.89	45.72	236.58	1194.01	3668.06	4704.97	5459.07	920.47
Val (1989)	1.99	2.27	3.90	17.08	105.09	664.49	2120.64	3009.59	3622.65	534.33

**Tableau 3** : Régression en fonction de l'année, de la part des écoulements mensuels dans l'écoulement annuel de la Gambie à Simenti

$$Vmens/Vannuel = A*(année - 1971) + B$$

R : coefficient de régression

E : EcTyp : écart type résiduel

Val : valeur de Vmens/Vannuel donnée par la droite de régression

	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
A	-0.000171	-0.000076	-0.000025	0.000001	0.000012	-0.000120	-0.001051	-0.001507	0.001256	0.002144	-0.000244	-0.000154
B	0.00919	0.00379	0.00117	0.00016	0.00003	0.00842	0.08419	0.27844	0.38107	0.16667	0.04854	0.01807
R2	0.171	0.234	0.115	0.001	0.234	0.010	0.050	0.023	0.046	0.088	0.018	0.111
EcTyp	0.00217	0.00080	0.00041	0.00013	0.00013	0.00698	0.02661	0.05641	0.03303	0.04004	0.01049	0.00253
R	0.413	0.484	0.339	0.032	0.484	0.099	0.223	0.153	0.215	0.296	0.133	0.333
Val (1972)	0.00902	0.00371	0.00114	0.00016	0.00004	0.00830	0.08314	0.27693	0.38233	0.16881	0.04830	0.01792
Val (1990)	0.00595	0.00234	0.00069	0.00017	0.00026	0.00613	0.06423	0.24981	0.40494	0.20740	0.04391	0.01514

**Tableau 4** : Régression en fonction de l'année, des valeurs de débits extrêmes, caractéristiques et moyen annuel de la Gambie à Simenti

$$\text{débit (m}^3\text{.s}^{-1}\text{)} = A*(année - 1971) + B$$

R : coefficient de régression

E : EcTyp : écart type résiduel

Val : valeur du débit donnée par la droite de régression

	min. journ.	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	max. journ.	annuel
A	0.0017	0.0042	0.0077	-0.0487	-0.9090	-4.2098	-13.3772	-13.7544	-13.7386	-2.8632
B	-0.01	-0.03	-0.03	1.53	23.10	174.20	606.14	811.54	991.39	138.89
R2	0.400	0.400	0.273	0.314	0.743	0.371	0.391	0.276	0.196	0.397
EcTyp	0.01	0.03	0.07	0.42	3.10	31.72	96.58	129.06	161.24	20.45
R	0.632	0.632	0.523	0.560	0.862	0.609	0.626	0.525	0.442	0.630
Val (1972)	-0.01	-0.02	-0.02	1.48	22.19	169.99	592.76	797.79	977.65	136.03
Val (1990)	0.02	0.05	0.12	0.61	5.83	94.22	351.97	550.21	730.35	84.49

## ANNEXE

Liste des fichiers à placer dans un répertoire OPTIM, situé sur la racine du disque dur C

PREPARFI.COM  
COTPAFIX.EXE  
GRAFREC.EXE  
CORREC.EXE  
TROUS.EXE  
REG1.COM  
REG2.COM  
RECONSTI.EXE  
TRADU\_HQ.EXE  
QJASCII.EXE  
ERROR.MSG  
DUMMY.INC  
4x6.FON  
8x8.FON  
14x9.FON