

## LE LOGICIEL SAHEL

Jean François NOUVELOT\*, Jean-Marie LAMACHERE\*\*

\*ORSTOM, A.P. 225-3 (ZI) 35 071 Gomez-Palacio (DGO) Mexique

\*\*Centre ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, 911 avenue Agropolis, BP 5 045, 34 032 Montpellier

### Résumé

Le logiciel Sahel a été conçu par l'ORSTOM pour la prédétermination, en Afrique de l'Ouest, des crues décennales sur les petits bassins versants (1 à 300 km<sup>2</sup>) des zones sahéenne et tropicale sèche.

Ce logiciel utilise le langage de programmation FoxPro associé au concept des triolets (Cruette J., Paugy D. et Reversat J., 1992) pour mémoriser et reconstruire des phrases enchaînées entraînant des actions qui sont elles mêmes liées entre elles dans une suite logique. P. Gourjon (1994) a modifié la structure initiale des verbes, associés au concept des triolets, afin de faciliter l'introduction de formules mathématiques et la mémorisation des choix et des résultats. Les différents fichiers nécessaires au logiciel sont archivés et compactés sur une disquette de capacité 1,44 Mo.

Le logiciel Sahel se présente comme un menu déroulant proposant à l'utilisateur une série de questions auxquelles celui-ci doit répondre pour effectuer des choix et fournir les informations nécessaires aux calculs. Dans son menu *modèles*, le logiciel Sahel propose trois méthodes de prédétermination des crues décennales : la méthode *ORSTOM* d'approche déterministe, La méthode *CIEH* d'approche stochastique et la méthode *de la section droite et de la pente* basée sur la mise en oeuvre de formules d'hydraulique. Par son menu *pluies*, le logiciel Sahel permet également de déterminer automatiquement la hauteur pluviométrique journalière de fréquence décennale et la hauteur pluviométrique moyenne annuelle en un point défini par ses coordonnées géographiques.

Les trois méthodes de prédétermination des crues décennales sont exposées de manière très complète dans le manuel pour la prédétermination des crues et des apports des petits et moyens bassins versants d'Afrique sahéenne et tropicale sèche (FAO, en cours d'édition). Dans la phase d'initiation, consulter ce manuel est indispensable à l'utilisation du logiciel.

### Introduction

Le texte qui suit correspond à la notice technique destinée à l'utilisateur du logiciel SAHEL.

Le texte définitif de l'article comprendra deux parties : une partie traitant de l'utilisation du logiciel, réduite à 4 ou 5 pages et une partie traitant plus spécifiquement de la méthode des triolets et de son application dans le cadre du logiciel SAHEL.

**ORSTOM**

Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération

Département des Eaux Continentales

**NOTICE DE L'UTILISATEUR**

**LOGICIEL SAHEL**

# SOMMAIRE

<b>1. INSTALLATION DU LOGICIEL.....</b>	<b>1</b>
1.1. COPIE DES FICHIERS.....	1
1.2. LANCEMENT DU LOGICIEL.....	1
<b>2. MENU Modèles .....</b>	<b>2</b>
2.1. RECOMMANDATIONS.....	2
2.2. CARACTERISTIQUES GENERALES DES DIFFERENTES METHODES.....	2
2.3. PRINCIPALES ETAPES A SUIVRE .....	5
2.3.1. Archivage des résultats dans un fichier .....	5
2.3.2. Impression des résultats en cours de programme .....	7
2.3.3. Fenêtre de travail et Fenêtre d'archivage .....	8
2.3.4. Règles d'utilisation et de Saisie des données.....	9
2.3.5. Fin de programme .....	10
<b>3. MENU Pluies .....</b>	<b>11</b>
3.1. PLUIES ANNUELLES .....	11
3.2. PLUIES JOURNALIERES .....	11
3.3. FONCTIONNALITES.....	12

## 1. INSTALLATION DU LOGICIEL "SAHEL"

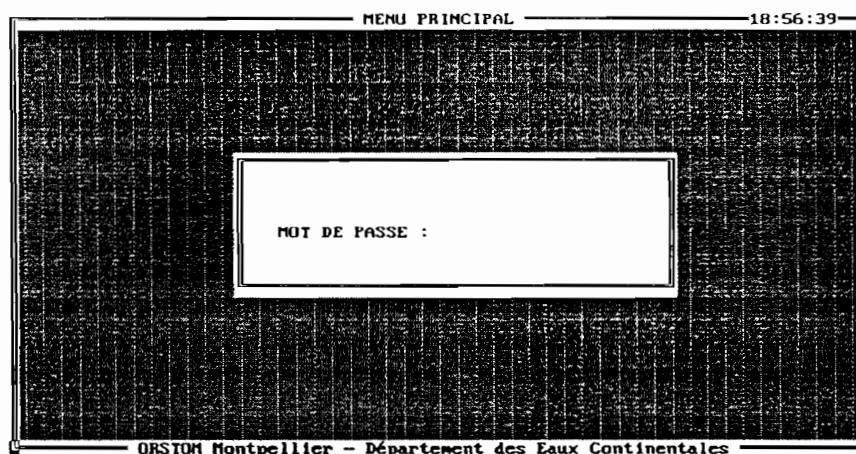
### 1.1. COPIE DES FICHIERS

Les différents fichiers nécessaires au logiciel sont archivés et compactés sur une disquette de capacité de 1,44 Mo. Pour l'installation dans un répertoire choisi, taper a: puis la commande **install c:\nom du répertoire**. Par exemple, la commande **install c:\sahel** réalise l'installation du logiciel dans le répertoire *sahel*.

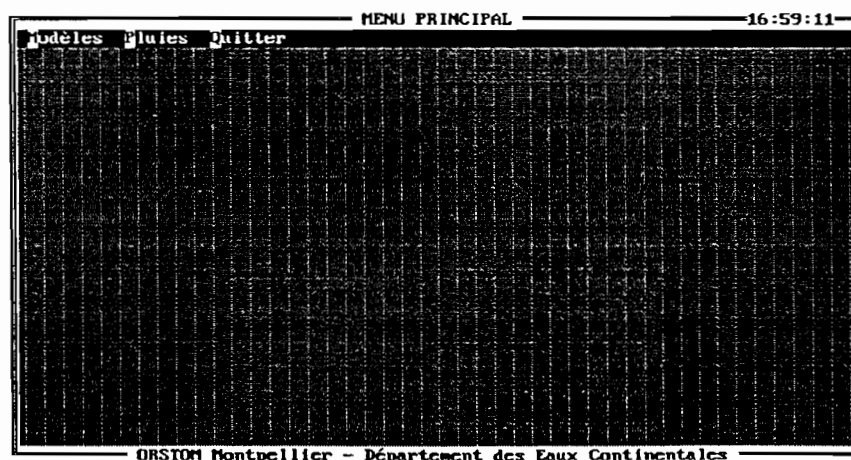
Le logiciel "Sahel" fonctionne deux fois plus vite s'il a accès à suffisamment de mémoire paginée (EMS). L'installation de cette dernière peut être faite à l'aide de la commande DOS *memmaker*.

### 1.2. LANCEMENT DU LOGICIEL

A partir du répertoire choisi, taper "sahel" pour faire apparaître une fenêtre dans laquelle le mot de passe "sahel" devra être saisi.



Une fois le mot de passe tapé et validé (frapper la touche Entrée), la barre de MENU PRINCIPAL s'affiche à l'écran :



Le choix des différentes options sur la barre de menu se fait soit en cliquant à l'aide de la souris sur l'un des menus proposés soit en tapant **Alt + première lettre de l'option**. Par exemple, **Alt + M** active le menu **Modèles**.

## 2. MENU "Modèles"

Cette option de la barre de **MENU PRINCIPAL** permet d'exécuter le programme d'estimation des caractéristiques de crue (et plus particulièrement de crue décennale) à l'aide de différentes méthodes.

### 2.1. RECOMMANDATION

Pour une utilisation efficace du logiciel, il est recommandé de disposer du document intitulé "Manuel pour la détermination des crues et des apports des petits et moyens bassins versants d'Afrique Sahélienne et Tropicale Sèche". Ce manuel, publié par la FAO, a été rédigé par l'ORSTOM, le CEMAGREF et le C.I.E.H.

### 2.2. CARACTERISTIQUES GENERALES DES DIFFERENTES METHODES

Le menu **Modèles** permet de mettre en oeuvre trois méthodes qui correspondent à des approches sensiblement différentes :

- La méthode *ORSTOM*, basée sur une approche déterministe, s'applique au Sahel africain hors de la zone côtière, entre les isohyètes annuelles 150 et 850 mm. Elle permet la détermination des caractéristiques de l'hydrogramme de crue de fréquence décennale : le débit maximum, les temps de base et de montée, les volumes ruisselés et écoulés ainsi que les lames d'eau correspondantes. Elle est bien adaptée, sans restrictions, aux bassins dont la superficie est inférieure à 120 km<sup>2</sup>. Pour les bassins dont la superficie est comprise entre 120 et 350 km<sup>2</sup>, l'indice de pente global doit être supérieur à 4 m/km. Pour les autres bassins, de pente plus faible ou de plus grande superficie, des précautions, soulignées et expliquées lors de l'exécution du logiciel, doivent être prises.
- La méthode *C.I.E.H.*, basée sur une approche stochastique, s'applique, dans la version utilisée par le logiciel, aux régions sèches d'Afrique Tropicale, entre les isohyètes 0 et 800 mm. Elle fournit, pour différents découpages climatiques et géographiques, uniquement le débit maximum de crue de fréquence décennale. Elle peut être utilisée pour toutes les gammes de superficie mais l'échantillon de bassins de référence est nettement regroupé dans la gamme des superficies comprises entre 20 et 300 km<sup>2</sup>.
- La méthode *de la section droite et de la pente*, basée, selon différentes variantes, sur la mise en oeuvre de formules d'hydraulique, est d'application très générale. Elle ne fournit pas directement le débit maximal de crue de fréquence décennale mais un débit correspondant à un certain niveau d'eau, déduit d'enquêtes ou de mesures de terrain. Sa fréquence d'apparition doit être ensuite évaluée. Le manuel, déjà cité en référence paragraphe 2.1, propose pour cela différentes méthodes d'estimation et fournit, par ailleurs, un certain nombre de coefficients qui permettent de passer, compte tenu du contexte physico-climatique du bassin étudié, de la crue de fréquence médiane à des crues d'autres fréquences : 0,1; 0,05; 0,02; 0,01. On admet généralement qu'en région sahélienne la crue qui atteint

le sommet des berges correspond à un événement dont la fréquence doit se situer entre les fréquences annuelle et médiane.

Il est possible d'utiliser une seule de ces méthodes ou, au contraire, plusieurs d'entre elles en séquence. Dans ce dernier cas, l'ordre de sélection est laissé au libre choix de l'utilisateur. Il est conseillé, dans la mesure du possible, d'exploiter les différentes options proposées et de comparer les résultats obtenus.

Les données d'entrée communes aux deux premières méthodes (*ORSTOM* et *C.I.E.H.*) sont :

- la **superficie** du bassin versant, en  $\text{km}^2$  ;
- le **périmètre** du bassin versant, en km ;
- la **dénivelée**, exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant 5% et 95% de la superficie du bassin situés au-dessus d'elles ( $D = H_5 - H_{95}$ );
- les **coordonnées géographiques**, avec une précision du demi degré, d'un point de référence du bassin (exutoire ou barycentre approximatif, par exemple).

L'application de la méthode *ORSTOM* demande, par ailleurs, une estimation de l'**infiltrabilité** du bassin, définie qualitativement à l'aide de cinq **indices** : *PI* (Particulièrement Imperméable), *I* (imperméable), *RI* (Relativement Imperméable), *P* (Perméable), *TP* (Très Perméable). La sélection de ces différents indices se fait à l'aide de la **barre d'espacement** du clavier. Le logiciel offre la possibilité d'entrer **deux indices d'infiltrabilité** et le **coefficient de pondération du premier** d'entre eux, celui du second étant calculé automatiquement par le logiciel en prenant le complément à 1 du premier. Par exemple, l'**infiltrabilité** d'un bassin peut être :  $0,45 \cdot I + 0,55 \cdot RI$  ; il suffit de sélectionner *I* puis *RI*, à l'aide de la barre d'espacement, puis à l'invite de taper 0,45.

Lorsque la méthode *C.I.E.H.* est utilisée avant ou sans la méthode *ORSTOM*, et dans le cas où la connaissance du **coefficient de ruissellement de fréquence décennale KR10** est demandé, le logiciel permet (mais le choix est laissé à l'utilisateur) de calculer ce coefficient à l'aide de la méthode *ORSTOM*, c'est à dire en utilisant la notion d'**infiltrabilité** telle qu'elle a été définie précédemment.

**Quel que soit l'ordre de sélection des deux méthodes, toutes les données nécessaires ne sont saisies qu'une seule fois.**

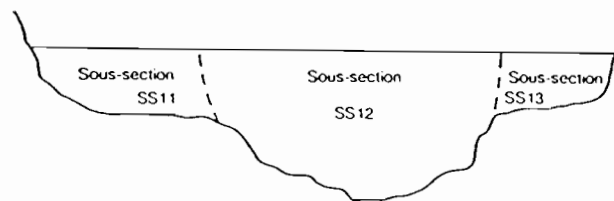
Cette règle est mise en défaut lorsque la notion de **bassin réduit** (ou **contributif** ou **actif**) est appliquée dans la méthode *ORSTOM*. En effet, la superficie du bassin réduit, et par conséquent les autres caractéristiques (périmètre, dénivelée et infiltrabilité) sont différentes de celles du bassin topographique total, utilisées dans l'application de la méthode *C.I.E.H.* Si, dans ces conditions, cette dernière est sélectionnée en séquence après la méthode *ORSTOM*, les caractéristique du bassin total seront demandées. Si inversement la méthode *C.I.E.H.* est utilisée avant la méthode *ORSTOM*, cette dernière sera appliquée nécessairement à l'ensemble du bassin. Il sera donc prudent de s'assurer que, compte tenu du contexte physique de ce bassin, cette approche est satisfaisante. Si tel n'est pas le cas, la méthode *ORSTOM* devra être appliquée une nouvelle fois en entrant les caractéristiques du bassins actif (ou réduit), après avoir répondu par l'affirmatif (**O**) à la question "**Souhaitez-vous traiter un autre bassin ?**", posée en fin de programme.

Pour l'application de la méthode *de la section droite et de la pente*, les données nécessaires sont celles relevées, pour un niveau d'eau déterminé, sur une ou différentes sections droites (**4 au maximum**) d'un bief de cours d'eau :

- superficie ( $S$ ), en  $m^2$  ;
- périmètre ( $P$ ), en m ;
- pente de la ligne d'eau ( $i$ ), en mm/m (si celle-ci n'est pas connue, le logiciel demande la pente du fond du lit) ;
- coefficient de rugosité ( $n$ ) de Manning-Strickler, sans dimension.

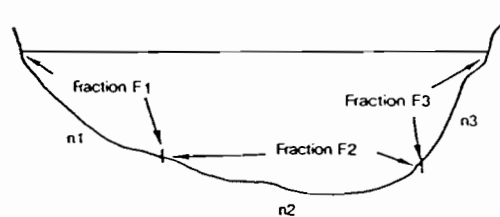
Pour ce dernier paramètre, différents cas peuvent être rencontrés :

- La rugosité est homogène sur toute la section : une seule valeur de  $n$  est demandée.
- La rugosité n'est pas homogène sur l'ensemble de la section :
  - soit la section peut être divisée en plusieurs sous-sections (**3 au maximum**) de rugosité homogène, traitées d'une manière indépendante par le logiciel ;



Découpage d'une section droite de cours d'eau  
en sous - sections homogènes

- soit la section ne peut pas être séparée en sous-sections homogènes et il est alors nécessaire de découper le périmètre mouillé en fractions de rugosité homogène (**3 au maximum**), exprimées en % du périmètre total.



Découpage d'une section droite de cours d'eau  
en fractions de rugosités différentes

La formule de Manning-Strickler utilisée s'écrit :

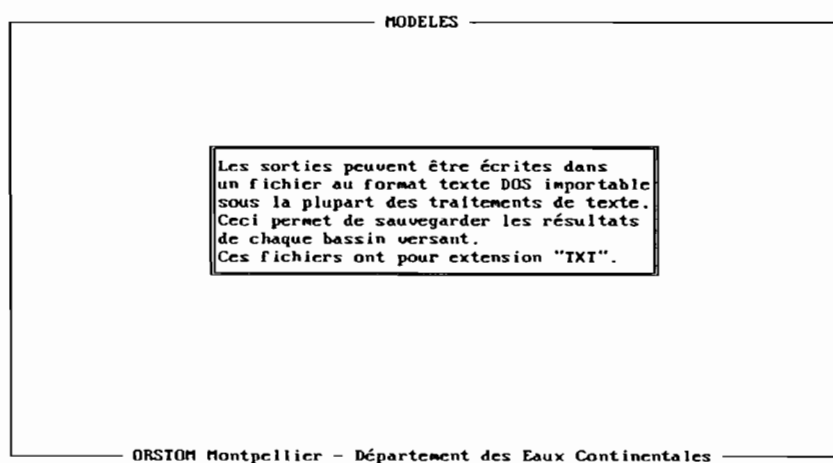
$$Q = 1/n \cdot S \cdot (S/P)^{2/3} \cdot (i/1000)^{1/2}$$

en respectant les unités données ci-dessus.

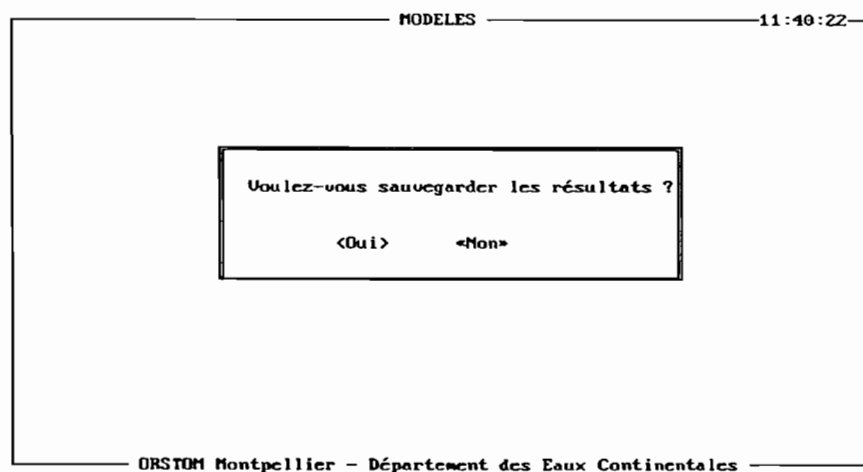
## 2.3. PRINCIPALES ÉTAPES A SUIVRE

### 2.3.1. Archivage des résultats dans un fichier

Une fois l'option **Modèles** sélectionnée, une fenêtre s'affiche pour avertir l'utilisateur que les résultats, par ailleurs visibles en permanence à l'écran, peuvent être sauvegardés dans un fichier au format texte DOS.

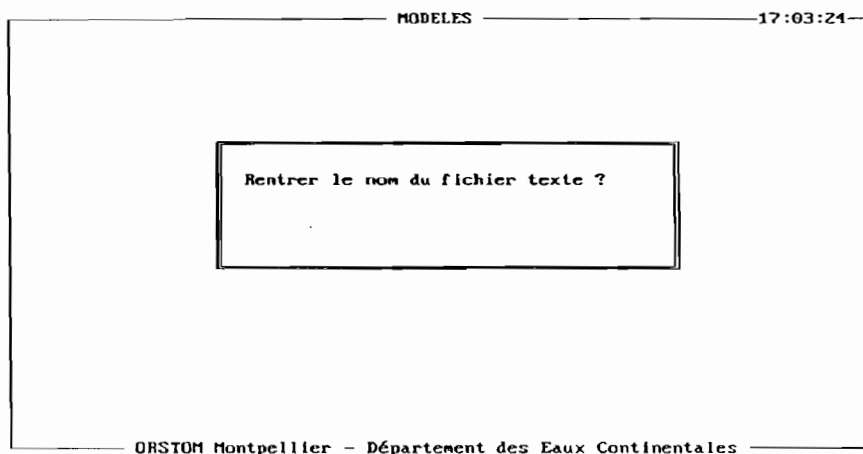


Après avoir cliqué en n'importe quel point de cette fenêtre ou appuyé sur la touche **Entrée**, une seconde fenêtre permet de valider l'option choisie :

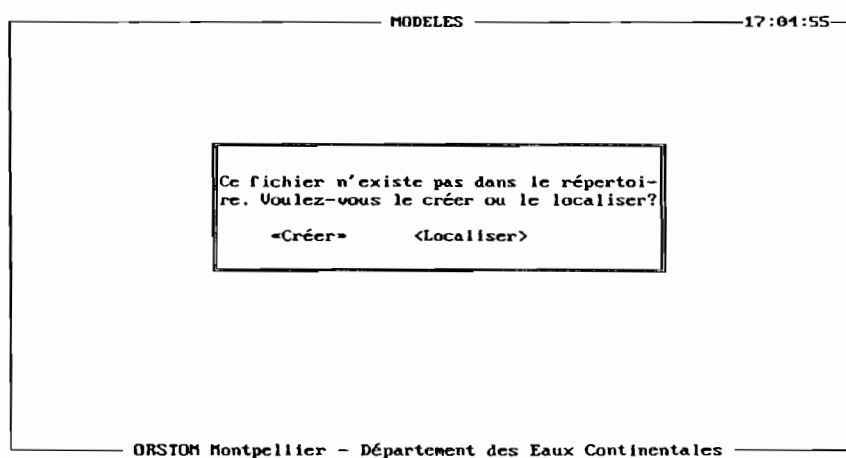




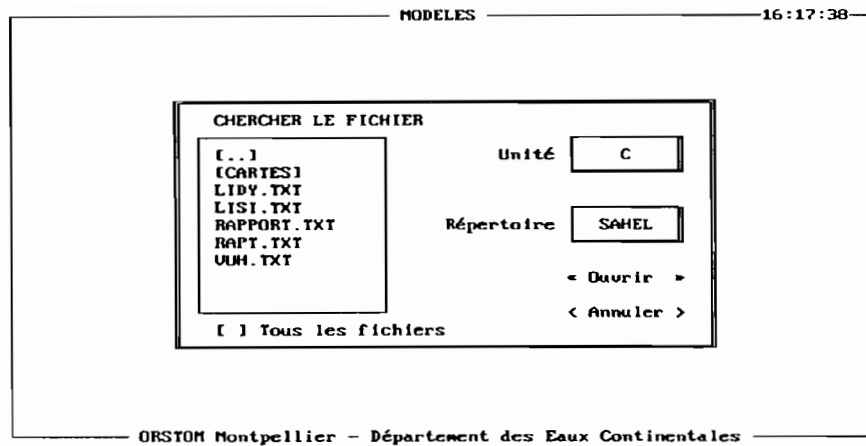
Si la réponse est affirmative (cliquer sur **OUI** ou taper **O**), le nom du fichier est alors demandé :



Pour créer un nouveau fichier, il suffit de taper son **nom** + **Entrée**, puis dans la fenêtre suivante de cliquer sur **Créer** (ou de taper **C**).



Pour utiliser un fichier existant, taper sur la touche **Entrée** sans exécuter l'ordre "**Rentrer le nom du fichier texte**", puis sur l'écran suivant cliquer sur **Localiser** (ou taper **L**) pour faire apparaître la fenêtre de recherche des fichiers :

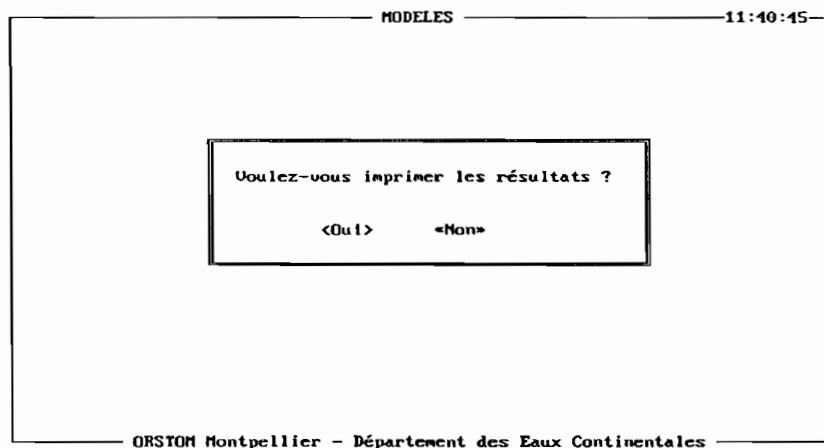


La sélection se fait en cliquant sur le **nom du fichier** choisi ou en utilisant les **touches de déplacement** puis la touche **Entrée**.

Ce fichier peut être ensuite mis en forme (si nécessaire) et édité à l'aide de n'importe quel logiciel de traitement de texte.

### 2.3.2. Impression des résultats en cours de programme

Pour disposer d'une trace des questions, commentaires et résultats qui jalonnent le programme, ainsi que des données saisies, il suffit de répondre positivement (cliquer sur **OUI** ou frapper la touche **O**) à la question "**Voulez - vous imprimer les résultats ?**". L'impression s'effectue alors au fur et à mesure du déroulement du logiciel.



### 2.3.3. Fenêtre de travail et Fenêtre d'archivage

L'interface logiciel/utilisateur se décompose en deux parties : le quart inférieur de l'écran - **Fenêtre de travail** - est réservé à l'affichage des questions, des commentaires et des résultats brutes ainsi qu'à la saisie des données ou des réponses demandées ; le reste de l'écran est occupé par une fenêtre où s'affichent toutes les questions posées et les réponses faites par l'utilisateur, les commentaires et les résultats définitifs - **Fenêtre d'archivage** -.

MODELES 14:29:57

MODELES DE CALCUL DES CRUES DECENNALES DANS LE SAHEL AFRICAIN

- Quel nom porte le cours d'eau : Tsanaga
- Quel nom porte l'exutoire du bassin versant : Maroua
- Le bassin est-il situé en zone sahélienne (entre les isohyètes 150 et 850 mm), hors de la bande de 10 à 20 km qui borde l'océan : OUI
- Le bassin hydrographique est-il fortement dégradé : NON
- Souhaitez-vous appliquer la méthode ORSTOM, surtout adaptée à des bassins dont la superficie est inférieure à quelques centaines de km<sup>2</sup> : OUI
- Un réservoir couvre-t-il une partie notable du bassin : NON
- Le bassin est-il dégradé à l'amont, sans trace de ruissellement issu de cette zone : NON

Le bassin imperméable présente-t-il à l'amont une partie inactive, plate, très perméable ou marécageuse, sans trace de drainage ? O/N

REPONSE : M  
 Vous avez répondu NON Voulez-vous MODIFIER ? O/N M

ORSTOM Montpellier - Département des Eaux Continentales

La **fenêtre d'archivage** est une fenêtre déroulante qui permet de visualiser toutes les informations traitées, même lorsqu'elles n'apparaissent plus à l'écran : il suffit d'utiliser la touche F2 et de cliquer sur OK dans la fenêtre VISUALISATION DES SAISIES (ou de taper O).

MODELES 17:56:23

MODELES DE CALCUL DES CRUES DECENNALES DANS LE SAHEL AFRICAIN

tributaires secondaires une zone perméable inactive (sables éoliens, blocs de roches cristallines ou sédimentaires, cuirasses démantelées)  
NON

- Le bassin comporte-t-il à l'amont du tributaire principal ou des tributaires secondaires, une zone présentant des traces de ruissellement (s des drains) : NON
- Le bassin se t (ant pas ou presque pas d' (raccordées
- Le bassin est-par un goulet (a elle-ci est dans ce cas la superficie du (inférieure à 120 km<sup>2</sup>).

VISUALISATION DES SAISIES

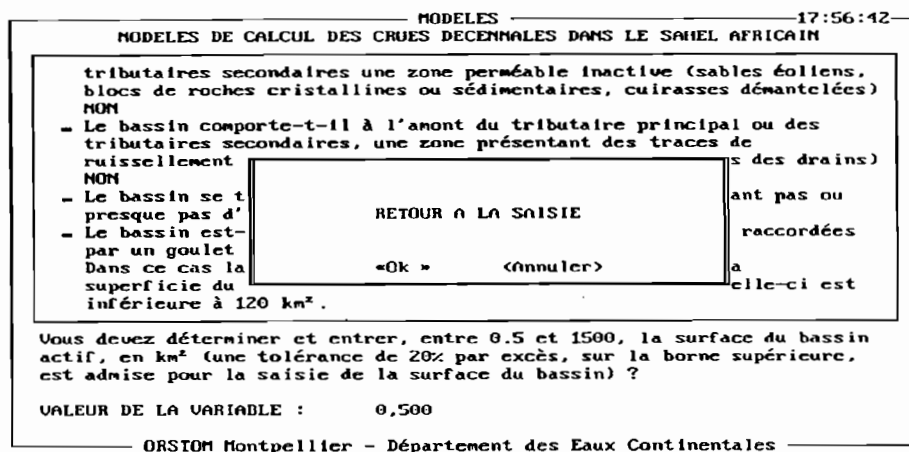
«Ok »      <Annuler>

Vous devez déterminer et entrer, entre 0.5 et 1500, la surface du bassin actif, en km<sup>2</sup> (une tolérance de 20% par excès, sur la borne supérieure, est admise pour la saisie de la surface du bassin) ?

VALEUR DE LA VARIABLE :      0.500

ORSTOM Montpellier - Département des Eaux Continentales

Les touches d'édition classiques (PgUp, PgDn, Up, Dn, Left, Right, HOME, END) facilitent ensuite les déplacements et les recherches à l'intérieur de l'archive. Pour reprendre l'exécution du programme, taper sur la touche **Echap** ou la touche **Entrée** puis cliquer sur **OK** dans la fenêtre **RETOUR A LA SAISIE** (ou taper sur la touche **O**) :



### 2.3.4. Règles d'utilisation et de Saisie des données

Les règles générales d'utilisation du logiciel et de saisie des données sont les suivantes :

- La saisie de texte au clavier peut se faire indifféremment en **majuscules** ou en **minuscules**.
- Les réponses aux questions posées se font par **N (NON)**, affiché par défaut, ou par **O (OUI)**.
- Le **séparateur numérique** est la **virgule**. Dans la **Fenêtre de travail**, les nombres sont toujours affichés avec une précision de 3 décimales après la virgule (nombres saisis ou résultats brutes). Par contre, les valeurs affichées dans la **Fenêtre d'archivage** sont arrondies en fonction de leur précision connue ou attendue.
- Les **coordonnées géographiques** doivent être saisies en degrés et dixièmes de degré ; par exemple : 15,2 ou - 18 sont des valeurs admises. Néanmoins, l'estimation des hauteurs pluviométriques est faite avec une précision qui est celle des cartes d'isohyètes des précipitations annuelles et journalières de référence : localisation au 1/2 degré près.
- A l'ouest du 0°, les longitudes doivent être précédées du **signe -**, celles situées à l'est peuvent être saisies **sans signe**, le **signe +**, bien qu'accepté, n'étant pas nécessaire.
- Si une réponse erronée à une question posée est validée (au moyen de la touche **Entrée**), il est possible de revenir en arrière en tapant sur la touche **F3**. Cependant, dans certains cas, ce retour arrière n'est pas autorisé et un message s'affiche alors en haut et à droite de l'écran : "**RETOUR ARRIERE IMPOSSIBLE**".

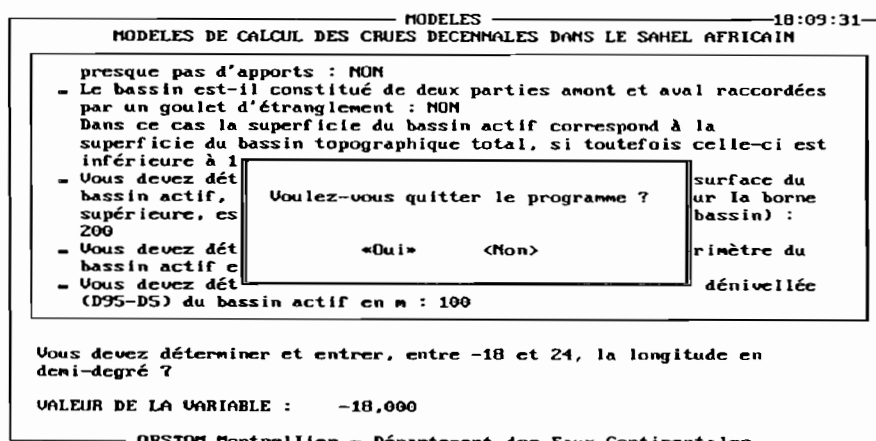
- La demande de confirmation "**Voulez-vous CORRIGER ?**", dans le cas d'une réponse par OUI (O) ou par NON (N), ou "**Voulez-vous MODIFIER ?**", pour la saisie d'une valeur numérique, permet de changer les réponses ou les valeurs numériques proposées par défaut par le logiciel, ou de corriger les erreurs de frappe.
- La question "**Voulez-vous modifier ce résultat ?**" permet d'intervenir, si nécessaire, sur les résultats intermédiaires des calculs.

Ces différentes facilités donnent au logiciel une grande souplesse d'utilisation. Si, par exemple, seul est connu l'**indice global de pente  $I_g$**  du bassin et non la **dénivelée**, il suffit d'accepter, pour cette dernière, la valeur proposée par défaut, soit 0,010 m, puis de saisir ultérieurement la valeur de  $I_g$  en répondant OUI (O) à la question "**Voulez-vous modifier ce résultat ?**", lorsque apparaît à l'écran (8 pas plus loin) : "**L'indice global de pente en m/km est égal à : x,xxx**".

De la même manière, si le calcul automatique de la pluie journalière de fréquence décennale et de la pluie moyenne annuelle, à partir des coordonnées géographiques d'un point de référence du bassin, n'est pas souhaité ou si ces dernières ne sont pas connues, il suffit d'accepter la longitude -18,000 et la latitude 8,000, proposées par défaut, puis de taper sur la touche **Entrée** après l'affichage, dans le coin supérieur droit de l'écran, du message : "**ERREUR : Hors de la zone d'étude**". Les valeurs 0,000, alors proposées pour chaque hauteur de pluie (journalière et annuelle), peuvent être remplacées par les valeurs souhaitées en répondant OUI (O) à la question "**Voulez-vous modifier ce résultat ?**".

### 2.3.5. Fin de programme

Il est possible à tout instant d'interrompre le déroulement du programme en appuyant sur la touche **Echap**. Confirmation est ensuite demandée :



Une réponse affirmative permet de revenir au **MENU PRINCIPAL**.

En fin de programme, non interrompu volontairement par l'utilisateur, apparaît dans le coin supérieur droit de l'écran le message "**FIN NORMALE**". En tapant ensuite sur n'importe quelle touche, s'affiche la fenêtre **VISUALISATION DES SAISIES** : l'option **Annuler**, sélectionnée à l'aide de la

souris ou en appuyant sur la touche **A**, fait apparaître le message **"PROGRAMME TERMINE"**. Il suffit ensuite d'utiliser une touche quelconque pour que s'affiche la barre de **MENU PRINCIPAL**.

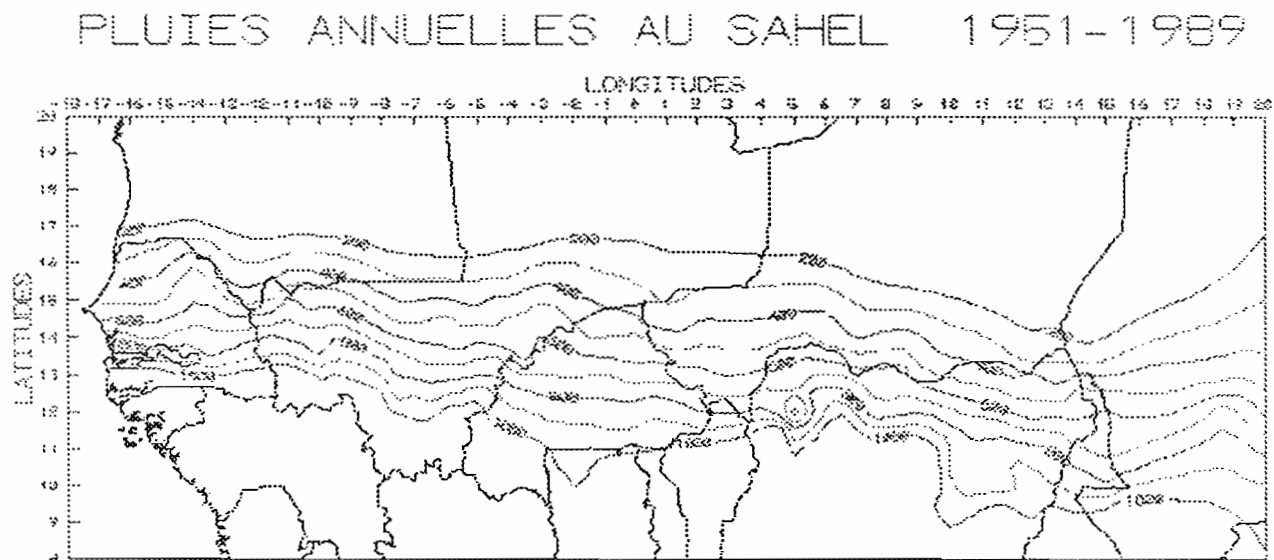
### 3. MENU "Pluies"

Dans le menu **Modèle**, deux des trois options disponibles (méthode *ORSTOM* et méthode *C.I.E.H.*) offrent la possibilité de déterminer automatiquement la hauteur pluviométrique journalière de fréquence décennale et la hauteur pluviométrique moyenne annuelle en un point défini par ces coordonnées géographiques (voir paragraphe 2.2). Par ailleurs, dans l'application de la méthode *de la section droite et de la pente*, la connaissance de ces deux hauteurs caractéristiques de pluies peuvent aider à l'estimation de la fréquence d'apparition du débit de crue calculé. Dans ce but et à titre illustratif, une visualisation des cartes d'isohyètes des précipitations journalières de fréquence décennale et des précipitations moyennes annuelles est offerte.

#### 3.1. PLUIES ANNUELLES

L'option **Annuelles** du menu **Pluies**, sélectionnée en cliquant sur **Pluies** (ou en frappant les touches **Alt + P**) puis en cliquant sur **Annuelles** (ou en tapant sur la touche **A**), affiche à l'écran la carte des isohyètes des précipitations moyennes annuelles pour l'ensemble du Sahel africain.

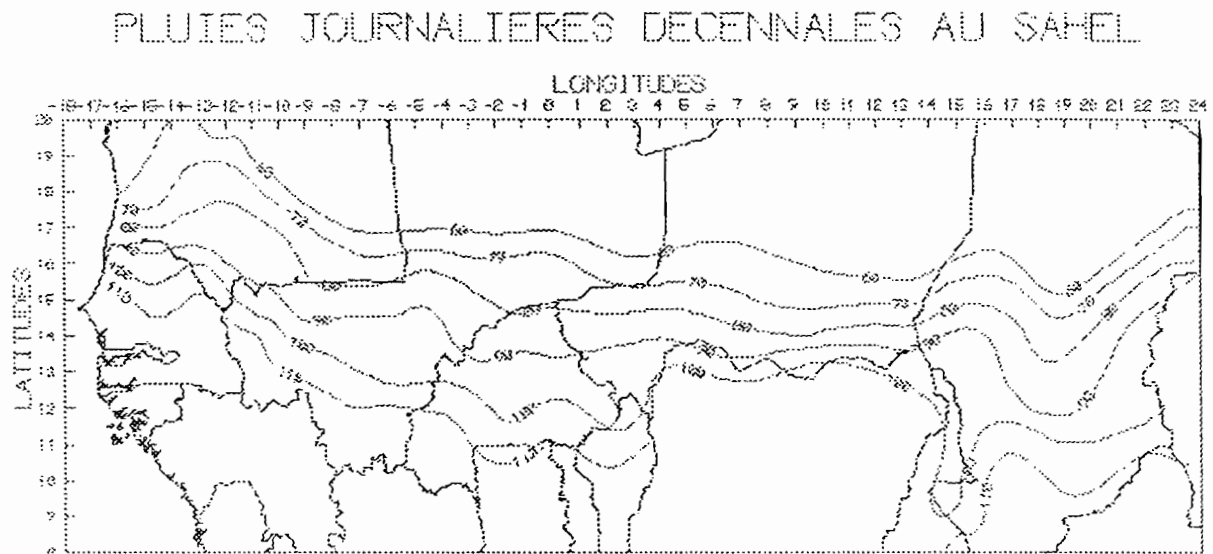
Cette carte a été établie à partir d'un fichier de hauteurs pluviométriques ponctuelles observées en différentes stations d'observations (Mahé, 1993).



#### 3.2. PLUIES JOURNALIERES

L'option **Journalières** du menu **Pluies**, sélectionnée en cliquant sur **Pluies** (ou en frappant les touches **Alt + P**) puis en cliquant sur **Journalières** (ou en tapant sur la touche **J**), affiche à l'écran la carte des isohyètes des précipitations journalières de fréquence décennale.

Cette carte, élaborée par le C.I.E.H. (1985), a été numérisée.



### 3.2. FONCTIONNALITES

Une fois l'une des cartes affichée à l'écran, les fonctions suivantes sont disponibles :

- la touche **G** permet de visualiser, dans le coin inférieur gauche de l'écran, les coordonnées absolues (X et Y) du point matérialisé par le curseur qui peut être déplacé à l'aide des flèches de direction ;
- une seconde pression sur **G** provoque l'affichage, pour le même point, des coordonnées géographiques, exprimées en degrés et 1/2 degré, et de la hauteur de pluie (Z), exprimée en millimètres ;
- la touche **Echap**, frappée 2 fois, permet de sortir du menu **Pluies** et de revenir au **MENU PRINCIPAL**.