

Un modèle agroclimatologique de simulation du bilan hydrique des cultures

J-P. LHOMME*, M. ELDIN**

* INA-PG, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

** ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France

RESUME

Est présenté un modèle qui simule le bilan hydrique du sol à partir des données journalières de pluie, des moyennes mensuelles de l'évapotranspiration potentielle, et certaines caractéristiques du sol et de la culture considérée. Ce modèle est récurrent et opère avec un pas de temps d'une journée. Il permet de substituer à la matrice des précipitations journalières de dimension $m \times 365$ (m étant le nombre d'années d'enregistrement) une matrice de memes dimensions contenant soit les valeurs journalières de la réserve hydrique du sol, soit celles du drainage soit celles du déficit hydrique, suivant le problème considéré. Pratiquement nous montrons comment le modèle peut être utilisé d'une part pour caractériser les risques de sécheresse ou d'excès d'eau et d'autre part pour déterminer la date optimale de semis d'une culture annuelle.

SUMMARY

An agroclimatic model to simulate crop water balance

We propose an agroclimatic model which simulates the evolution of the soil water balance under annual and perennial crops. The model is recurrent, operates with a time step of one day. As climatic data it utilizes daily rainfall data and mean values of monthly potential evapotranspiration. Some soils characteristics, like the maximum water storage capacity, and crop characteristics, like the sowing and harvesting dates, are also taken into account in the model. It allows to determine water storage, drainage and water deficit on a daily basis. The values of each parameter appear in the form of a matrix which have the same dimensions as the daily rainfall matrix. Practically we show how the model can be used to characterize drought or water excess risks and to determine crop calendars.

Introduction

Classiquement en agroclimatologie lorsqu'on analyse les conditions d'

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 22.101 ex 1

Cote : B

alimentation hydrique des plantes, on effectue le bilan potentiel (Pluie-ETP) sur une base de temps qui peut varier de la semaine au mois, et on étudie statistiquement sa variabilité interannuelle. Ce bilan potentiel ne représente en fait qu'une écriture très simplifiée du bilan hydrique réel, et ne prend pas en compte le rôle de réservoir que joue le sol en stockant et restituant l'eau pluviale. Le modèle que nous présentons, tout en restant agroclimatologique, c'est-à-dire basé sur les données enregistrées du réseau météorologique, cherche à mieux caractériser les conditions d'alimentation en eau des plantes, à travers une simulation de l'évolution de la réserve hydrique du sol.

Les données climatiques qui servent d'entrée au modèle sont d'une part les précipitations journalières qui apparaissent sous la forme d'une matrice $PJ(m,365)$, m représentant le nombre d'années d'enregistrement, d'autre part les valeurs moyennes interannuelles de l'évapotranspiration potentielle mises sous la forme d'un vecteur journalier $EPJ(365)$. A côté de ces données climatiques apparaîtront certains paramètres d'ajustement aux conditions spécifiques considérées, paramètres concernant le sol et la culture considérés (1).

I. Description du modèle

1. Evolution de la réserve utile

La réserve hydrique du sol, notée RH , représente la quantité d'eau stockée dans le sol et disponible pour les plantes. C'est un nombre positif, exprimé en millimètres, qui varie entre 0 et la réserve utile RU , la réserve utile représentant la différence entre les quantités d'eau stockées à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent, dans une tranche de sol d'épaisseur égale à la profondeur moyenne d'enracinement. Cette réserve utile évolue donc en fonction de la profondeur d'enracinement, c'est-à-dire en fonction du stade de développement de la culture. Pour caractériser cette évolution nous introduisons deux paramètres, d'une part la valeur RU_x de la réserve utile juste avant la récolte, donc en principe au maximum d'enracinement, d'autre part un coefficient c_1 qui définira une "réserve utile minimale" notée RU_n , $RU_n = c_1 \cdot RU_x$, ($0 < c_1 < 1$). RU_n représente, dans le cas du sol nu, la quantité d'eau maximale stockable dans la tranche de sol qui est censée contribuer à l'évaporation.

Entre la date de semis notée S et la date de récolte notée R , la réserve utile va croître de RU_n à RU_x . Et entre la date de récolte R et la date de semis suivante, RU va demeurer à sa valeur minimale RU_n . Pour traduire mathématiquement de la façon la plus simple possible ce phénomène nous choisirons une loi de variation linéaire de la réserve utile entre les dates S et R en fonction du numéro du jour. Si DSJ représente la durée, exprimée en nombre de jours, qui sépare la date S du jour j et DSR celle qui sépare les deux dates S et R (c'est-à-dire la longueur du cycle), nous écrivons, RU_j représentant la réserve utile du jour j :

$$RU_j/RU_x = A_j = c_1 + (1 - c_1) \cdot DSJ/DSR \quad (1)$$

Sur l'année entière, la réserve utile va évoluer selon le schéma suivant:

$$RU_j = \begin{cases} c_1 \cdot RU_x, & \text{si } j \in]R, S[\\ A_j \cdot RU_x, & \text{si } j \in [S, R] \end{cases} \quad (2)$$

Dans le cas d'une culture pérenne nous admettrons que la réserve utile ne varie pas et reste à son niveau maximum RU_x , ce qui revient à faire $c_1 = 1$.

2. Evolution de l'évapotranspiration maximale

L'évapotranspiration maximale ETM évolue, par rapport à l'ETP, principalement en fonction de l'état de recouvrement du sol par le feuillage. C'est bien sûr une approximation, car on sait que généralement, à couverture égale, l'ETM diminue avec le vieillissement de la culture. Pour décrire l'évolution de l'ETM d'une culture annuelle en fonction de son stade de développement nous utiliserons le schéma simplifié suivant. Quand il n'y a pas de végétation sur le sol, c'est-à-dire de la date R à la date S , l'ETM équivaut à l'évaporation maximale du sol nu, qu'on écrira $c_0 \cdot ETP$, c_0 étant un coefficient réducteur compris entre 0 et 1. De la date de semis S à une date C , que l'on définira comme celle à partir de laquelle la culture recouvre à peu près complètement le sol avec son feuillage, l'ETM va croître du niveau $c_0 \cdot ETP$ jusqu'à ETP et se maintiendra à ce niveau de la date C jusqu'à la date de récolte R . Entre S et C nous prendrons une loi de variation linéaire de l'ETM par rapport à l'ETP en fonction du numéro du jour, comme dans le cas de la réserve utile:

$$ETM_j/ETP_j = B_j = c_0 + (1 - c_0) \cdot DSJ/DSC \quad (3)$$

DSC représentant la durée en nombre de jours qui sépare les deux dates S et C . Ce schéma permet de prendre une "marge de sécurité" car l'ETM y est majorée par rapport à ce qu'elle est réellement. Sur l'année entière, l'ETM va donc évoluer selon le schéma suivant:

$$ETM_j/ETP_j = \begin{cases} 1, & \text{si } j \in [JC, JR] \\ c_0, & \text{si } j \in]JR, JS[\\ B_j, & \text{si } j \in [JS, JC] \end{cases} \quad (4)$$

Dans le cas d'une culture pérenne bien couvrante on admettra que l'ETM équivaut à l'ETP tout au long de l'année.

3. Calcul de la pluie efficace

Nous admettrons que les pluies trop faibles ($P < P_n$) sont évaporées immédiatement et ne participent pas à la reconstitution de la réserve hydrique. Si P désigne la pluie enregistrée et PE la pluie efficace nous écrivons donc:

$$PE_j = \begin{cases} P_j, & \text{si } P_j \geq P_n \\ 0, & \text{si } P_j < P_n \end{cases} \quad (5)$$

Le sol sera considéré comme horizontal de façon à pouvoir annuler le ruissellement. La valeur du ruissellement est en effet un terme difficile à appréhender. Il est fonction à la fois de la pente, de l'intensité de la pluie et du type de couvert végétal et de sol. De ce fait, si l'intensité de la pluie est supérieure à la capacité d'infiltration, l'eau qui ne s'infiltrer pas immédiatement restera sur place à l'état libre jusqu'au moment où elle s'évaporerait ou finira par s'infiltrer.

4. Calcul du drainage

Si la quantité de pluie tombée le jour j est supérieure à la capacité de rétention du sol, il y aura drainage, c'est-à-dire une perte d'eau par percolation souterraine. La capacité de rétention du sol le jour j , notée CR_j , correspond à la différence entre la réserve utile du jour j et la réserve hydrique effective du jour précédent:

$$CR_j = RU_j - RH_j - 1 \quad (6)$$

Si CR_j se trouve être négatif, ce qui peut arriver le jour qui suit la récolte, on fera alors $CR_j = 0$. La quantité d'eau perdue par drainage s'écrira donc:

$$DR_j = \begin{cases} P_j - CR_j, & \text{si } P_j > CR_j \\ 0, & \text{si } P_j < CR_j \end{cases} \quad (7)$$

5. Calcul de l'évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration réelle ETR évolue, par rapport à l'ETM, en fonction de l'état de la réserve hydrique du sol. Les concepts classiques concernant l'utilisation de l'eau du sol par les plantes font état d'une réserve facilement utilisable, notée RFU, qui représente la fraction de la réserve utile RU utilisable par les plantes sans difficulté, c'est-à-dire sans que cela occasionne une fermeture stomatique et donc une réduction de l'ETR par rapport à l'ETM. En dessous de ce seuil l'ETR décroît au fur et à mesure que l'eau disponible diminue, et ce jusqu'au point de flétrissement permanent où elle est censée s'annuler. Le point critique, qui constitue le seuil de régulation, varie en fonction de la nature du sol, du développement et de l'efficacité du système racinaire. Nous poserons: $RFU = c_2 \cdot RU$, c_2 représentant un coefficient d'ajustement ($0 < c_2 < 1$) qui constituera un autre paramètre d'entrée du modèle. De ce fait même se trouve définie une réserve difficilement utilisable RDU, qui est le complémentaire de la RFU par rapport à la RU: $RU = RFU + RDU$.

Nous supposons que le rapport ETR/ETM croît linéairement de 0 à 1 en fonction de la réserve hydrique RH du sol, lorsque celle-ci passe de la valeur 0 à la valeur RDU, et qu'il se maintient à 1 lorsque la réserve fluctue entre RDU et RU. RH_{j-1} représentant l'état de la réserve hydrique à la fin du jour $j-1$ et donc au début du jour j , nous écrivons:

$$ETR_j/ETM_j = \begin{cases} 1, & \text{si } RH_{j-1} \geq RDU_j \\ RH_{j-1}/RDU_j, & \text{si } RH_{j-1} < RDU_j \end{cases} \quad (8)$$

Le déficit hydrique journalier de la culture se trouve défini par la relation:

$$DH_j = ETM_j - ETR_j \quad (9)$$

A partir de là on définira un déficit hydrique cumulé sur la durée du cycle cultural ou sur une phase particulière du cycle (stade critique par exemple):

$$DHC = \sum_{j=J1}^{J2} DH_j \quad (10)$$

6. L'équation du bilan hydrique

L'équation traduisant le bilan hydrique s'écrit sur une base journalière:

$$RH_j = RH_{j-1} + PE_j - ETR_j - D_j$$

Cette équation va servir de relation de récurrence pour calculer les réserves hydriques journalières successives. A moins qu'on ait un moyen particulier de connaître la réserve hydrique au début du processus récurrent, RH_0 , on peut se baser sur les considérations suivantes pour initialiser le processus: si le jour N° 1 se trouve en pleine saison sèche, on choisira $RH_0 = 0$, s'il se trouve en pleine saison des pluies, $RH_0 = RU$, sinon on prendra une valeur moyenne $RH_0 = RU/2$.

II. Applications du modèle1. Remarques sur l'utilisation du modèle

Le modèle récurrent de bilan hydrique journalier présenté ne cherche pas systématiquement une formulation trop précise dans la description des phénomènes. Ceci pour deux raisons. D'une part nous avons voulu réduire au minimum le nombre des paramètres d'entrée se référant au sol et à la culture afin que le domaine d'application du modèle soit le plus large possible. D'autre part, les données climatiques de base et le pas de temps utilisé (la journée) imposent de fait un certain degré d'imprécision qu'il serait inutile de masquer par des considérations trop précises sur certains aspects du modèle comme les coefficients culturaux ou la dynamique de l'eau au champ. Par exemple, remarquons que le fait de calculer l'ETR du jour j en se basant sur la réserve hydrique du jour $j-1$ (RH_{j-1}) ne représente pas parfaitement la réalité. En effet, si une pluie suffisante tombe au début du jour j , modifiant substantiellement la réserve hydrique du sol, l'ETR du jour j pourra être bien différente de celle donnée par le modèle. Mais, compte tenu des données de base utilisées (totaux pluviométriques journaliers) il est impossible de faire la discrimination.

Si on veut utiliser le modèle en temps "réel" pour simuler l'évolution de la réserve hydrique du sol et déterminer ainsi les moments où l'irrigation d'appoint est nécessaire, par exemple, il faut bien ajuster le modèle aux conditions spécifiques du cas considéré par un choix judicieux des paramètres. Mais le modèle proposé est avant tout destiné à l'analyse agroclimatologique qui est basée sur l'exploitation statistique des séries de données climatiques. Le modèle a été programmé dans ce sens.

2. Programmation du modèle

Le modèle a été programmé en FORTRAN IV sous forme d'un sous-programme appelé SBH (Simulation de Bilan Hydrique) dont la liste d'entrée fait apparaître trois groupes de données:

- des données climatiques: PJ, EPM, IJ. PJ représente la matrice des précipitations journalières, de dimension $365 \times IJ$, IJ étant le nombre d'années d'enregistrement de la pluviométrie pris en compte. EPM représente le vecteur des évapotranspirations potentielles mensuelles qui sera transformé en un vecteur EPJ (365) de valeurs journalières.

- des caractéristiques culturales: JS, JC, JR. Ce sont les trois dates caractéristiques de la culture considérée: la date de semis JS, la date JC à partir de laquelle la culture couvre à peu près complètement le sol, et la date JR de récolte.
- des caractéristiques édaphiques: RUX, C1, C2. RUX est la réserve utile correspondant au maximum d'enracinement, C1 le coefficient définissant une "réserve utile minimale" et C2 le coefficient définissant la RFU. Les deux paramètres C0 (définissant l'ETM du sol nu) et PN (définissant la limite d'efficacité des pluies) varient peu suivant les cas de figure. Pour cela ils seront considérés comme internes au modèle et ne figureront pas dans la liste d'entrée du sous-programme.

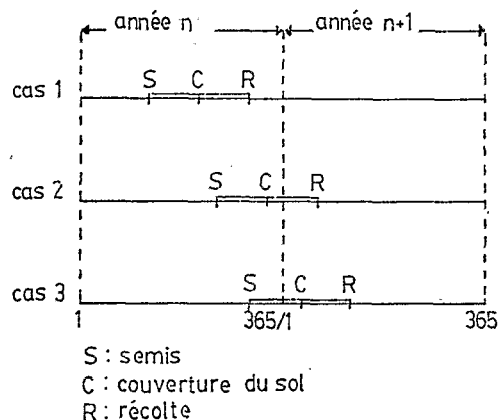


Figure 1 - Position du cycle cultural par rapport à l'année calendaire

Le sous-programme commence par calculer l'ETM et la RU journalières, fonctions de la culture considérée. Si on veut traiter le cas d'une culture pérenne (durée du cycle supérieure à 12 mois), il faut faire JS=JC=JR=1 en entrée). Dans le cas d'une culture annuelle on est obligé de considérer trois éventualités (Fig. 1) suivant que le cycle considéré est entièrement compris dans une année ou à cheval entre deux. Ensuite vient le calcul du bilan hydrique proprement dit. Le processus récurrent est initialisé le 1^{er} janvier de la 1^{ère} année d'enregistrement de la pluviosité PJ(1,1) avec une valeur de la réserve hydrique du jour précédent choisie en fonction de sa position vis-à-vis des périodes sèches et pluvieuses. Les années suivantes s'enchaînent régulièrement, le 31 décembre de l'année n avec le 1^{er} janvier de l'année n+1. La matrice QJ qui figure dans la liste du sous-programme représente les "output" du modèle. Elle a les mêmes dimensions que la matrice des pluies PJ. Son contenu varie en fonction de la valeur de l'indicateur IN. Si IN vaut 1, la matrice QJ contiendra les réserves hydriques journalières. Avec IN=2, QJ contiendra les déficits hydriques journaliers, et avec IN=3, les valeurs journalières des pertes par drainage. En annexe nous donnons le listing du sous-programme mis au point sur un ordinateur IBM360.

3. Etude des risques de sécheresse ou d'excès d'eau

Le modèle permet d'étudier les risques de sécheresse en utilisant comme sortie le déficit hydrique (IN=2). Celui-ci représente en effet le manque d'eau au niveau de la culture considérée. Nous avons pris comme exemple le cas d'une culture pérenne bien couvrante (RU constante, ETM=ETP), telle que le caféier, et choisi la station de Pueblo Bello, située dans la zone caféière de Colombie à une altitude de 1.000m. Vingt années d'enregistrement de la pluviosité ont été prises en compte (1961-80). Nous avons supposé une RU de 120mm (avec RFU=RU/2). L'année est divisée en périodes élémentaires de dix jours et pour chaque période élémentaire on calcule le déficit hydrique cumulé DH_{10} , c'est-à-dire la somme des déficits journaliers $(DH_{10} = \sum_{j=1}^{10} DH_j)$. Ce calcul est répété pour

chaque année de l'échantillon étudié. Ensuite la répartition interannuelle des déficits décennaires DH_{10} est analysée statistiquement par simple classification fréquentielle. La Figure 2 montre la médiane (0,50) et le quartile supérieur (0,75), c'est-à-dire les déficits décennaires dépassés une année sur deux et une année sur quatre. Les excès d'eau peuvent être étudiés suivant le même procédé, mais en utilisant cette fois les pertes par drainage (IN=3) et en calculant de la même façon les valeurs du drainage cumulées sur dix jours DR_{10} .

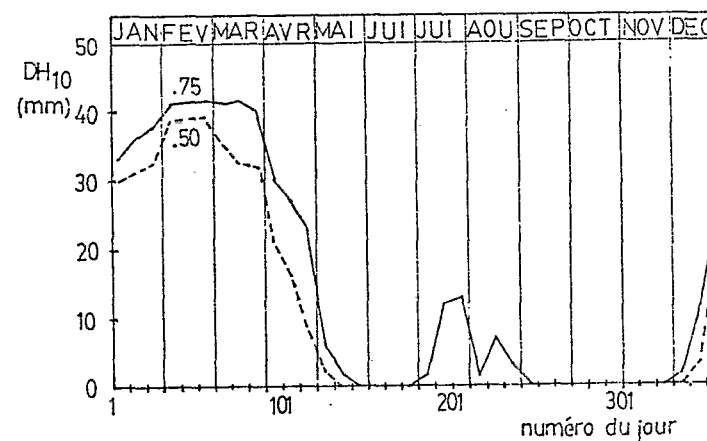


Figure 2 - Station de Pueblo Bello, Colombie. Evolution au cours de l'année du déficit hydrique décennaire (DH_{10}) dépassé une année sur deux (0,50) et une année sur quatre (0,75). (Culture pérenne, RU = 120 mm).

4. Le calage des cycles culturaux

Le choix de la meilleure date de semis pour une culture annuelle est l'un des problèmes importants qui se posent à l'agronome. Pour le résoudre on doit tenir compte des exigences de la culture et des contraintes climatiques. En zone intertropicale la pluviosité a une répartition généralement inégale (alternance saison sèche-saison des pluies), et constitue, de ce fait, un facteur déterminant et souvent limitant pour la réussite des cycles culturaux. Le choix de la meilleure date de semis s'effectue donc en principe sur la base d'un critère hydrique (2).

Le modèle de bilan hydrique présenté peut être utilisé pour résoudre ce problème. En effet, on peut se servir du déficit hydrique cumulé sur la durée totale du cycle ou seulement sur une phase sensible (stade critique) vis-à-vis de l'eau, comme indice de succès pour la culture : plus celui-ci est faible, plus les conditions d'alimentation en eau sont bonnes et donc plus les chances de succès sont grandes. Pour chaque date de semis considérée on calculera un déficit hydrique cumulé moyen DHC (la moyenne portant sur le nombre d'années que comporte l'échantillon) et l'on retiendra la date qui minimise la valeur de DHC.

Nous allons prendre l'exemple de la pomme de terre sur l'altiplano bolivien. Sur l'altiplano bolivien la saison des pluies s'étend approximativement d'octobre à mai. Les sols sont pauvres avec une faible réserve utile. La pomme de terre, qui représente l'une des cultures essentielles, a une durée de cycle d'environ 180 jours et se plante au début de la saison des pluies. La station choisie pour illustrer la méthode est celle de El Alto (aéroport de La Paz) avec vingt années d'enregistrement des précipitations. La pomme de terre est une culture qui demande de l'eau à peu près à toutes les époques de sa végétation. Il lui faut des pluies régulières, bien réparties, sans période de sécheresse. Nous allons donc utiliser un déficit hydrique cumulé sur toute la période de végétation (de JS à JR). La Figure 3 montre l'évolution de la valeur du DHC en fonction de la date de semis, le pas de temps étant de cinq jours. On voit clairement que la date optimale se situe aux alentours du 300^{ème} jour de l'année, c'est-à-dire de la dernière semaine d'octobre.

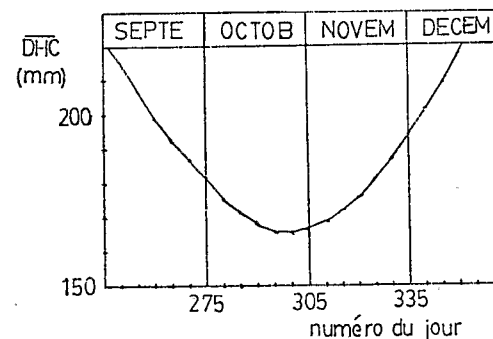


Figure 3 - Station de El Alto, Bolivie. Cas de la pomme de terre.
Evolution du déficit hydrique moyen cumulé sur la durée du cycle DHC, en fonction de la date de semis repérée par le numéro du jour de l'année.

CONCLUSION

Le modèle de bilan hydrique que nous venons de présenter se veut simple et de programmation facile pour pouvoir aisément se substituer, dans les analyses agroclimatologiques, au bilan potentiel Pluie - ETP. Les données climatiques nécessaires sont les mêmes : précipitations journalières et valeurs moyennes de l'évapotranspiration potentielle mensuelle. Seuls interviennent en plus quelques paramètres caractéristiques du sol et de la culture considérés qui augmentent son caractère spécifique. Le modèle présenté se veut simplement un outil d'analyse pratique et mieux adapté à la réalité agronomique que le bilan Pluie - ETP.

LISTE DES SYMBOLES

CR	capacité de rétention du sol
DH	déficit hydrique
DHC	déficit hydrique cumulé
DR	drainage
ETP	évapotranspiration potentielle
ETM	évapotranspiration maximale
ETR	évapotranspiration réelle
JS	date de semis
JC	date de recouvrement du sol par la végétation
JR	date de récolte
P	précipitation
PE	pluie efficace
RH	réserve hydrique du sol
RU _x	réserve utile maximale
RU	réserve utile
RFU	réserve facilement utilisable
RDU	réserve difficilement utilisable : $RDU = RU - RFU$
j	indice se rapportant au jour ayant le numéro j

ANNEXE

SBH

```

SUBROUTINE SBH(PJ,EPM,IJ,JS,JC,JR,RUX,C1,C2,QJ,IN)
PN = 3.
CO = .5
CRHO = .5
DIMENSION PJ(30,366),QJ(30,366),RU(366)
DIMENSION EPM(12),EPJ(366),EMJ(366)
INTEGER*2 PJ,QJ
C1  CALCUL DE L'ETM ET DE LA RU JOURNALIERES
    CALL AAA(EPM,EPJ)
    IF(JR - JS) 10,5,10
C11 CAS D'UNE CULTURE PERENNE
    5 DØ 6 J = 1,365
      RU(J) = RUX
    6 EMJ(J) = EPJ(J)
      GO TO 50
C12 CAS D'UNE CULTURE ANNUELLE
    10 L1 = JR - JS
      L2 = JC - JS
      DSR = FLOAT(L1)
      DSC = FLOAT(L2)
      IF(L1.LT.0) DSR = DSR + 365.
      IF(L2.LT.0) DSC = DSC + 365.
      DØ 40 J = 1,365
        EMJ(J) = CØ*EPJ(J)
        RU(J) = C1*RUX
        L3 = J - JS
        DSJ = FLOAT(L3)
        IF(L3.LT.0) DSJ = DSJ + 365.
        IF(L1) 20,15,15
C121 CAS DE FIGURE 1
    15 IF(J.GT.JS.AND.J.LE.JR) RU(J) = RUX*FO(C1,DSJ,DSR)
      IF(J.GT.JS.AND.J.LT.JC) EMJ(J) = EPJ(J)*FO(CØ,DSJ,DSC)
      IF(J.GE.JC.AND.J.LE.JR) EMJ(J) = EPJ(J)
      GO TØ 40
C122 CAS DE FIGURE 2 ET 3
    20 IF(J.GT.JS.ØR.J.LE.JR) RU(J) = RUX*FO(C1,DSJ,DSR)
      IF(L2)30,30,25
    25 IF(J.GT.JS.AND.J.LT.JC) EMJ(J) = EPJ(J)*FO(CØ,DSJ,DSC)
      IF(J.GE.JC.ØR.J.LE.JR) EMJ(J) = EPJ(J)
      GO TØ 40
    30 IF(J.GT.JS.ØR.J.LT.JC) EMJ(J) = EPJ(J)*FO(CØ,DSJ,DSC)
      IF(J.GE.JC.AND.J.LE.JR) EMJ(J) = EPJ(J)
    40 CØNTINUE
C2  CALCUL DU BILAN HYDRIQUE
    50 RH = RU(1)*CRHO
      JR1 = JR + 1
      DØ 80 I = 1,IJ
      DØ 80 J = 1,365

```

```

C21 EQUATION DU BILAN HYDRIQUE
  IF(JR.NE.JS.AND.J.EQ.JR1) RH = RH*C1
  PR = PJ(I,J)*.1
  ETM = EMJ(J)
  RDU = RU(J)*(1.-C2)
  CR = RU(J) - RH
  IF(CR.LT.0.) CR = 0.
  PE = PR
  DR = 0.
  IF(PR.LT.PN) PE = 0.
  IF(PR.GT.CR) DR = PR - CR
  IF(RH.GE.RDU) ETR = ETM
  IF(RH.LT.RDU.AND.ETM.LE.RDU) ETR = ETM*RH/RDU
  IF(RH.LT.RDU.AND.ETM.GT.RDU) ETR = RH
  RH = RH + PE - ETR - DR
  DH = ETM - ETR
C22 CHOIX DE LA MATRICE DE SORTIE
  IF(IN.EQ.1) QJ(I,J) = INT(RH/.1)
  IF(IN.EQ.2) QJ(I,J) = INT(DH/.1)
  IF(IN.EQ.3) QJ(I,J) = INT(DR/.1)
80 CONTINUE
  RETURN
  END

  SUBROUTINE AAA(EPM,EPJ)
  DIMENSION EPM(12),EPJ(366),LX(12),LY(12)
  DATA LX/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
  DATA LY/0,31,59,90,120,151,181,212,243,273,304,334/
  DO 10 K = 1,12
  L1 = LX(K)
  L2 = LY(K)
  DO 10 L = 1,L1
  LL = L2 + L
10 EPJ(LL) = EPM(K)
  RETURN
  END

  FUNCTION FO(A,X,Y)
  FO = A + (1 - A)*X/Y
  RETURN
  END

```

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FRANQUIN P. et FOREST F., 1977. Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. *Agronomie Tropicale*, XXXII-1, 7-11.
- LHOMME J.P. et MONTENY B., 1981. Une méthode d'analyse agroclimatique pour le calage des cycles culturaux en zone inter-tropicale. *Agronomie Tropicale*, XXXVI-4, 334-338.