USTL

Université des Sciences et Techniques

du Languedoc Roussillon

ORSTOM
Institut Français de
Recherche Scientifique pour
le Développement en Coopération

CNRS
Centre National
de Recherche Scientifique

DEA National d'hydrologie

Gestion et valorisation de l'eau

MESURE ET SIMULATION DU BILAN HYDRIQUE D'UN ECOSYSTEME A CHENE VERT

SPATIALISATION A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DE LA PEYNE

JOSE TEIXEIRA FILHO

Présenté le 28 Septembre 1992 à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc Roussillon devant le jury :

Pr. C. Bocquillon
MM. A. Delacourt
G. Jaccon
S. Rambal

USTL

Université des Sciences et Techniques

du Languedoc Roussillon

ORSTOM
Institut Français de
Recherche Scientifique pour
le Développement en Coopération

CNRS
Centre National
de Recherche Scientifique

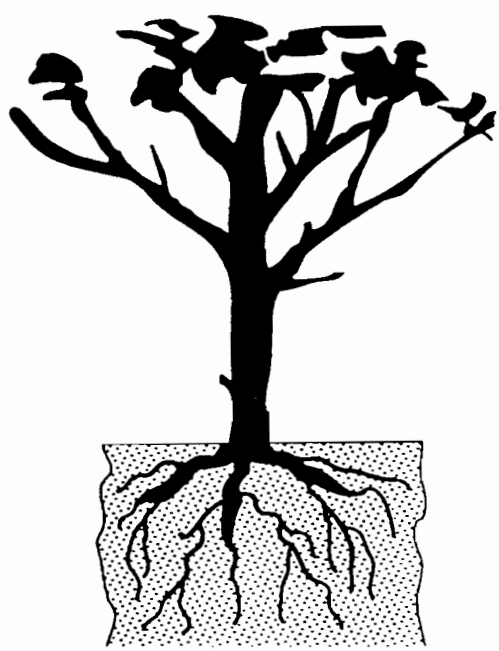
DEA National d'hydrologie

Gestion et valorisation de l'eau

MESURE ET SIMULATION DU BILAN HYDRIQUE D'UN ECOSYSTEME A CHENE VERT

SPATIALISATION A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DE LA PEYNE

JOSE TEIXEIRA FILHO



Présenté le 28 Septembre 1992 à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc Roussillon devant le jury :

Pr. **C. Bocquillon**
MM. **A. Delacourt**
G. Jaccon
S. Rambal

à

José et Helena (mes parents)

Clesilda, Helena, Eduardo

Adriana, Juliana, Fabiana

et **Dener**

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de DEA a été réalisé dans le cadre du DEA National d'Hydrologie, Sciences de l'Eau et Aménagement, filière Gestion et Valorisation de l'Eau, dirigée par le Professeur C. Bocquillon, Directeur du Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, qu'il en soit remercié.

Mes remerciements s'adressent également à M. S. Rambal, Ingénieur de Recherche au CNRS de Montpellier qui m'a proposé le sujet de ce travail et en a suivi la réalisation.

Je remercie aussi M. G. Jaccon, à l'époque Directeur du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, et M. M. Morell qui lui a succedé à ce poste en janvier 1992 pour m'avoir accueilli dans leur Laboratoire et procuré les moyens nécessaires pour la réalisation pratique de ce mémoire. Je remercie également M. A Delacourt, qui a eu l'amabilité d'accepter d'être membre de mon jury.

J'exprime particulièrement ma gratitude au Pr. José Pereira Queiroz Neto et Sidneide Manfredine pour toute l'attention, les encouragements et le soutien de ma candidature auprès de la CAPES (Coordenaçao de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior)/COFECUB (Comité Français d'Evaluation de la Coopération Universitaire avec le Brésil), pour l'obtention d'une bourse d'études.

Je tiens à remercier la CAPES pour m'avoir accordé cette bourse et m'avoir donné aussi l'opportunité de realiser mes études en France.

Je remercie aussi tout le personnel du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, notamment: Jean-François Boyer, Jean-Pierre Debuiche, Claudine Dieulin-Picart, Hélène Lubes, Eugénio Rabbia, Patrick Raous, Nathalie Rouche et Marc Suavin, qui m'ont beaucoup aidé dans mon travail.

Je pense aussi à Nathalie Pinault stagiaire du CNRS, Aïcha Benbouali, Gilles Boyer et Razafimanjato Lala Louis, stagiaires au laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM, Pascal Augier et Christel Prudhomme collègues de l'Université.

José Teixeira Filho
09 - 1992

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION 1

2 - ESTIMATION DE LA TRANSPIRATION DES VEGETAUX 5
2.1 - MESURE DE LA TRANSPIRATION 5
2.2 - METHODE DE TRANSFERT D'EAU DANS LE TRONC 5
2.2.1 - METHODE D'UNE SOURCE CHAUFFANTE CONSTANTE ET CONTINUE 6
2.3 - EVALUATION DE LA TRANSPIRATION D'UN ELEMENT VEGETAL LE CAS DU CHENE VERT 10
2.3.1 - HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR 10
2.3.2 - TEMPERATURE DE L'AIR 13
2.3.3 - RAYONNEMENT GLOBAL 14
2.3.4 - PRECIPITATIONS 14
2.3.5 - TRANSPIRATION 16
- Caractéristiques du terrain 16
- Chêne vert 16
- Sondes Granier 16
- Acquisition des données 17
- Evapotranspiration potentielle - ETP 17
- Vitesse de sève brute 17
- Surface du bois d'aubier 18
- Flux de sève 18
- La relation entre transpiration et rayonnement solaire 20
- La relation entre transpiration et l'évapotranspiration potentielle 20
2.3.6 - DISCUSSION 21
- les sondes GRANIER 21
- le flux de sève 21
- la transpiration 22

3 - LA MODELISATION DE LA TRANSPIRATION 25
3.1 - MODELE QUERCUS (RAMBAL, 1991) 25
a) Atmosphère 26
- potentiel d'évaporation 26

- radiation solaire..... 27
- durée d'insolation..... 27
- température d'air 27
b) Atmosphère-Plante-Sol..... 27
- évaporation journalière du sol 28
- potentiel hydrique du couvert végétal, conductance stomatique et transpiration..... 28
- transpiration..... 29
- extraction racinaire et transport vers les feuilles. 30
c) Bilan hydrique dans le sol..... 31
3.2 - APPLICATION DU MODELE QUERCUS..... 33
3.2.1 - DONNEES D'ENTREE DU MODELE..... 33
- rayonnement global..... 33
- précipitation..... 33
- température..... 33
- sol..... 33
3.2.2 - DONNEES POUR LA CALIBRATION..... 37
3.2.3 - CALIBRATION DU MODELE..... 37
3.3 - DISCUSSION..... 38

4 - SPATIALISATION HYDROLOGIQUE - EVAPOTRANSPIRATION..... 42
4.1 - INTRODUCTION..... 42
- transfert d'échelle..... 42
- évapotranspiration - transfert d'échelle..... 42
- énergie solaire..... 43
4.2 - VARIATION DE LA QUANTITE DE RAYONNEMENT SOLAIRE.... 43
ARRIVANT AU SOL..... 43
a) FACTEURS ASTRONOMIQUES..... 43
b) FACTEURS ATMOSPHERIQUES..... 44
c) FACTEURS GEOGRAPHIQUES..... 44
- Pente..... 44
- orientation..... 45
- pente et orientation..... 47
4.3 - FORMULE GENERALE POUR LE CALCUL DE LA POSITION DU SOLEIL..... 47
- terrain plat..... 47
- terrain incliné..... 49
- terrain incliné et orienté..... 49

- modèle QUERCUS 49
4.4 - APPLICATION DU MODELE QUERCUS SUR UN BASSIN VERSANT 51
4.4.1 - LE BASSIN VERSANT 51
4.4.2 - DISCRETISATION SPATIALE EN FONCTION DE LA PENTE ET DE L'ORIENTATION DES SURFACES DU BASSIN 51
4.4.3 - DONNEES 55
- précipitation 55
- débits 55
- sol 55
- rayonnement global 56
- température 56
4.4.4 - CALIBRATION DU MODELE 56
a) bassin plan horizontal 57
- discussion - bassin horizontal et les trois découpages 61
b) bassin plan incliné 63
- discussion bassin plan incliné 65
c) bassin deux plans inclinés 65
- discussion - bassin deux plans inclinés 67
4.5 - DISCUSSION 67

5 - CONCLUSION 69

BIBLIOGRAPHIE 71

ANNEXE A - METHODE DE MESURE DE LA TRANSPIRATION 79
a) Méthodes de pesées successives 79
b) Méthode du bilan hydrique 79
c) Technique des enceintes 80
d) Mesure de transfert d'eau dans le tronc 80
d.1) Utilisation d'un traceur 80
d.2) Utilisation du potentiel électrique 80
d.3) Méthode thermoélectrique 81
d.3.1) La méthode d'onde de chaleur 81
d.3.2) Méthode du bilan de chaleur 81
d.3.3) Méthode d'une source chauffante constante et continue 82

ANNEXE B - VARIATION DE LA QUANTITE DE RAYONNEMENT SOLAIRE ARRIVANT AU SOL FACTEURS ASTRONOMIQUES 83
- au cours de la journée 84
- au cours de l'année 87
- la durée du jour 89

ANNEXE C 91

ANNEXE D 129

ANNEXE E 139

ANNEXE F 167

LISTE DES FIGURES 183

LISTE DES TABLEAUX 190

1 - INTRODUCTION

Le cycle de l'eau constitue un aspect fondamental du système sol-plante-atmosphère. L'eau conditionne les processus de croissance des végétaux quelque soit le stade de leur développement. L'eau est en effet un facteur déterminant des fonctions métaboliques et de la régulation thermique de la plante.

Les transferts d'eau du système sol-plante à l'atmosphère peuvent s'effectuer selon deux processus: évaporation directe de l'eau du sol, évaporation d'eau par la transpiration des végétaux. Les deux processus se produisent de façon simultanée et il est difficile de les distinguer. C'est la raison pour laquelle ils ont été regroupés sous le terme d'évapotranspiration.

L'évapotranspiration englobe les phénomènes de transfert de vapeur d'eau de la surface du sol vers l'atmosphère et de transpiration des végétaux à travers les stomates des feuilles.

Lorsque la disponibilité en eau du sol n'est pas limitante, et si l'on suppose qu'aucune résistance ne s'oppose aux transferts d'eau, le flux d'évaporation tend vers une valeur potentielle dite évapotranspiration potentielle (ETP).

Cette condition caractérise la demande en eau exercée par le climat. Elle est fonction des conditions météorologiques (rayonnement solaire, température, humidité de l'air, vitesse et turbulence du vent...) et de la nature de la surface évaporante.

Pour évaluer l'évapotranspiration potentielle, on a besoin de préciser à quelle échelle spatio-temporelle on travaille. Quand on considère l'échelle mésoclimatique (bassin versant par exemple), l'ETP est conditionnée par le bilan énergétique général (AUSSENAC, 1970).

A l'échelle microclimatique (échelle de l'écosystème végétal), l'ETP est conditionnée par l'hétérogénéité de la couverture végétale et les apports latéraux d'énergie. Les apports d'énergie par advection peuvent varier considérablement d'un point à un autre. Ces variations peuvent être très importantes, par exemple, dans les peuplements

forestiers. Si un peuplement forestier se trouve à proximité d'une zone agricole qui présente une évapotranspiration élevée, les échanges de l'énergie entre les deux zones sera d'autant plus importante que les peuplements auront une hauteur plus élevée. Donc, en fonction de la caractéristique atmosphérique du milieu, la couverture végétale peut répondre d'une façon différente (AUSSENAC, 1970).

Lorsque la disponibilité d'eau, dans le milieu, est inférieure à la demande exercée par le climat sur la végétation, l'évapotranspiration n'est plus à son niveau potentiel, mais à un taux moindre qui définit l'évapotranspiration réelle. La moindre disponibilité d'eau dans le sol provoque un contrôle de l'ouverture des stomates des feuilles, ce qui permet au végétal de limiter sa perte en eau.

Le phénomène de transpiration pour un élément végétal peut être schématisé de la façon suivante:

- circulation de l'eau dans le sol vers les racines;
- pénétration de l'eau dans les racines;
- circulation de l'eau dans l'arbre des racines aux feuilles;
- sortie de l'eau à travers les stomates sous forme de vapeur dans l'atmosphère.

A tous les niveaux de la transpiration, le transfert d'eau peut être freiné par les caractéristiques physiques du milieu, qu'on peut appeler facteurs de résistance à la diffusion d'eau. La résistance à la diffusion due au sol dépend de la distance que l'eau doit parcourir pour arriver aux racines (de l'importance et type de l'enracinement), de l'humidité du sol et du type du sol.

La résistance à la diffusion de l'eau dans l'atmosphère due aux feuilles est considérable, et globalement elle est proportionnelle à la résistance stomatique et inversement proportionnelle à la surface foliaire.

Les caractéristiques climatiques (importance du pouvoir d'évaporation de l'air), les caractéristiques de la végétation (enracinement, structure) et les caractéristiques physiques du sol (type, l'humidité,...) vont intervenir dans les processus

d'évapotranspiration et vont donner des combinaisons très variées. Donc, la comparaison de l'influence de différentes essences sur le bilan hydrique doit être faite avec précaution (MUSY et SOUTTER, 1991).

Les changements climatiques prévus pour le début du XXI^{ème} siècle entraîneront des modifications importantes dans le paysage. Les modèles atmosphériques macroclimatiques prévoient une variation de la température globale entre 1°C et 4°C. Ce réchauffement imposera un changement sur la demande en eau par évaporation, mais aussi sur la physiologie des espèces végétales (RAMBAL, 1991). Les conséquences sur le régime hydrique seront fonction des apports des précipitations et des pertes par l'évaporation du sol et surtout par la transpiration des couverts végétaux.

La mesure de la transpiration est, en général, réalisée sur de petites surfaces, elle ne caractérise donc que les conditions de transpiration d'un point ou de quelques mètres carrés seulement. Certains auteurs ont estimé la transpiration pour un végétal donné (DECKER et al, 1962; SWANSON et LEE, 1966; KLINE et al, 1970; OWSTON et al, 1972; SWANSON, 1972; LASSOIE et al, 1984; MILLER et al, 1980; COHEN,1981; HUMPRIES et GRIFFORD, 1984; GRANIER, 1985 et 1986; SAKURATANI et ABE, 1985; ESEKO, 1987; ZOUHAIER,1989).

Le problème de la représentativité de la mesure sur une grande surface se pose. La transpiration est un phénomène transitoire qui se superpose aux changements rapides des facteurs physiques ou biologiques. Certains auteurs ont étudié la question sur la variation spatiale des facteurs physiques (LEE et BAUMGARTNER, 1966; GUEYMARD, 1975; YASUO, 1992).

Nous avons essayé d'évaluer le fonctionnement local de l'écosystème et de le modéliser à d'une part l'échelle locale, et d'autre part à celle d'un bassin versant.

Au niveau local, nous avons utilisé les méthodes du flux de sève pour évaluer la transpiration d'un élément végétal, chêne vert, avec un pas de temps de 30 minutes. Nous avons ensuite modélisé la transpiration de l'écosystème, utilisant le modèle QUERCUS (RAMBAL, 1990).

Au niveau du bassin versant, nous avons utilisé le modèle QUERCUS pour évaluer l'évapotranspiration déduite du comportement hydrologique du bassin versant de la Peyne.

2 - ESTIMATION DE LA TRANSPIRATION DES VEGETAUX

2.1 - MESURE DE LA TRANSPIRATION

La transpiration est la perte d'eau des végétaux vers l'atmosphère sous forme de vapeur. Cette perte est causée par un gradient de potentiel hydrique entre la surface d'évaporation et la couche d'air adjacente. Elle est régulée par des processus physiques (facteurs climatologiques) et biologiques des végétaux. Elle entraîne un mouvement d'eau à l'intérieur de la plante, des racines vers les feuilles. La transpiration fournit un refroidissement des tissus du végétal. Elle a donc une fonction vitale dans la régulation thermique des tissus.

Une plante annuelle peut évaporer plus de 100 fois son poids d'eau durant sa vie (ZOUHAIER, 1989). Dans le Sud-Ouest de la France, un pommier arrive à transpirer pendant les mois d'été à peu près 45% des précipitations annuelles de la région, ce qui montre l'importance quantitative de la transpiration (ZOUHAIER, 1989). La quantité d'eau utilisée dans les métabolismes de la croissance varie de 1% à 5% selon l'espèce, c'est une quantité très faible en regard de la perte par transpiration (ZOUHAIER, 1989).

Diverses méthodes ont été développées pour mesurer la transpiration des végétaux (SWANSON et LEE,1966). Certaines sont opérationnelles et largement utilisées pour évaluer les pertes par transpiration ou les besoins en eau des cultures continues. Il existe beaucoup de méthodes: méthode de pesées successives, méthode du bilan hydrique, technique des enceintes, méthode de transfert d'eau dans le tronc. Ces méthodes sont détaillées en annexe.

2.2 - METHODE DE TRANSFERT D'EAU DANS LE TRONC

La forte capacité calorifique de la sève par rapport à la capacité de l'air et du bois humide est le principe de base de la méthode, qui analyse les perturbations entraînées par la

propagation d'une onde de chaleur sur le mouvement de la sève, dans le tronc. Elle prend en compte deux phénomènes:
- la convection dans la sève
- la conduction dans le bois et la sève.

Cette technique de mesure de flux a d'abord été développée pour étudier le flux sanguin humain (HUBER 1932). HUBER et SCHMIDT (1937) l'ont adaptée pour les végétaux. La plupart des travaux qui utilisent la méthode thermoélectrique ont été développés par CLOSS (1958) et MARSHALL (1958).

La thermoélectricité a été utilisée dans plusieurs buts. Certains auteurs ont estimé les effets de la variabilité du climat sur le flux d'eau dans les végétaux (GIFFORD, 1968; SHAW et GIFFORD, 1975; BALEK et PAVLIKO,1977); d'autres ont cherché à déterminer le flux de sève et à le corréler avec la transpiration (SWANSON, 1972; LASSOIE et al, 1977; MILLER et al, 1980; COHEN, 1981; HUMPRIES et GIFFORD, 1984; GRANIER, 1985 et 1986).

Cette technique peut être classée en trois catégories:
- l'étude de la vitesse de transfert d'une onde de chaleur,
- l'observation de la température au niveau d'une source de chaleur continue,
- l'analyse du bilan thermique.

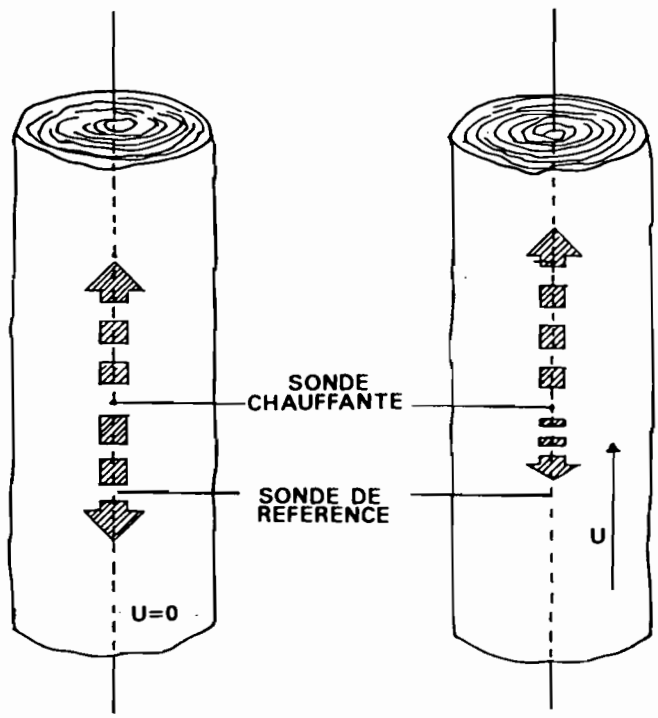
Les méthodes de l'onde de chaleur et du bilan thermique sont détaillées en annexe.

2.2.1 - METHODE D'UNE SOURCE CHAUFFANTE CONSTANTE ET CONTINUE

Plusieurs auteurs ont utilisé cette méthode. On citera le schéma de GRANIER (1985) qui a développé un capteur thermique avec deux sondes insérées radialement dans le bois du tronc. Une sonde est chauffée à puissance constante et l'autre donne la référence de température (figure 2.1).

La vitesse du flux de sève brute est corrélée avec la transpiration (LAGEFOGED, 1960; SWANSON et LEE, 1966; MILLER et al, 1980; HUMPRIES et GIFFORD, 1984). Cette méthode est de faible coût et sa sensibilité permet la mesure quantitative de

la transpiration et de sa variabilité dans le milieu forestier.



a) sans flux de sève

b) avec flux de sève

figure 2.1

Schéma de principe de la technique de GRANIER

En condition de régime thermique permanent établi, entre l'élément chauffant et le milieu (bois+sève), avec un flux de sève constant, l'apport de chaleur par effet JOULE est supposé égal à la quantité de chaleur dissipée par le capteur; on peut donc écrire:

$$C_h.S.(T-T_a) = R.i_c^2 \qquad (2.1)$$

où

C_h - coefficient de transfert de la chaleur (W.m2.°C-1)

S - aire de la surface d'échange (m2)

T - température de la sonde (°C)
T_a - température du bois en l'absence de chauffage (°C)
R - résistance électrique (W)
i_c - intensité du courant électrique (A)

Cette méthode considère que le coefficient de transfert de chaleur (C_h) est une fonction du débit de sève brute (u) de la forme:

$$C_h = C_{h0}.(1 + C_0.u) \qquad (2.2)$$

où:
C_{h0} - coefficient de transfert de chaleur lorsque u=0, transpiration nulle (figure 1).
C_0 - coefficient de calcul.
u- débit de sève brute (m/s).

L'équation 2.1 permet de calculer le coefficient de transfert de chaleur lorsque u=0:

$$C_{h0} = \frac{R \,.\, i_c^2}{S.(T_M - T_a)} \qquad (2.3)$$

où:
T_M - température de la sonde à flux de sève nul (u=0)

Lorsque le débit de la sève est constant et non nul, on peut écrire le débit pour l'équation 2.2 et utilisant les équations 2.1 et 2.3:

$$u = \frac{1}{C_0} \,.\, \frac{T_M - T}{T - T_a} \qquad (2.4)$$

Le rapport des températures s'écrit:

$$K = \frac{T_M - T}{T - T_a} = \frac{\Delta T_M - \Delta T_u}{\Delta T_u} \qquad (2.5)$$

où:

$\Delta T_M = T_M - T_a$

$\Delta T_u = T - T_a$

La connaissance de K dépend de celle de T_M. Cette température d'équilibre à flux de sève nul peut être mesurée la nuit quand l'humidité de l'air est proche de la saturation. En l'absence de flux de sève, un écart de température ΔT_M maximum s'établit entre les deux sondes. S'il existe un flux de sève, une partie de la chaleur dégagée par l'élément chauffant est évacuée par convection, et l'écart de température s'établit à une valeur ΔT_u qui est fonction du flux de sève.

$$u = \frac{1}{C_a} \cdot K \qquad (2.6)$$

GRANIER (1985) a travaillé sur trois essences différentes (Douglas, pin noir et chêne pédonculé) pour déterminer une relation entre K et u, indépendante du type de bois étudié. Il a utilisé un ajustement non linéaire, qui l'a conduit à la relation expérimentale suivante:

$$K = 0.0206 \cdot u^{0.8124} \qquad (2.7)$$

où:

u est exprimé en 10^{-6} m/s.

Cependant, quand on observe les flux de sève à différentes hauteurs, on s'aperçoit qu'ils sont différents (GRANIER, 1987). On constate également que les conditions de transfert hydrique dans le tronc ne correspondent pas à un régime de flux conservatif (réservoir-tronc).

Du point de vue des transferts d'eau, deux phases doivent être distinguées:

- un dessèchement qui fait apparaître un écart de flux entre différentes hauteurs mesurées (GRANIER, 1987) et qui correspond à une diminution du réservoir-tronc.

- une réhydratation qui met en évidence deux processus:

. une réponse rapide de l'arbre, qui débute quelques minutes après le début de l'apport d'eau; c'est la recharge partielle des tissus. Cela provoque une montée rapide de sève brute dans le tronc, après une diminution lente au cours de la journée. Ce réservoir est sollicité tout au long de la journée en fonction de la demande climatique.

. une réponse de l'arbre à long terme, qui correspond à la réhydratation progressive du bois du tronc. Ce réservoir est composé de la plus grande part de la quantité d'eau échangeable et constitué par le bois du tronc, les branches et les grosses racines.

2.3 - EVALUATION DE LA TRANSPIRATION D'UN ELEMENT VEGETAL LE CAS DU CHENE VERT

Pour évaluer la quantité d'eau transpirée par un végétal, on a utilisé les resultats des mesures effectuées sur une plantation de chênes verts du terrain expérimental du Camp Redon (CNRS Montpellier). Le peuplement a été planté en octobre 1963. Le climat est de type méditerranéen et pour le caractériser, on a mesuré les paramètres climatiques suivants: humidité relative et température de l'air, rayonnement solaire et précipitation. Les mesures ont été faites toutes les 30 minutes pendant la période d'avril/89 à décembre/90.

2.3.1 - HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR

L'humidité relative de l'air est le rapport entre la tension de vapeur d'eau réelle et la saturation dans l'air à la même température:

$$H_R = 100 \frac{e_r}{e_w} \qquad (2.8)$$

L'humidité a été mesurée par un capteur d'humidité à effet capacitif, type SKH103 Campbell Scientific. Durant la période de mesure le capteur a été changé une fois (le 10/04/90), pour cause de mauvais fonctionnement (nombreuses valeurs supérieures à 100%). Donc, on a divisé la période d'observations en deux: la première entre le 30/06/89 et le 10/04/90, la seconde entre le 10/04/90 et le 09/12/90.

Lorsqu'on observe les données des deux périodes, on peut vérifier un décalage des valeurs de l'humidité. La figure C1 montre les valeurs maximales journalières de la première période et la moyenne mobile sur 7 jours. On peut observer une augmentation progressive des valeurs maximales.

Pour faire la correction des valeurs mesurées durant la période, on a établi la figure C2 des valeurs maximales journalières de plus de 100% de l'humidité relative. On a divisé la période en trois sous-périodes et on a admis pour chacune d'elles une augmentation linéaire des valeurs des humidités de saturation (100%). On a supposé, aussi, un accroissement non linéaire des corrections des valeurs journalières, les écarts étant plus importants dans les valeurs faibles que dans les valeurs élevées. La fonction choisie est:

$$H_E = a(t) . H_V^{b(t)} \qquad (2.9)$$

où:

H_E - humidité relative observée.

H_V - humidité relative corrigée.

a(t) - fonction linéaire du temps.

$$a(t) = aa.t \qquad (2.10)$$

t - temps en jours.

La valeur de aa est déterminée à partir des observations journalières.

b(t) - un exposant, qu'on a supposé croissant linéaire avec le temps.

$$b(t) = (bb/Ij).t \qquad (2.11)$$

Ij - Intervalle de temps de la première période en jours.

La valeur de bb est déterminée par les observations du 10/04/90, jour du changement de capteur. Avant le changement du capteur, on a enregistré 66% d'humidité relative et la vraie valeur était 47%. Le même jour, la valeur de l'humidité de saturation calculée par l'équation III a été de 144.9% (figure C2).

Dans des conditions de saturation maximale (au-dessus de 97%), le capteur ne peut donner des valeurs correctes, en raison de la condensation d'eau sur le capteur (Campbell Scientific Ltd). On a donc admis qu'une humidité relative de 97% correspondait à la saturation. De cette manière, on a calculé la valeur de bb, par l'équation 2.11, avec les données du 10/04/90: on a trouvé bb=1.072, avec Ij=307 jours.

Pour la correction à appliquer à la seconde période (10/04/90 à 09/12/90) on a utilisé la même méthode (figure C3), en considérant la période globalement.

Après la correction des valeurs, on a fait une étude de la distribution de l'humidité relative maximale et minimale dans la journée (figure C4). Dans la distribution des humidités maximales, on peut observer deux maximums, l'un vers 7:00 du matin, l'autre vers 23:00. L'humidité est minimale entre 13 et 17 heures (figure C4). Le troisième graphique montre la variation journalière des humidités maximales (en noir) et minimale (en gris).

Pour vérifier la répartition de l'humidité relative maximale et minimale dans la saison, on a fait les figures C5, C6, C7 et C8. On peut observer que le maximum d'humidité se produit le matin au printemps et en été, en soirée en automne et en hiver.

Pour l'humidité relative minimale, on observe un moindre étalement de la distribution en automne et en hiver, l'heure la plus fréquente toute l'année étant 16 heures.

2.3.2 - TEMPERATURE DE L'AIR

La température de l'air présente de continuelles variations sous l'influence des autres paramètres climatiques et plus précisément de l'intensité du rayonnement solaire, qui règle les cycles périodiques à l'échelle quotidienne et à l'échelle annuelle. Il existe un grand nombre de phénomènes qui peuvent perturber les variations de la température, notamment les passages nuageux, les orages, les tempêtes de neige et autres. La figure C9 montre la distribution de la température maximale et minimale au cours de la journée. On peut observer que les températures minimales se trouvent, généralement, au début du jour entre 4 et 7 heures. Les températures maximales se situent entre 14 et 17 heures, plutôt, vers 15 heures.

La figure C10 montre les distributions comparées des valeurs maximales et minimales d'humidité et de température. On peut observer que:

- les formes des distribution sont très proches si l'on compare les valeurs minimales d'un paramètre aux valeurs maximales de l'autre;
- un moindre étalement du diagramme des températures maximales, bien centré sur 15 heures;
- une divergence entre les températures minimales plus fréquentes le matin (vers 6 heures) que le soir , à l'inverse des humidités plus fréquentes en fin de la journée (entre 23:00 et minuit) que le matin.

La représentation mathématique du comportement périodique de la température à l'échelle journalière est une approximation sinusoïdale. Pour simuler le comportement de la température journalière, on a calculé pour toute la période de mesures, la température par une fonction sinusoïdale dont le maximum à été calé à 15:00 et le minimum au lever du Soleil, figures C9 et C10.

Les coefficients de corrélation, entre valeurs observées et valeurs calculées (toutes les 30 minutes), varient entre 0.70 à 0.90 pour les différents mois. Ces coefficients de corrélation peuvent être considérés comme bons, étant donné le grand nombre de facteurs climatiques qui influencent la

distribution de la température à l'échelle journalière. Les figures C11 à C15 montrent pour chaque mois la relation entre les températures observées et calculées.

2.3.3 - RAYONNEMENT GLOBAL

Lorsqu'on a analysé les données de rayonnement global du Camp Redon entre 1989/90, on a vérifié qu'il existe quelques jours sans mesures. Pour compléter la série des données, on a effectué une corrélation entre les données journalières de Camp Redon et les données journalières de INRA-STEFCE (Montpellier), pour les années 1989/90. On a obtenu un coefficient de détermination de 0.9908 (figure C16). Cette corrélation a permis de compléter toute la série de Camp Redon.

2.3.4 - PRECIPITATIONS

Les précipitations journalières ont été mesurées à Camp Redon durant la période 1989/90. Ces valeurs ont permis de calculer les totaux pluviométriques mensuels et annuels (tableau 2.1). Sur le même tableau, on a porté les moyennes pluviométriques mensuelles et annuelles observées à l'ENSAM de Montpellier, entre 1951 et 1980. Pour une meilleure évaluation de la tendance de la période mesurée, au Camp Redon, on a calculé la différence en pourcentage entre les totaux observés au Camp Redon et les moyennes 1951/1980 à l'ENSAM.

On peut remarquer, dans le tableau C1, que les précipitations au Camp Redon ont été, pour les deux années, inférieures de plus de 30% aux moyennes de la période 1951/1980.

Les années 1989 et 1990 sont donc globalement des années déficitaires. Mais la repartition mensuelle n'est pas homogène. On observe:

Tableau 2.1

Précipitation totale mensuelle et annuelle sur la Camp Redon (CNRS) et l'ENSA Montpellier.

	1989		1990		Moyennes
	Mesuré	Ecart à la moyen	Mesuré	Ecart à la moyen	1951/1980 à l'ENSAM
mois	A1 (mm)	A2 (%)	A3 (mm)	A4 (%)	A5 (mm)
JAN	33.3	-62	12.0	-86	87.4
FEV	14.0	-78	69.0	10	62.9
MAR	18.0	-79	15.0	-82	84.2
AVR	155.0	181	72.1	30	55.1
MAI	3.9	-93	46.9	-13	53.8
JUI	13.5	-68	18.3	-57	42.2
JUL	6.0	-77	27.0	2	26.5
AOU	22.0	-54	34.8	-28	48.2
SEP	104.3	39	47.2	-37	75.2
OCT	60.0	-57	139.2	0.2	138.9
NOV	91.1	33	25.8	-62	68.6
DEC	21.2	-72	62.0	-17	74.7
Année	542.3	-34	569.3	-30	818.0

A1 - précipitation totale mensuelle 1989.
A2 - différence entre la précipitation mensuelle de 1989 et la moyenne mensuelle de 1951 à 1980 (en %).
A3 - précipitation totale mensuelle 1990.
A4 - différence entre la précipitation mensuelle de 1990 et la moyenne mensuelle de 1951 à 1980 (en %).
A5 - moyennes mensuelle et annuelle de 1951 à 1980 à l'ENSAM.

- les forts déficit de l'hiver 1989 (-72%), de mai à août 1989 (-70%), de décembre 89/janvier 90. (-80%);

- le très fort excédent d'avril 1989: +181% qui est d'ailleurs le seul excédent net dans la période.

2.3.5 - TRANSPIRATION

Pour évaluer la quantité d'eau transpirée par un végétal, nous avons utilisé les mesures effectuées, pendant la même période, sur un chêne vert du terrain expérimental du Camp Redon, avec les sondes Granier.

- Caractéristiques du terrain

Dans le Camp Redon a été planté un peuplement de chênes verts, avec un écartement de 3,0 mètres entre les rangées et environ 1,5 mètres entre chaque arbre.

Le terrain est situé dans une dépression fermée avec une pente relativement faible. Dans l'horizon 0-50 cm, le sol est argilo-limoneux et il devient progressivement plus argileux en profondeur.

- Chêne vert

On a choisi, dans le peuplement de chêne vert, un arbre sans ramifications sur au moins les 50 premiers centimètres du tronc. C'est un critère important pour l'installation de sondes de flux de sève, afin de s'assurer que les lignes de flux de sève soient parallèles au tronc et donc perpendiculaires aux sections de mesures du débit de sève. Les principales caractéristiques de l'arbre choisi sont les suivantes:

- hauteur totale de l'arbre (cime): 540 cm.
- hauteur de la première ramification: 50 cm.
- diamètre au collet: 14.30 cm
- diamètre au niveau des sondes (à 40 cm du sol): 13.0 cm.

- Sondes Granier

Pour installer les sondes Granier, on a choisi un arbre le plus homogène possible. Sur cet arbre, à une hauteur d'environ 40 cm du sol, on a fait un trou de 2 mm de diamètre sur 20 mm

de longueur, qui a reçu la sonde froide (sonde de référence). Un deuxième trou a été réalisé 10 cm plus haut, de même dimension que le premier, dans lequel on a placé une sonde chaude. Dans chaque trou est insérée une gaine (petit cylindre d'aluminium), au travers de laquelle est installée la sonde. Ceci permet un contact maximal entre la sonde et le bois et de récupérer la sonde en fin d'expérience. L'ouverture du trou a été colmatée avec du mastic et, pour une bonne isolation thermique, la partie extérieure des sondes a été recouverte par un cache en polystyrène.

- Acquisition des données

Une centrale d'acquisition de données (Campbell CR21) a enregistré automatiquement les différences de température entre les deux sondes toutes les 30 minutes.

- Evapotranspiration potentielle - ETP

Lorsque les végétaux peuvent puiser l'eau sans restriction dans la réserve hydrique du sol pour répondre au mieux à la demande évaporative de l'environnement aérien, l'évapotranspiration croît et tend vers une limite maximale que l'on peut considérer comme l'un des aspects de l'évapotranspiration potentielle (ETP) (BROCHET et GERBIER, 1974). Cette conception est purement théorique, car un autre type de couvert végétal avec des propriétés pédologiques et un environnement naturel différents, le taux d'évapotranspiration peut être différent (MUSY et SOUTTER, 1991). Cependant l'expression de l'évapotranspiration constitue un point de référence pour la comparaison des régions et utile dans le cadre de la planification (MUSY et SOUTTER,1991).

On a calculé l'évaporation potentielle sur le Camp Redon avec les données climatiques mesurées et l'équation de Priestly-Taylor (équation 2.13). Ces valeurs seront mises en relation au cours du travail avec d'autres paramètres.

- Vitesse de sève brute

Pour déterminer la vitesse de sève brute nous avons utilisé l'équation 2.7 déterminée par Granier (1985).

- Surface du bois d'aubier

La surface transversale d'un arbre est un ensemble d'unités vasculaires actives associées à des unités abandonnées, qui ne se prolongent jusqu'au feuillage. A chaque unité de feuillage correspond un ensemble de vaisseaux du bois, pour conduire l'eau depuis les racines. La surface d'aubier est la surface de transport active de sève de la section du tronc.

Pour déterminer la surface d'aubier, nous avons utilisé le rapport donné par Pinault (1991), pour les chênes verts du Camp Redon:

$$S_A = 0,195 \cdot S_O \qquad (2.12)$$

où: S_A - surface d'aubier.

S_O - surface de la section de la branche.

Avec l'équation 2.12 et les informations du tableau C.2, on a calculé la surface d'aubier (S_A=57.82 cm^2).

- Flux de sève

Nous avons estimé le flux de sève pour la période de 1989/90, a partir de la vitesse de sève déterminée par les sondes GRANIER et la surface du bois d'aubier.

La figure C17 montre la distribution de fréquence du flux de sève maximale et minimale dans la journée. On peut observer que le flux de sève maximale se trouve entre 10 et 15 heures, et surtout, vers les 15 heures. Quand on compare la distribution de fréquence du flux de sève avec l'humidité minimale et maximale, on observe que la distribution du flux est peu décalée par rapport aux distributions temporelles de l'humidité et de la température. L'humidité minimale et la température maximale se situent vers 15 heures et le flux maximal vers 11 heures. Probablement, ceci est dû à l'effet de stockage au début de la journée et à la perte d'eau par transpiration durant la nuit (ZOUHAIER,1989).

La distribution de fréquence de flux minimum montre que ces valeurs se placent entre 23 heures et 8 heures. Notamment, on peut observer que 20% environ du flux de sève minimale se

trouve vers 23 heures. On peut noter l'étalement de la distribution durant la nuit.

Les figures C18 à C23 montrent la courbe du flux de sève comparativement à celles du rayonnement global, d'humidité relative, de température de l'air et d'ETP en fonction du temps. On observe que:

- la courbe du flux monte rapidement;
- le maximum du flux se place environ une à trois heures avant le maximum du rayonnement global;
- les variations du rayonnement global se produisent pratiquement en phase avec celles du flux de sève, mais avec une amplitude moindre;
- le maximum du rayonnement global, de l'ETP maximale, l'humidité relative minimale et la température maximale sont pratiquement en coïncidence.
- la diminution du flux de sève est lente jusqu'à ce que le maximum du rayonnement global soit atteint, puis elle croît à nouveau.

Le même type d'évolution a été obtenu par SWANSON (1972), LASSOIE (1977), GRANIER (1987) et OGULA (1987).

Nous avons choisi, aussi, trois périodes pour montrer l'effet de la pluie sur le flux de sève. Sur la première période de 11/05/90 à 15/05/90 (figure C24), on observe une pluie de 11,5 mm (de 13/05 à 14/05). Après la pluie , le flux de sève est deux fois plus élevé. Il revient à son niveau initial (avant la pluie) un jour plus tard. Pratiquement, toute l'eau tombée a été transpirée en un jour.

Sur la seconde période (figure C25), le flux de sève présente une diminution. La pluie de 2,5 mm entre 12 et 14/08 n'est pas suffisante pour arrêter cette tendance.

La troisième période (figure C26), correspond à une longue sécheresse interrompue par une pluie de 30 mm entre le 30 et la nuit du 31/08. Le flux de sève s'est élevé environ de 40 l/jour le 30. Une diminution nocturne est brusquement interrompue et le flux s'est mis à augmenter vers minuit, avant de diminuer ensuite pour se maintenir toute la nuit vers 12 l/jour. Le flux de sève élevé enregistré dans la nuit du 30 au 31/08 montre qu'il n'est pas sous la seule dépendance des

facteurs climatiques, mais qu'il dépend aussi de la disponibilité en eau du sol et de l'état hydrique général de l'arbre. On observe, aussi, que le système racinaire a reconstitué rapidement les réserves hydriques de l'arbre, qui étaient tombées à un niveau très bas.

Sur les trois périodes, on peut observer que la transpiration est fonction du rayonnement global, et qu'elle est aussi fortement dépendante du potentiel hydrique du sol et de l'état hydrique des végétaux.

- La relation entre transpiration et rayonnement solaire

Nous avons admis que le flux de sève est une bonne évaluation de la transpiration (Granier, 1985).

La transpiration est une fonction directe de l'énergie solaire. Pour évaluer cette relation au niveau journalier, nous avons réalisé une étude de corrélation entre ces deux paramètres. Les figures C27 à C35 montrent l'évolution journalière de la transpiration, du rayonnement global et de la corrélation entre les deux.

On observe qu'au niveau journalier que:

- les coefficients de détermination ne sont pas élevés;
- la corrélation est meilleure dans les mois d'hiver que d'été. Le coefficient de détermination moyenne en hiver est supérieur à 0,75 et inférieur à 0,40 en été.
- le mois d'août 1990 présente le plus bas coefficient de détermination. Ces mois montrent l'effet du déficit hydrique du sol comme un facteur limitant de la transpiration (voir figure C24 à C26).

- La relation entre transpiration et l'évapotranspiration potentielle

Pour évaluer la transpiration par surface, nous avons admis une surface d'extraction racinaire. Cette surface a été calculée en fonction de l'écartement des arbres (A = 4,5 m^2).

Avec les valeurs de transpiration par unité de surface, nous avons fait des graphiques d'évolution de l'évapotranspiration potentielle journalière accumulée et de

la transpiration journalière accumulée (figures C36 et C37). Sur les graphiques on observe que:

- pour les mois de novembre, décembre 1989 et janvier, février, novembre et décembre 1990, le taux de transpiration est supérieur à l'ETP (en hiver);
- pour les mois d'octobre 1989 et mars, octobre 1990 le taux de transpiration est pratiquement égal à l'ETP;
- pour les mois d'août et de septembre 1990 il existe une grande différence entre l'ETP et le taux de la transpiration. Cella illustre à nouveau le déficit pluviométrique de 1990.

2.3.6 - DISCUSSION

- les sondes GRANIER

La méthode de GRANIER est simple, mais elle nécessite une estimation de la surface du bois d'aubier. Pour que les mesures soient satisfaisantes, les sondes doivent avoir une longueur telle qu'elles occupent à peu près toute l'épaisseur du bois conducteur de sève brute. Cette épaisseur est difficile à obtenir et elle varie pour différentes essences et en fonction de l'état de développement du végétal. C'est une contrainte de cette méthode.

- le flux de sève

L'évolution du flux de sève dans la journée (figures C18 à C21) peut être expliquée par les hypothèses suivantes:

- un phénomène de stockage hydrique en fin de journée et de déstockage hydrique le matin;
- on considère que les arbres sont isolés (du fait de l'écartement) et en fonction de la position du soleil, ils peuvent recevoir plus d'énergie le matin qu'à midi (figure 2.2);
- l'ouverture des stomates en fonction de la disponibilité en eau par transpiration. HINCKLEY et al (1983) ont donné un graphique de comportement de l'activité stomatique dans la journée (figure 2.3) On observe une conductance maximale le

matin (avant 12 heures). Il existe donc une moindre résistance à la diffusion de l'eau vers l'atmosphère.

- la transpiration

La comparaison des bilans journaliers et mensuels de la transpiration et de l'ETP (figures C36 et C37) montre que la transpiration a tendance à être surestimée à l'approche de l'hiver. Ceci peut être expliqué par les hypothèses suivantes:

- un effet d'oasis ou de bord : en fonction des transferts latéraux d'énergie par advection, les apports d'énergie se font de la zone qui évapore le moins vers celle qui évapore le plus;

- un gradient artificiel (mauvaise isolation) : il peut être lié aux pertes de chaleur latérale par une mauvaise isolation thermique due à une diminution du diamètre du tronc;

- une définition incorrecte de la surface du bois d'aubier: l'évaluation de la surface du bois d'aubier est difficile à obtenir; elle est fonction de l'essence et de l'état de développement de l'arbre.

Le tableau 2.2, compare les valeurs moyennes journalières de transpiration obtenues avec les valeurs d'OGULA (1987). Il a travaillé avec deux chênes verts et a calculé la transpiration moyenne journalière pour les deux arbres (1987a et 1987b) pour l'année 1987.

Tableau 2.2

Transpiration moyenne journalière (l/jour) calculée et obtenu par OGULA (1987).

ANNEE	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
1989	---	---	12.1	---
1990	15.6	11.8	11.6	6.2
*1987a	10.0	13.5	12.3	---
*1987b	11.9	16.6	15.8	12.1

* 1987a et 1978b sont valeurs obtenu pour deux chêne vert par OGULA (1987)

Sur le tableau 2.2, on peut observer que:

- les valeurs de mai à juillet sont proches;
- pour le mois d'août, on peut constater un abaissement de -95%.

Granier (1987) a obtenu une valeur journalière de la transpiration de 10,8 litres par un arbre Douglas de vingt quatre ans, au cours de l'été.

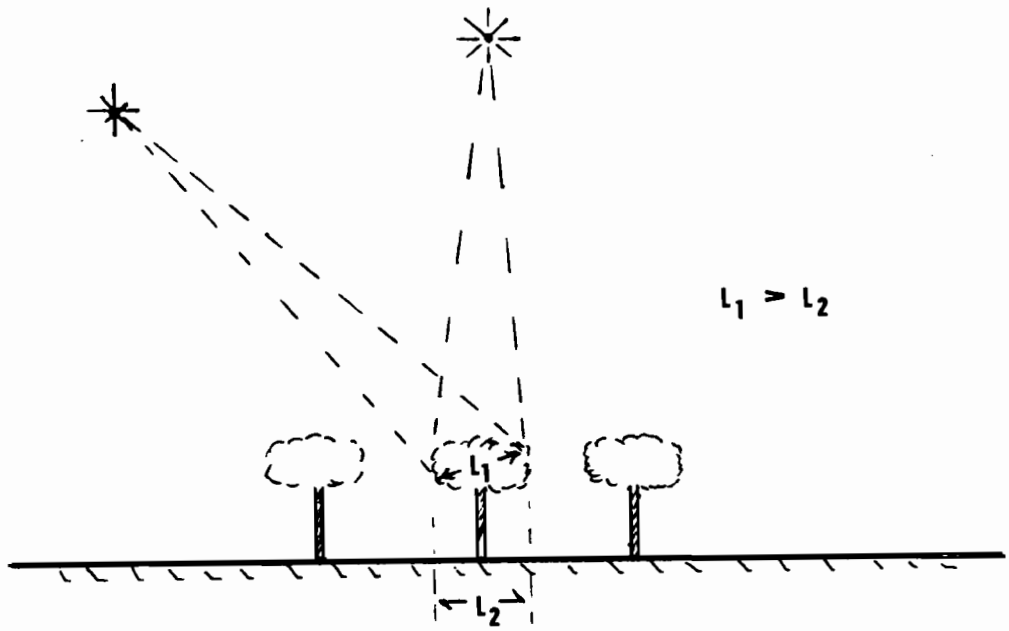
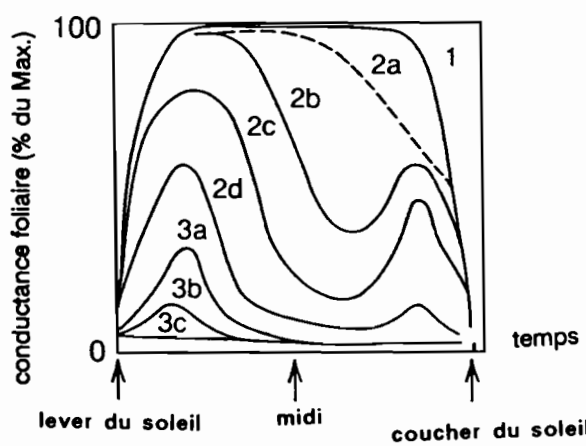


figure 2.2 - Schema de l'ecartement des arbres du Camp Redon



Les trois hypothèses de la conductance foliaire (HINCKLEY, 1983):
1) non limité
2) un ou plusieurs facteurs limitants, mais toujours au-dessus du point de perte de la turgescence;
3) au-dessous du point de perte de la turgescence pour une partie de la journée.

figure 2.2 - Comportement de l'activite stomatique

3 - LA MODELISATION DE LA TRANSPIRATION

3.1 - MODELE QUERCUS (RAMBAL, 1991)

Le modèle QUERCUS a été développé par S. RAMBAL (1990, 1991). Nous avons utilisé la version de 1991. Le modèle simule la ressource en eau de l'écosystème, en fonction de facteurs climatiques, du sol et du couvert végétal. Il peut évaluer les conséquences des changements du milieu naturel sur la ressource en eau (RAMBAL, 1991).

Le principe de base du modèle est que le niveau d'eau du couvert végétal est réglé par:

- la perte d'eau par transpiration;
- la disponibilité d'eau dans le sol;
- la résistance hydraulique entre le sol et la plante.

Les transferts d'eau au sein du couvert végétal sont supposés conservatifs, c'est à dire que l'extraction racinaire est égale à la transpiration. L'extraction racinaire est fonction du gradient du potentiel sol-feuille.

Au transfert d'eau s'opposent deux résistances:

- une résistance à l'interface sol-plante, qui dépend de la conductivité hydraulique du sol;
- la résistance interne de la plante.

La quantité d'eau perdue par l'atmosphère est réglée par un échange entre la demande atmosphérique et le potentiel hydrique foliaire.

Le potentiel hydrique foliaire dépend, principalement, de la conductance stomatique. Le modèle simule le potentiel hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration du couvert végétal, l'évaporation du sol, le drainage profond et l'état hydrique du sol (stock en eau).

Au niveau hydrologique, le modèle suppose que toute l'eau précipitée s'infiltre dans le sol. L'eau que le sol ne peut pas retenir passe vers la nappe profonde.

a) Atmosphère

- potentiel d'évaporation

Les équations de type Penman nécessitent des mesures climatiques détaillées. Priestley-Taylor (1972) ont suggéré une modification de l'équation de Penman, qui permet de réduire le moindre de données. Selon Priestley-Taylor, l'évaporation des surfaces saturées dans une atmosphère non saturée peut s'écrire:

$$E_p = \alpha \cdot (Rn - G) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot (\Delta+\gamma)} \qquad (3.1)$$

où:

E_p - potentiel d'évaporation.

R_n - rayonnement net.

G - flux de chaleur du sol.

Δ - rapport des pressions saturantes aux températures.

γ - constante psychrométrique

λ - chaleur latente de vaporisation

α - constante empirique.

Pour des surfaces peu rugueuses, la valeur de α peut être considéré égale à 1,26. Divers auteurs ont donné des valeurs de α pour d'autres types de surfaces (Flint et Childs, 1991; Viswanadhan, Silva Filho et André, 1991).

Le modèle considère que le flux de chaleur du sol est proportionnel au rayonnement net:

$$G = \alpha' \cdot R_n \qquad (3.2)$$

d'où:

$$Ep = \frac{\alpha'' \cdot R_n}{\lambda \cdot (\Delta+\gamma)} \qquad (3.3)$$

avec:

$$\alpha'' = \alpha \cdot (1 - \alpha') \qquad (3.4)$$

Le calcul du potentiel d'évaporation est réalisé avec un pas de temps de 30 minutes.

- radiation solaire

Le modèle utilise les valeurs de radiation solaire chaque 1/2 heure, mais les mesures sont réalisées au niveau journalier. Pour transformer les valeurs journalières en données bi-horaires, le modèle admet:

- une distribution sinusoïdale de la radiation nette à l'échelle quotidienne.
- que la radiation nette est nulle durant la nuit.
- que le maximum de radiation solaire se produit à midi.

- durée d'insolation

La durée d'insolation est calculée en fonction: (Brock, 1981):

- du numéro du jour de l'année - calendrier julien.
- de la latitude géographique du lieu.

- température d'air

Pour décrire le comportement de la température à l'échelle journalière, le modèle considère une approximation sinusoïdale de la distribution de la température (2.3.2), interpolée entre la température maximale et minimale du lendemain.

La température maximale est supposée arriver à 15 heures (figure C4) et la minimale au petit jour.

b) Atmosphère-Plante-Sol

Le modèle sépare l'évaporation en deux parties:

- évaporation du sol.
- transpiration

L'évaporation potentielle (E_p) est divisée entre la transpiration potentielle (T_p) et l'évaporation potentielle du sol (E_{sp}). Cette division est fonction de la pénétration de la radiation nette sous le couvert végétal:

$$E_{sp} = \tau \cdot E_p \qquad (3.5)$$

$$T_p = (1 - \tau) \cdot E_p \qquad (3.6)$$

où:

τ - coefficient fonction de la pénétration du rayonnement.

Le valeur du coefficient de pénétration du rayonnement est calculé en fonction de la densité du couvert végétal, exprimée par l'indice foliaire:

$$\tau = e^{-\beta \cdot L} \qquad (3.7)$$

où:

L - indice foliaire du couvert végétal, i.e., pourcentage de la surface de la végétation par unité de surface du terrain.

β - coefficient d'absorption du couvert végétal pour la radiation nette.

- évaporation journalière du sol

L'évaporation journalière du sol est calculée en deux phases (Ritchie, 1972):

- dans la première, le taux d'évaporation est constant et égal à l'évaporation potentielle du sol. La limitation de l'évaporation est fonction de l'énergie disponible.

- dans la seconde, le taux d'évaporation est contrôlé par les propriétés hydrauliques du sol qui réglent la montée de l'eau vers la surface. L'évaporation est plus dépendante des propriétés hydrauliques du sol que de l'énergie disponible.

- potentiel hydrique du couvert végétal, conductance stomatique et transpiration.

La simulation de la conductance stomatique doit considérer les interactions entre la physiologie des feuilles et les facteurs d'environnement. Les principaux facteurs d'environnement que affectent la conductance stomatique sont:

la radiation solaire, le déficit de saturation et le potentiel du couvert végétal. Le modèle utilise pour la conductance stomatique l'équation suivante:

$$g_s = g_{sm} \cdot g(I) \cdot g(\psi_c) \cdot g(D) \qquad (3.9)$$

où:

g_{sm} - conductance stomatique maximale.

g - fonction partielle ($0<g<1$).

I - radiation solaire.

ψ_c - potentiel hydrique du couvert végétal.

D - déficit de pression de vapeur.

Le rapport entre g et la radiation solaire I est représenté par une fonction hyperbolique. L'ouverture maximale a lieu pour une radiation solaire de plus que 200 Wm^{-2}.

La conductance stomatique et le potentiel hydrique du couvert végétal peut être exprimé par (Campbell, 1985):

$$g(\psi_c) = \frac{1}{(1 + (\psi_c/\psi_{cc})^n)} \qquad (3.10)$$

où:

ψ_c - potentiel hydrique du couvert végétal.

ψ_{cc} - potentiel hydrique critique du couvert végétal pour la fermeture des stomates.

n - constante de calcul empirique.

- transpiration

La transpiration réelle est une fonction de la transpiration potentielle (T_p) et de l'activité stomatique:

$$T = T_p \cdot \frac{g_c}{g_{cm}} \qquad (3.11)$$

où:

$$g_c = g_s \cdot L \qquad (3.12)$$

$$g_{cm} = g_{sm} \cdot L \qquad (3.13)$$

- extraction racinaire et transport vers les feuilles.

Le système racinaire est considéré globalement pour caractériser la résistance. Le flux d'extraction racinaire de l'eau est rapporté par unité de surface du sol et non par unité de surface foliaire ou racinaire. Le modèle utilise l'équation suivante pour calculer l'extraction racinaire:

$$Q = \frac{\psi - \psi_C}{R_S + R_p} \qquad (3.14)$$

où:

Q - flux d'extraction racinaire.

R_S - résistance hydraulique dans le trajet sol-racine.

R_p -résistance dans la plante dans le trajet racine-feuille

ψ - potentiel hydrique du sol dans la zone racinaire.

ψ_C - potentiel hydrique de la plante.

Le modèle admet que l'extraction racinaire est égale à la transpiration. Le potentiel hydrique foliaire n'est pas uniforme pour l'ensemble du couvert végétal, mais il est considéré comme sans perte de précision de l'analyse hydrologique.

La résistance hydraulique R_S est calculée en fonction de l'équation de Gardner-Cowan (RAMBAL, 1991):

$$R_S = \frac{B}{K(\psi)} \qquad (3.15)$$

où:

B - facteur racinaire densité-résistance qui prend en compte la géométrie et l'extension racinaire.

$K(\psi)$ - conductivité hydraulique avant saturation.

La conductivité hydraulique avant saturation est estimée en fonction du potentiel hydrique du sol ψ (Campbell, 1985):

$$\frac{K(\psi)}{K_S} = \left(\frac{\psi}{\psi_C} \right)^{2+3/\beta} \qquad (3.16)$$

où:

K_s - conductivité hydraulique à saturation.

Le potentiel hydrique du sol est calculé par:

$$\frac{\psi}{\psi_e} = \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-\beta} \qquad (3.17)$$

où:

ψ_e - potentiel d'eau dans l'atmosphère.

θ - teneur en eau volumique.

θ_s - teneur en eau volumique à saturation.

b - coefficient de calcul liée la courbe de teneur en eau.

La relation entre le potentiel matriciel et l'humidité a été décrite par Garder avec la relation empirique suivante (MAHBOUBI, 1980):

$$\psi = a \cdot \theta^{-b} \qquad (3.18)$$

c) Bilan hydrique dans le sol.

A la fin de chaque jour, un bilan est réalisé pour la zone racinaire du sol:

$$\Delta S = P - T - E - D \qquad (3.19)$$

où:

ΔS - variation journalière du stock d'eau.

P - précipitation journalière.

T - température journalière.

E - évaporation journalière.

D - drainage journalière.

La transpiration est calculée à intervalles de temps bi-horaires et sommée pour obtenir le niveau journalier.

La profondeur de drainage est supposée égale à la longueur du système racinaire.

L'écoulement dans le sol peut être décrit par l'équation de Darcy en milieu non saturé:

$$D = - K(\psi) . \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \qquad (3.20)$$

Le modèle utilise une équation suggéré par Richards (RAMBAL, 1984) et elle peut être écrite:

$$\theta = a \, . \, t^{-b} \qquad (3.21)$$

On peut isoler t de l'équation 3.21:

$$t = \left(\frac{\theta}{a} \right)^{-1/b} \qquad (3.22)$$

où:

θ - teneur en eau volumique moyenne;

a et b - coefficients de calcul.

L'équation 3.20 peut être dérivée en fonction d'un temps. Il en résulte le taux de drainage par unité de profondeur est (RAMBAL, 1985):

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{D}{z} = -a.b.t^{-(b+1)} \qquad (3.23)$$

La substitution de l'équation 3.22 dans l'équation 3.23 donné:

$$D = e^{c+d.\log \theta} = f(\theta) \qquad (3.24)$$

où:

$$c = \log a^{1/b} . \quad b \, . \, z \qquad (3.25)$$

$$d = 1 + \frac{1}{b} \qquad (3.26)$$

L'équation est utilisée pour décrire le drainage dans le modèle.

3.2 - APPLICATION DU MODELE QUERCUS

Nous avons effectué des simulations avec la modèle QUERCUS pour un chêne vert du Camp Redon, sur 2 années consécutives, 1998 et 1990.

3.2.1 - DONNEES D'ENTREE DU MODELE

- rayonnement global

Nous avons utilisé la série des données journalière du Camp Redon, et la corrélation entre la série du Camp Redon et celle INRA-STEFCE Montpellier (tableau D1 et D2) pour reconstituer les données manquantes.

- précipitation

Le modèle utilise comme entrée les précipitations journalière, lesquelles ont été mesurée sur le Camp Redon (tableau D3 et D4).

- température

Les températures maximales et minimales ont été mesurées sur le Camp Redon. Elles sont rassemblées dans les tableau D5 à D8.

- sol

courbe de drainage

Pour définir la courbe de drainage (équation 3.24), on a estimé les coefficients de l'équation qui décrit l'évolution de la teneur en eau au cours du temps (équation 3.21).

Afin de construire la courbe de teneur en eau, nous avons utilisé la thèse de MAUBOBI (1980), qui a fait un essai de drainage interne sur le Camp Redon entre 20/02 au 12/03/1979.

L'estimation de la teneur en eau en fonction du temps est donnée par l'équation:

$\theta = 0,34 . t^{-0.016}$

avec un coefficient de détermination de 0,97 sur les variables transformées (figure 3.1)

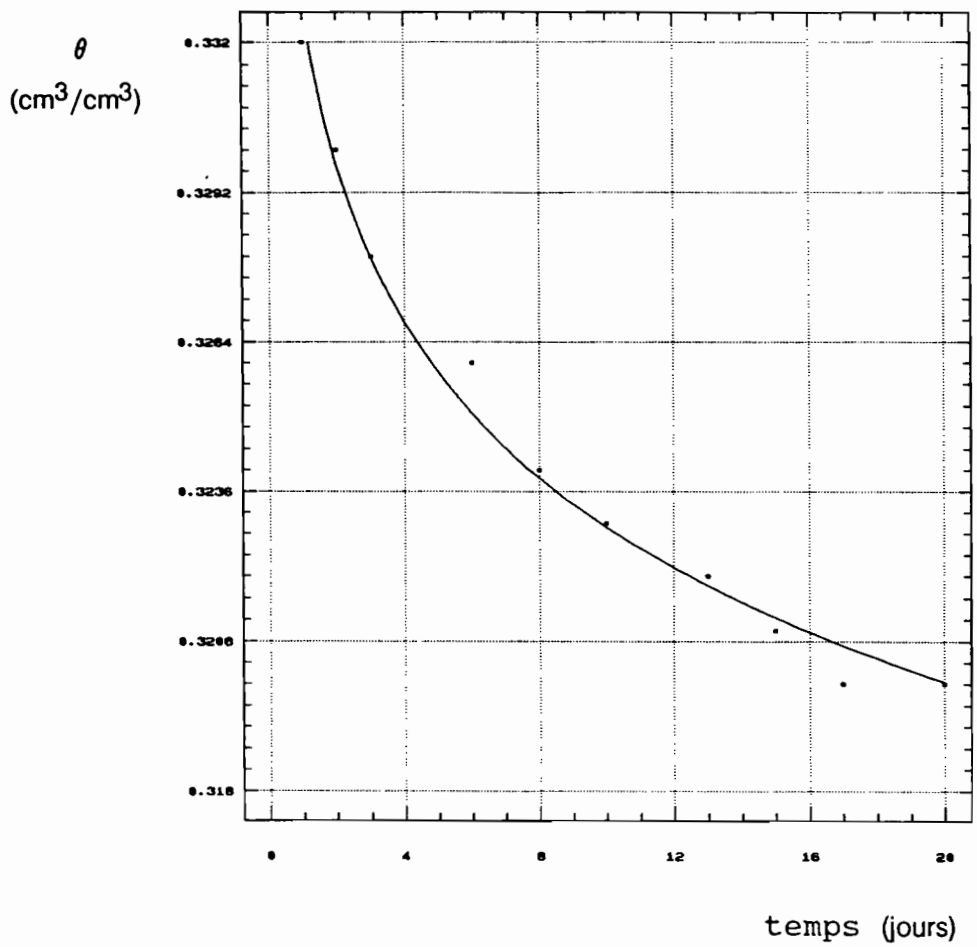


figure 3.1

Evolution du teneur en eau sur le Camp Redon entre 20/02 au 12/03/1979.

courbe du potentiel matriciel en fonction de la teneur en eau

Pour déterminer la courbe du potentiel matriciel en fonction de la teneur en eau (équation 3.21), nous avons utilisé les données obtenues par MAZIOTI (1987), sur le Camp Redon.

Nous avons ainsi estimé le potentiel matriciel par l'équation (figure 3.2):

$$\psi = 0{,}038 \ .\theta^{-11.50}$$

avec un coefficient de détermination de 0,99 sur les variables transformées (figure 3.2)

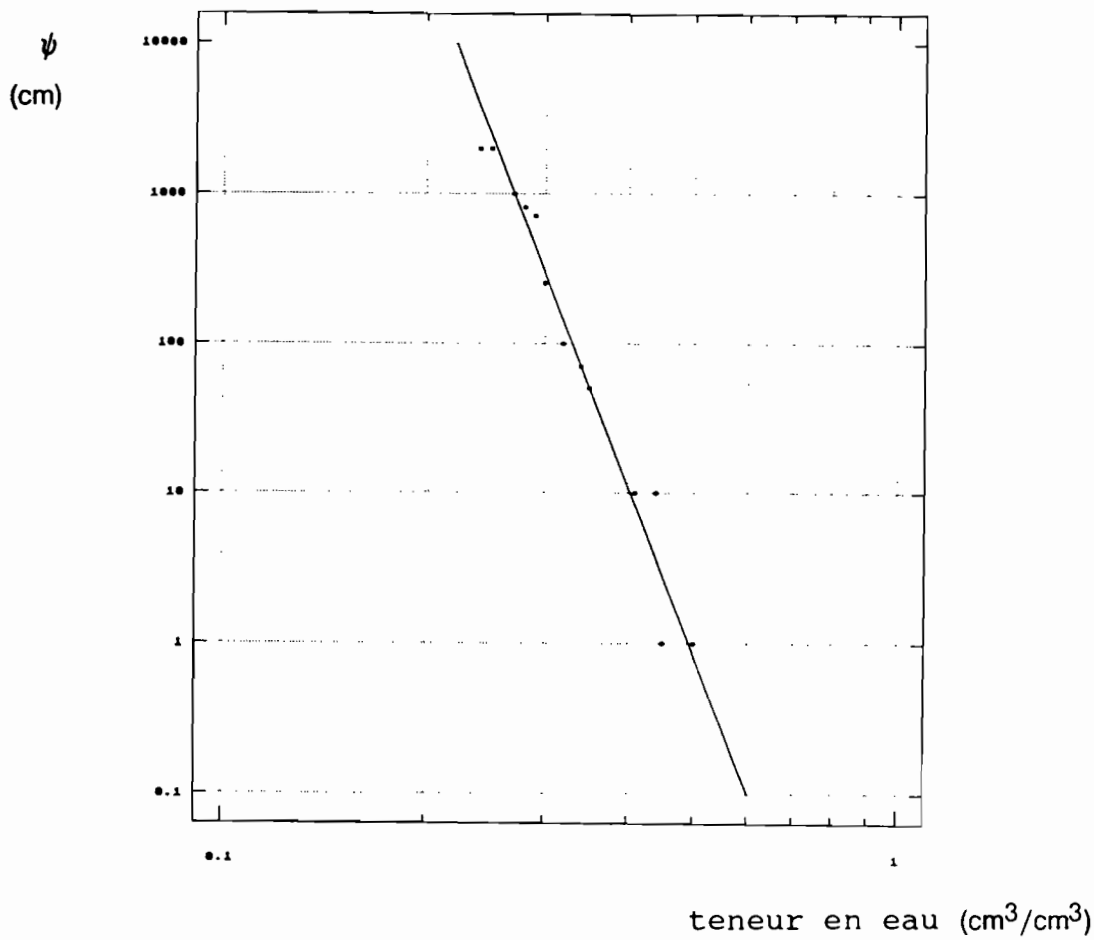


figure 3.2

Courbe du potentiel matriciel et du teneur en eau sur le Camp Redon (MAZIOTI, 1987).

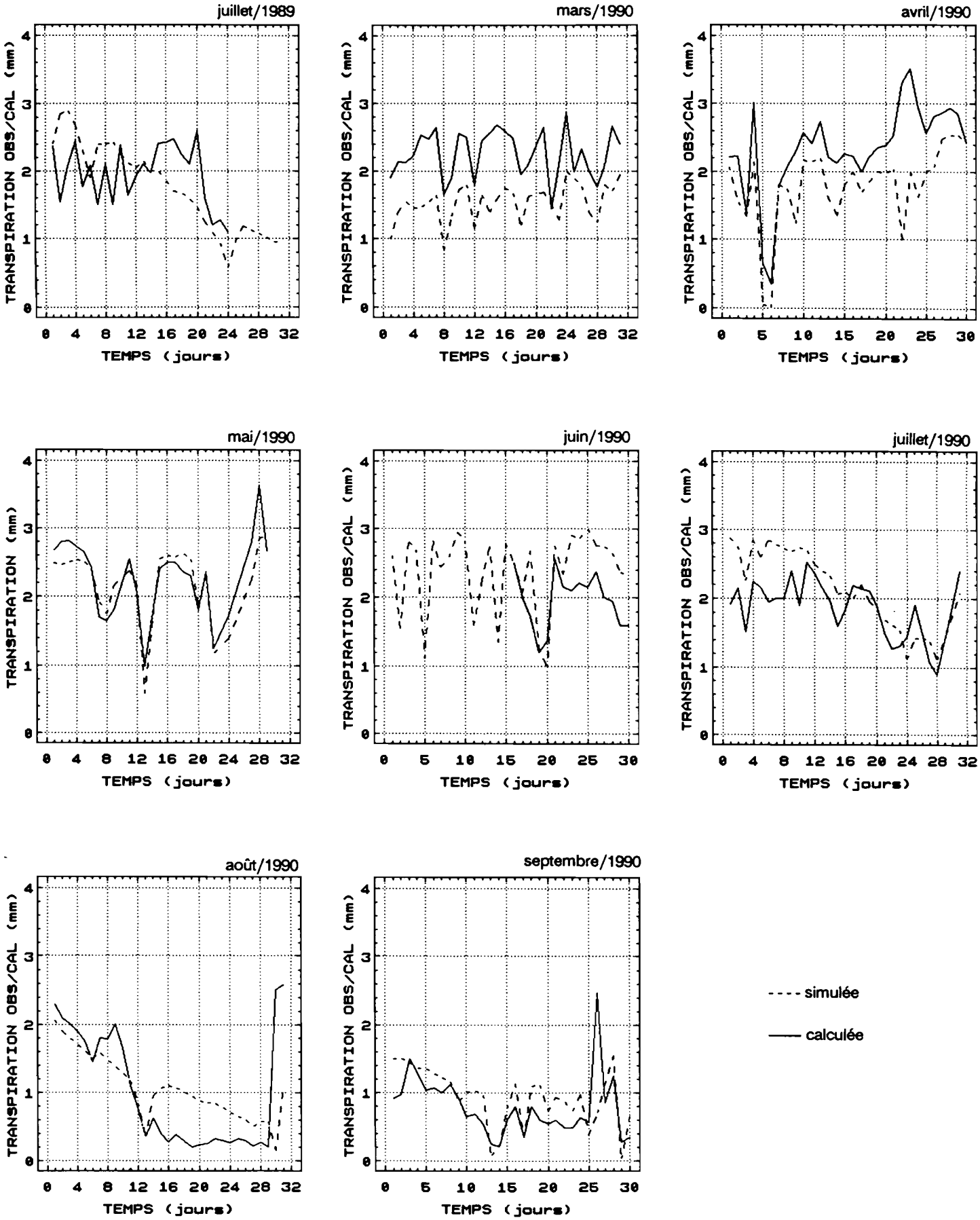


figure 3.3 - Evolution comparée de la transpiration observée et simulée d'un chêne vert sur la Camp Redon.

3.2.2 - DONNEES POUR LA AJUSTEMENT

Pour l'ajustement du modèle nous avons utilisé les données de transpiration calculées sur un chêne vert du terrain expérimental du Camp Redon (chapitre 2) dans la période 1989/1990. La comparaison des bilans journaliers et mensuels des données de transpiration et l'ETP (figures C36 et C37), a mis en évidence une surestimation de la transpiration par rapport à l'ETP à la l'approche de l'hiver, comme nous l'avons souligné au chapitre 2. De fait, nous avons décidé d'utiliser seulement pour la ajustement les données pour lesquelles la transpiration est inférieure à l'ETP. Dans ces condition, les mois disponibles sont: juillet en 1989 et de mars à septembre en 1990.

3.2.3 - AJUSTEMENT DU MODELE

Dans le processus de ajustement du modèle nous avons simulé divers ensembles de paramètres pour retenir celui qui au mieux décrit la transpiration calculée du chêne vert.

Le résultat du processus de ajustement est présenté dans la figure 3.3, dans laquelle on peut observer que:

- au mois de juillet/1989 les valeurs de transpiration simulées sont supérieures aux valeurs calculées dans la première partie du mois. Dans la seconde moitié on note augmentation des valeurs de la transpiration calculée, laquelle ne peut pas être expliquée par une augmentation de la disponibilité d'eau ou de l'énergie incidente. Par conséquent le modèle ne peut reproduire cette augmentation;
- au mois de mars/1990 la transpiration simulée est systématiquement inférieure aux valeurs calculés, qui démontre la tendance d'une surestimation de la transpiration estimée par les sondes Granier;
- au mois de avril/1990, le modèle a bien simulé dans l'ensemble l'évolution de la transpiration, sauf pour 22 et 23. Pour ces journées on ont été enregistrées observations des précipitations respectivement de 9.5 et 5.0 mm. Le modèle a

réagi de manière cohérente aux données d'entrées en fonction: accroissement de la disponibilité en eau et abaissement de l'énergie incidente. Par contre, les données calculées présentent une grande accroissement, laquelle ne peut pas être expliquée par les informations disponibles;

- aux mois de mai, août et septembre/1990, la transpiration a bien été reproduite;

- à la fin du mois de juin/1990 et au début du mois de juillet/1990, on peut observer une diminution des valeurs calculées, laquelle peut être expliquée par une limitation de la disponibilité en eau du sol. Le modèle reproduit cette limitation avec un retard de 20 jours.

Les valeurs simulées et calculées de la transpiration sont visualisées, pour chaque mois étudié et tous mois confondus, sur les graphiques 3.4 et 3.5. On peut observer:

- une surestimation par le modèle des valeurs calculées pour les petits taux de transpiration (période totale);

- une sousestimation par le modèle, en général, des valeurs calculées aux mois de mars/1990 et avril/1990;

- une surestimation par le modèle des valeurs calculées aux mois de juin/1990 et septembre/1990.

Le modèle a démontré un comportement différent au cour des mois. Cependant, en fonction de la disponibilité des données nous ne pouvons pas dire avec sûreté s'il y a ou non une tendance général.

3.3 - DISCUSSION

Le modèle fournit des résultats cohérents compte tenu de l'information d'entrée de la qualité des séries de transpiration calculées et des conditions particulières de l'environnement naturel local. L'évapotranspiration est un facteur prépondérant dans l'établissement du bilan hydrique au niveau de l'élément végétal. Pour les deux années de la simulation (1989/1990) les valeurs de transpiration sont de 443 et 463 mm pour les hauteurs des précipitations

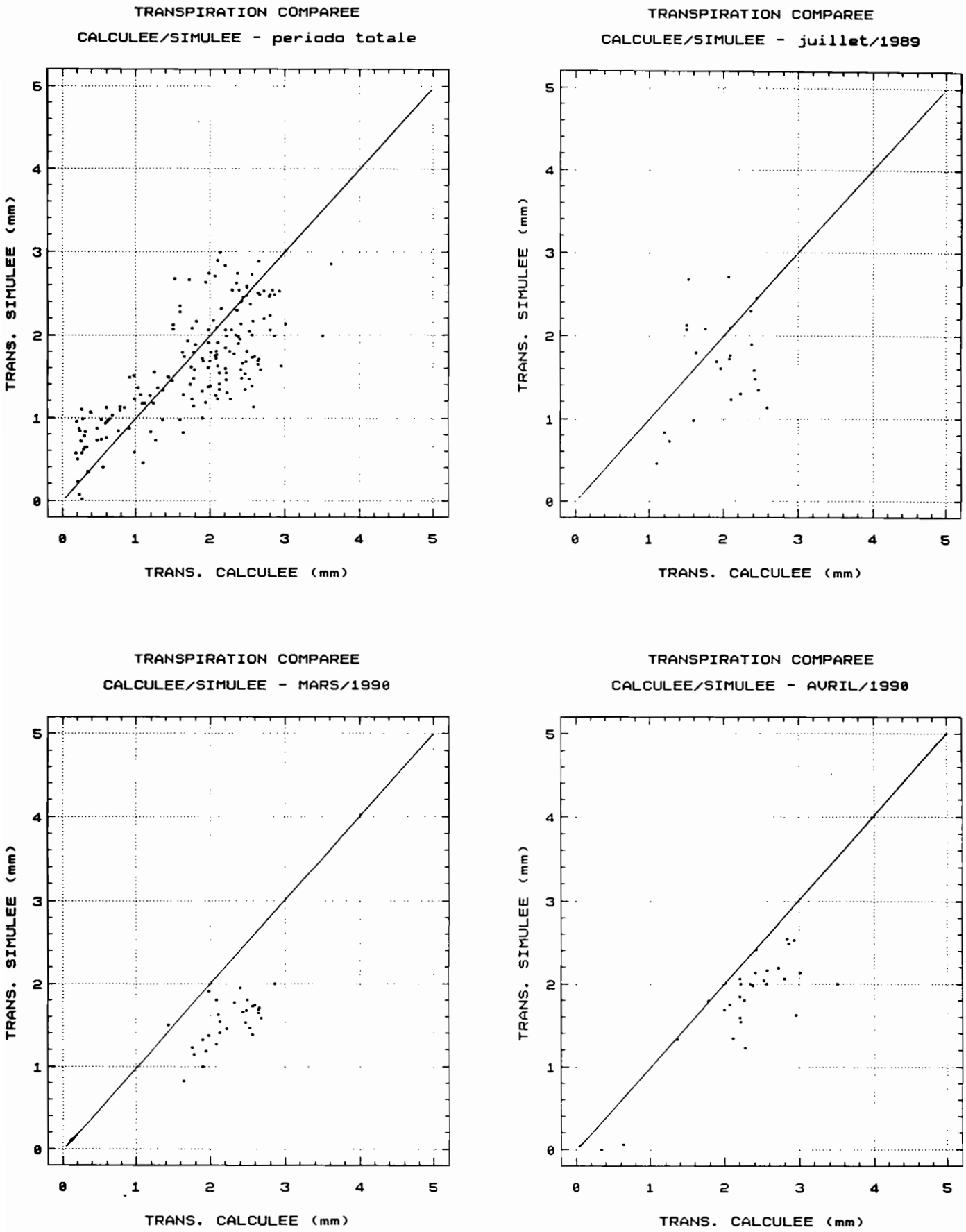


figure 3.4 - Transpiration comparée calculée/simulée - période totale, juillet/1989, mars/1990 et avril/1990.

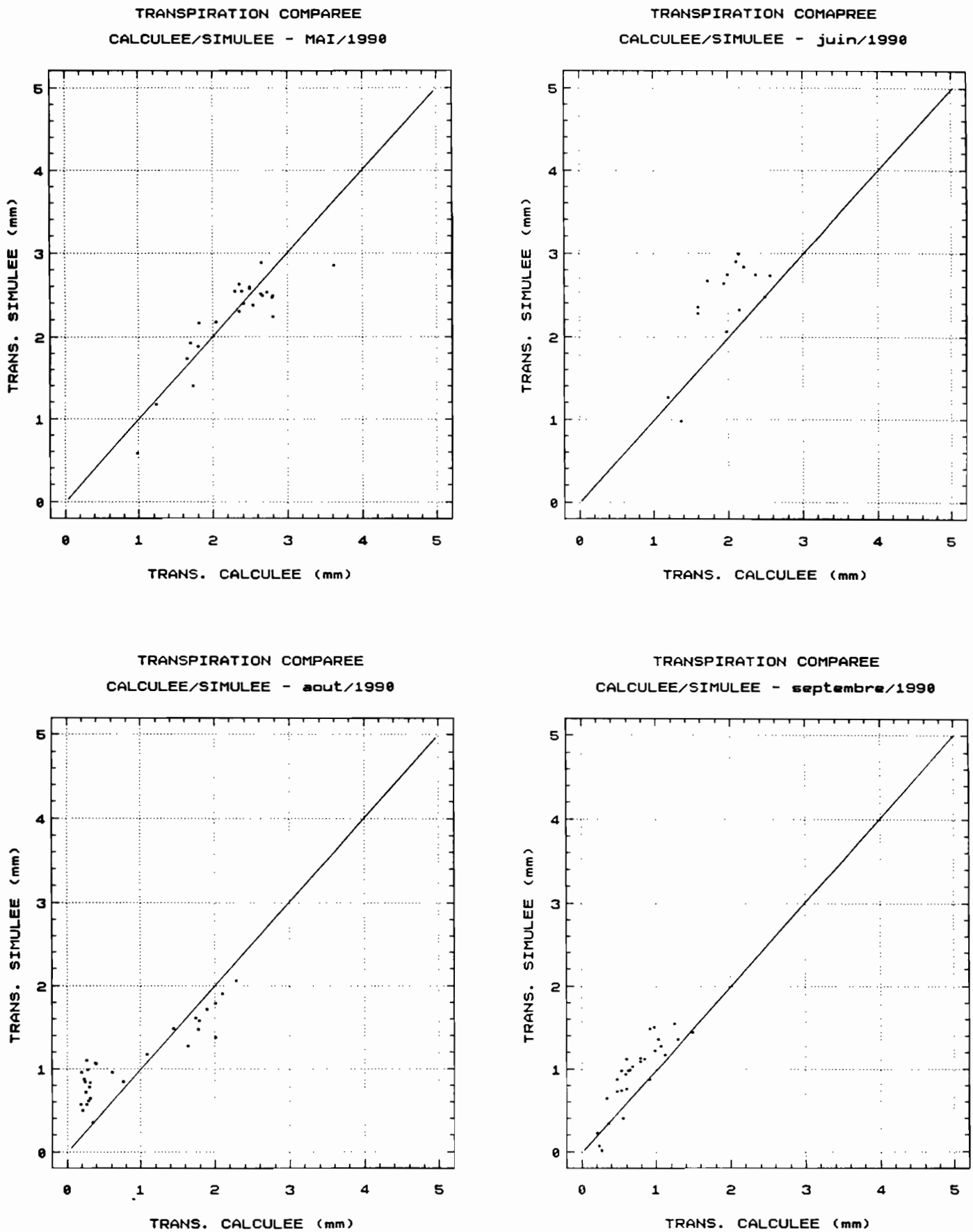


figure 3.5 - Transpiration comparée calculée/simulée mai/1990 à septembre/1990.

relativement faibles et du même ordre, 542 et 569 mm respectivement, et une évaporation du sol de 47 et 44 mm.

RAMBAL (1991) a mesuré à partir de 7 années d'observations, qu'une garrigue de chêne kermès évapotranspire en moyenne 603 mm d'eau avec un coefficient de variation de 7%. Dans la période de calage du modèle, nous avons calculé une transpiration de 433 mm par rapport à une valeur de 437 mm simulée, ce qui est cohérente, car les années 1989/1990 sont déficitaires.

Au niveau mensuel, on peut observer sur la tableau 3.1 que les valeurs simulées et observées sont aussi très proches.

Il faut noter que le comportement du modèle n'a pas être étudié en période automne-hiver étant donnée le manque de fiabilité des données de transpiration observées.

Il serait aussi intéressant de valider les paramètres obtenus pour l'étude de la transpiration du chêne vert du Camp Redon, sur un autre site pour connaître mieux le comportement de celui végétal.

Tableau 3.1

Valeurs mensuelles simulée et calculée

chêne vert

mois/années	**TRANSPIRATION**	
	calculée	**simulée**
	(mm)	(mm)
juillet/1990	58.9	54.1
mars/1990	68.2	47.2
avril/1990	66.0	53.2
mai/1990	68.2	68.1
juin/1990	60.0	71.1
juillet/1990	62.0	71.8
août/1990	30.1	38.5
septembre/1990	23.7	29.4

4 - SPATIALISATION HYDROLOGIQUE - EVAPOTRANSPIRATION

4.1 - INTRODUCTION

La lumière du soleil conditionne la vie sur Terre, puisque sans elle, la vie ne pourrait pas apparaître ou se développer. La végétation utilise la lumière comme source d'énergie pour son développement. Une part de cette énergie est utilisée pour la photosynthèse et une autre part indirectement comme source de chaleur. D'autres paramètres comme la température et les précipitations sont fondamentaux pour la distribution et la croissance des plantes. Ils sont liés aussi à la valeur énergétique du rayonnement solaire disponible au sol.

Le calcul théorique du rayonnement solaire moyen pour une surface donnée (bassin versant) est basé sur des mesures expérimentales dans certains points isolés sur la surface (problème du transfert d'échelle).

- transfert d'échelle

Le transfert d'échelle des informations d'un point vers une surface est une opération de routine dans toutes les études du milieu naturel, par exemple, en l'hydrologie lorsque on calcule la hauteur d'une averse sur un bassin versant à partir de quelques cm^2 de surface d'un pluviomètre.

Le transfert d'échelle consiste à utiliser une connaissance, quantitative ou qualitative, obtenu sur un objet pour connaître un autre objet plus grand contenant le premier (PLANCHON, 1990).

Un transfert d'échelle est toujours nécessaire quand la mesure d'un paramètre ne peut être faite directement sur un grand objet; comme par exemple la construction d'un lysimetre pour estimer la perte d'eau par évapotranspiration d'un écosystème.

- évapotranspiration - transfert d'échelle

Le processus d'évapotranspiration est conditionné d'une part par la demande évaporative de l'air, et d'autre par la capacité du système à satisfaire cette demande.

Cette capacité du système est fonction de divers facteurs importants de la disponibilité en eau et de la physiologie des végétaux (MUSY et SOUTTER, 1991).

Quand une surface d'évaporation peut être admis comme:

- un couvert végétal continu et constant;
- un profil du sol uniforme et homogène.

Le phénomène d'évapotranspiration peut être consideré comme un phénomène climatique ou régional.

La relation entre le climat et la végétation est visible, elle peut être constatée lorsqu'on observe l'écartement des étages de la végétation comme courbes du niveau (GUEYMARD, 1975). Ceci amène à penser que les limites altitudinales sont influencées par des facteurs particuliers du sol ou d'ensoleillement. Ce dernier peut agir directement sur la croissance de l'énergie calorifique et photosynthétique, ou indirectement sur le bilan hydrique au travers de l'évapotranspiration (GUEYMARD, 1975).

- énergie solaire

La quantité d'énergie qui arrive au sol n'est pas seulement fonction des facteurs astronomiques ou atmosphériques, qui peuvent perturber la trajectoire du rayonnement solaire vers la terre. Elle dépend des facteurs géographiques caractéristiques du lieu, à une échelle globale (la latitude) et à une échelle locale (la pente et l'orientation de la surface).

4.2 - VARIATION DE LA QUANTITE DE RAYONNEMENT SOLAIRE ARRIVANT AU SOL

a) FACTEURS ASTRONOMIQUES

Ces facteurs concernent la position de la terre (récepteur) par rapport au soleil (émetteur). Non seulement la distance entre la terre et le soleil varie constamment, mais l'inclinaison de la terre et sa rotation autour du soleil font qu'un point sur la surface de la Terre occupe des positions

différentes au cours de l'année (annexe B). Cette variation de position modifie l'intensité du rayonnement solaire qui parvient à la surface du globe terrestre.

b) FACTEURS ATMOSPHERIQUES

Lorsque le rayonnement solaire pénètre dans la couche atmosphérique, il se trouve dans un milieu non transparent constitué d'éléments divers (molécules, particules ...).

Dans ce milieu se produit un phénomène d'extinction par absorption ou diffusion d'une partie du rayonnement.

Le phénomène d'extinction dépend de la nature du milieu et augmente avec l'épaisseur de la couche atmosphèrique traversée.

Dans ce travail, on ne tiendra pas compte du phénomène d'extinction, car les valeurs de rayonnement ont été mesurées au sol.

c) FACTEURS GEOGRAPHIQUES

Ce sont des facteurs qui caractérisent chaque point de la surface du sol, par rapport à la direction des rayons du soleil. Il s'agit de la pente et de l'orientation de la surface du sol.

- Pente

Pour une surface horizontale l'angle d'incidence (i) est un angle complémentaire de la hauteur du Soleil (h). Pour une surface inclinée, l'angle d'incidence est établi par rapport à la perpendiculaire à cette surface. Cet angle varie donc avec la pente du terrain.

La pente peut jouer un rôle favorable ou défavorable à l'augmentation de l'énergie qui parvient. Elle est favorable lorsque elle réduit l'angle sur la surface inclinée, mais elle peut aussi la défavoriser en majorant l'angle d'incidence.

L'influence de la pente sur l'angle d'incidence dépend de la position du Soleil par rapport à la pente. Il y a deux cas à envisager:

- quand la perpendiculaire à la pente est contenue dans le même quadrant où s'inscrivent les hauteurs du Soleil, figures 4.1a, 4.1b et 4.1c.
- quand la perpendiculaire à la pente n'est pas contenue dans le même quadrant où s'inscrivent les hauteurs, figure 4.1d.

Dans le cas des figures 4.1a et 4.1c, la pente peut être favorable à l'augmentation, lorsque elle réduit l'angle d'incidence des rayons du Soleil, par rapport au plan horizontal.

Dans la cas de la figure 4.1b, les rayons du Soleil sont perpendiculaires à la pente, l'angle d'incidence est nul, l'énergie par rapport la surface est maximum.

Dans le cas de la figure 4.1d, la pente est toujours un facteur défavorable à l'augmentation de l'énergie, car elle augment l'incidence des rayons par unité de surface.

- orientation

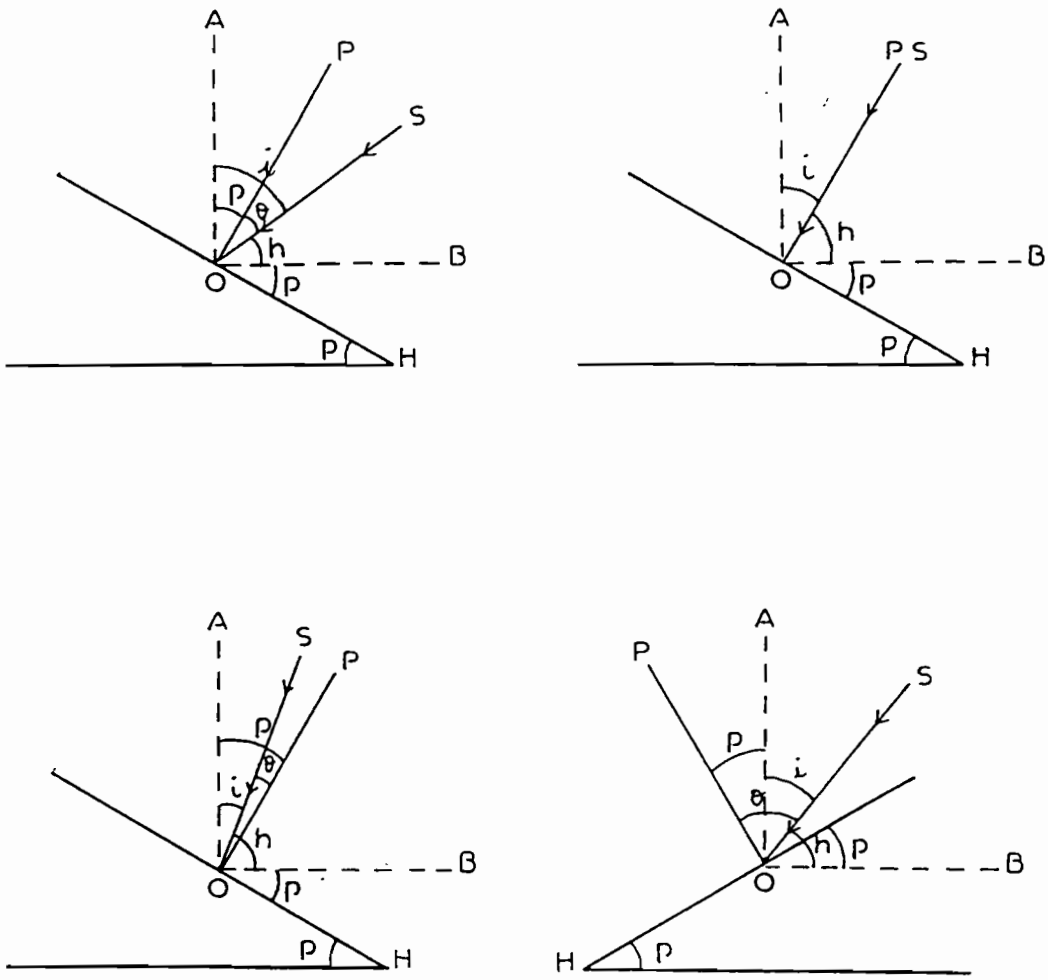
La surface la plus favorable à l'apport de rayonnement sera la surface dont l'orientation se fait avec un angle de zéro degré avec l'azimut du Soleil. On peut faire une analogie avec la notion d'incidence relative à la position du soleil, pour expliquer le fonctionnement du système soleil-terre. Soit un plan vertical sur le plan horizontal (figure 4.2), et une source lumineuse placée devant ce plan vertical, qui émet un faisceau lumineux horizontal.

Dans la figure 4.2, deux cas sont analysés:

- quand la source lumineuse a la même orientation que le plan, le faisceau lumineux est perpendiculaire au plan.

Dans ce cas, la surface de contact entre le faisceau et le plan est égale à la section du faisceau.

- quand la source lumineuse fait un angle avec l'orientation du plan, le faisceau émis arrive sur le plan avec un angle identique.



P : pente (en degrés)
h : hauteur du Soleil
i : angle d'incidence sur le plan horizontal (h + i=90°)
θ : angle d'incidence sur la surface inclinée
OA : verticale du lieu
OP : perpendiculaire à la surface de pente P
OS : direction des rayons solaires
OB : horizontale du lieu.

figure 4.1 - Influence de la pente sur l'angle d'incidence

Dans ce cas, la surface de contact entre le faisceau et le plan est supérieure à la section du faisceau, donc la quantité d'énergie qui arrive est moindre par unité de surface.

Au cours de la journée et de l'année, différentes orientations vont être successivement favorisées. Par exemple, en été, le Soleil se levant au NE et se couchant au NW, il parcourra un maximum d'orientations. Seules les orientations entre le SE et le SW seront favorisées.

- pente et orientation

Ces deux facteurs caractéristiques du relief sont quantifiés par deux angles. La figure 4.3 montre un exemple où l'orientation de la pente est inverse à l'azimut du Soleil, c'est à-dire une pente Nord à midi. La surface de la pente p de la figure 4.3 bénéficie du rayonnement solaire car h > p. Si la hauteur h devient inférieur à p, les rayons n'éclairent plus cette surface.

Les plus faibles pentes sont celles qui bénéficient le plus longtemps du rayonnement solaire.

La figure 4.4 montre aussi l'effet de la pente et de l'orientation qui se combinent. L'effet de diffusion atmosphérique de l'air tendent à atténuer les contrastes des versants.

4.3 - FORMULE GENERALE POUR LE CALCUL DE LA POSITION DU SOLEIL

La formulation générale pour calculer l'effet du relief sur l'énergie solaire peut être rencontrée dans diverses publications (LEE, 1963; LEE et BAUMGARTNER, 1966; ROBINSON, 1966; FLOHN, 1969; GUEYMAR, 1975; SWIFT, 1976; DOGNIAUX,1985).

- terrain plat

Pour un terrain plat (exposition non définie), l'énergie W reçue au sol est alors reliée à la valeur de l'énergie incidente W_0 par la formule suivante, qui exprime la loi des "sinus":

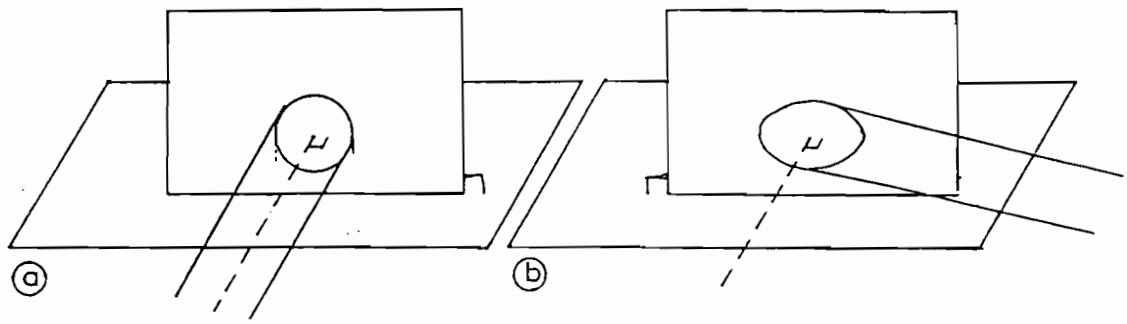


figure 4.2 - Effet de l'orientation d'une surface sur faisceau lumineux

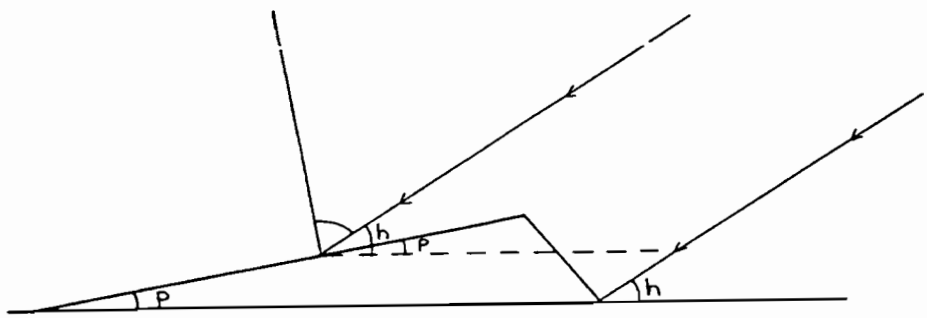


figure 4.3 - Influence de la pente et de l'orietation

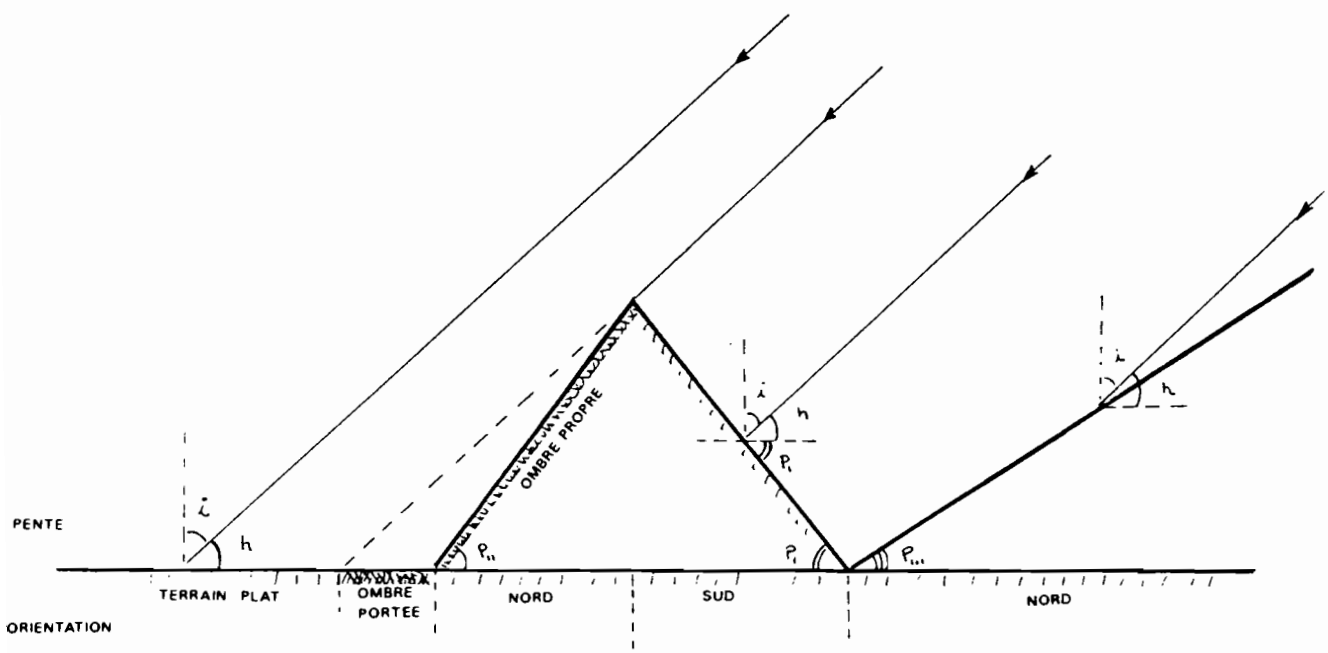


figure 4.4 - Influence du relief sur lincidence des rayons solaires

$$W = W_0 \cdot \sin h = W_0 \cdot \cos i \qquad (4.1)$$

- terrain incliné

Pour un terrain de pente p non nulle, la formule antérieure peut encore s'appliquer si le rayon incident est dans le plan vertical contenant la perpendiculaire au terrain. En fonction de l'orientation de l'angle de pente on ajoute ou on retranche l'angle de la pente:

$$W = W_0 \cdot \sin (h + p) \qquad (4.2)$$

- terrain incliné et orienté

Dans le cas le plus général, les rayons solaires ont une direction quelconque par rapport à la perpendiculaire à la pente. On ne peut plus calculer i de façon simple en fonction de h et de p. Il faut faire intervenir la position du Soleil par rapport à la pente et à l'orientation de la surface, ce qui complique la fonction $W=f(W_0)$. Le résultat est:

$$W = W_0.[\sin(h).\cos(p) + \sin(p).\cos(h).\cos(e-AH)] \qquad (4.3)$$

La valeur de l'angle d'orientation de la surface est mesurée à partir du sud géographique, dans les sens des aiguilles d'une montre (figure 4.5).

- modèle QUERCUS

Le modèle QUERCUS a été modifié pour simuler l'effet du relief sur l'énergie du rayonnement solaire arrivant au sol. Les valeurs du rayonnement solaire global sont corrigées au pas de temps de 30 minutes, en fonction de la position du soleil par rapport à la pente et l'orientation de la surface (équation 4.3).

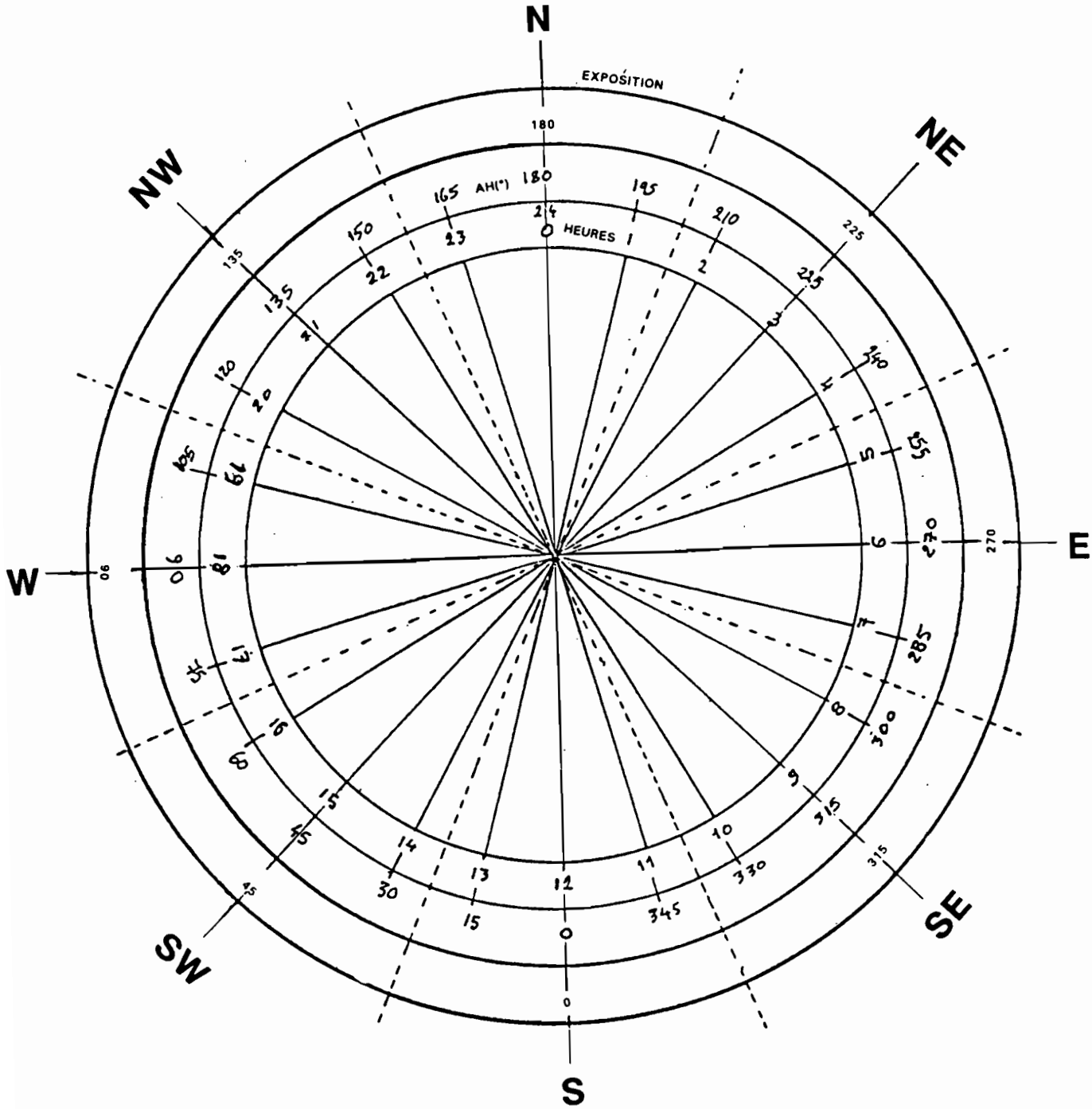


figure 4.5 - Expositions/orientations et angle horaire

4.4 - APPLICATION DU MODELE QUERCUS SUR UN BASSIN VERSANT

Le modèle QUERCUS modifié (pente et orientation) a été appliqué sur la bassin de la Peyne pour la période 1985/1986.

4.4.1 - LE BASSIN VERSANT

Nous avons appliqué le modèle QUERCUS au bassin de la Peyne, lequel est un affluent de rive droite du fleuve Hérault. La figure 4.6 montre la zone où est localisé le bassin. Le bassin est composé d'un écosystème naturel (forêt sclérophylle méditerranéenne à chêne vert) et une zone aval cultivée.

La simulation a été faite sur le haut bassin de la Peyne, à la station de Vailhan. La surface de drainage est d'environ 31 km^2 (figure 4.7).

4.4.2 - DISCRETISATION SPATIALE EN FONCTION DE LA PENTE ET DE L'ORIENTATION DES SURFACES DU BASSIN.

Grâce au logiciel d'information spatialisée hydrologique de RISSONS (1991), le bassin versant initial a été découpé en sous-bassins versants selon trois degrés de précision, que nous avons appelés bassin-1, bassin-2 et bassin-3 (figure 4.8 et tableaux E1 à E3), selon les critères suivants:

- définition des rives droites et gauches;
- exposition;
- pente;
- indice foliaire moyen.

L'indice foliaire moyen des sous-bassins a été calculé à partir des mesures ponctuelles de l'indice foliaire utilisant le matériel LAI 2000 Plant Canopy Analyser (LAI METER).

PINAULT (1992) a évalué cette valeur moyenne en fonction de l'image Thematic Mapper de juillet 1991.

figure 4.6 - Zone de la bassin de la Peyne

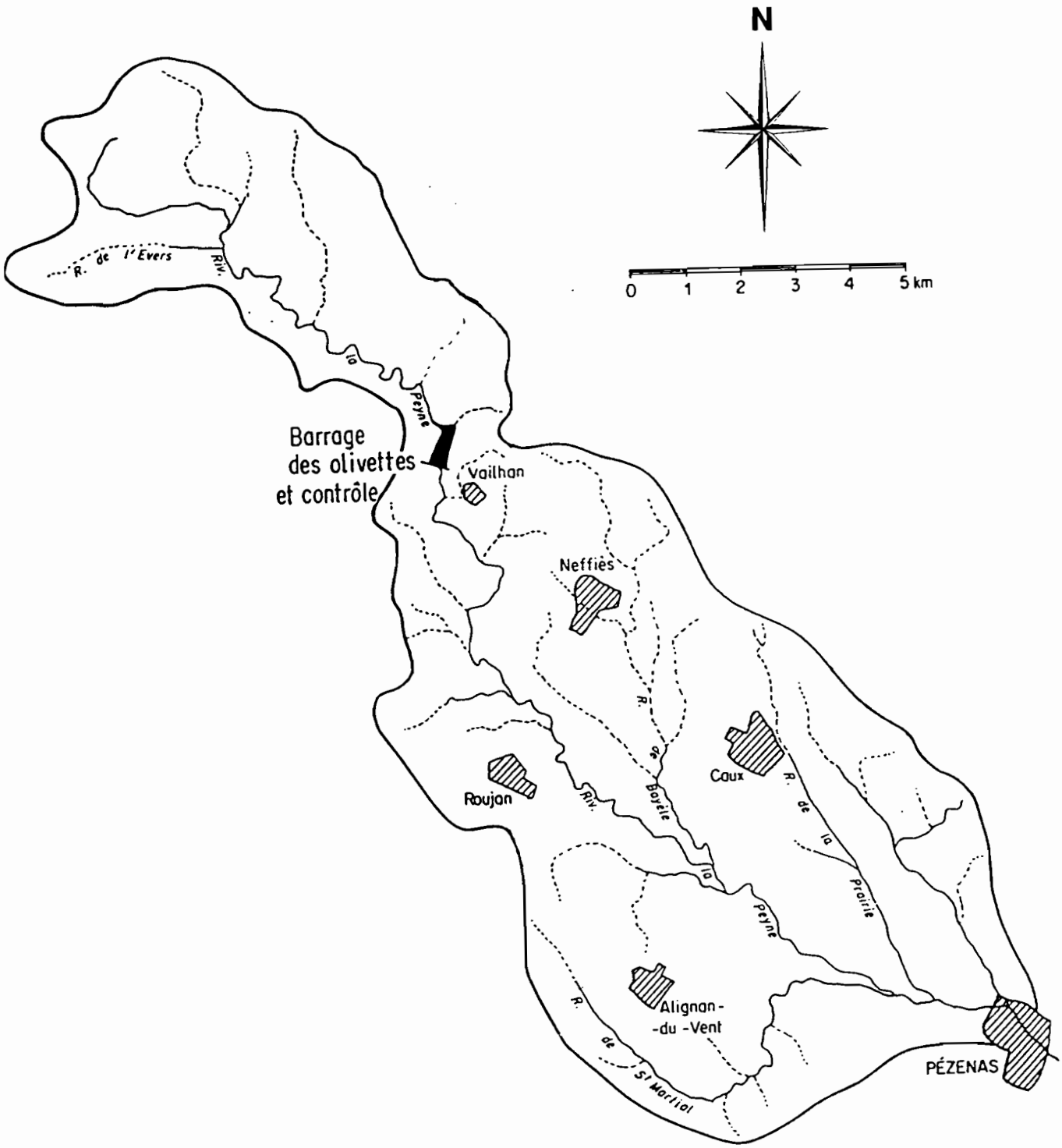


figure 4.7 - Bassin versant de la Peyne

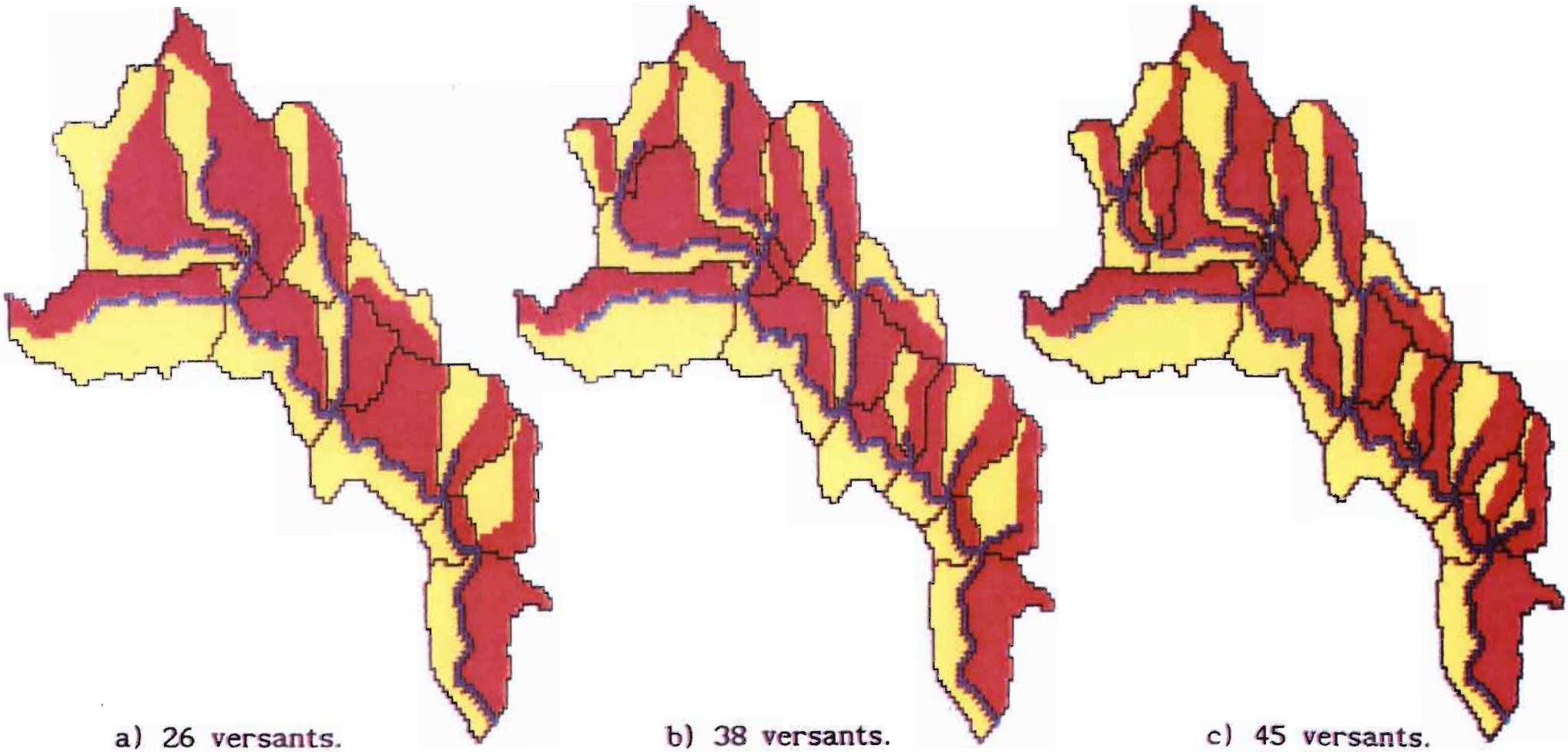


figure 4.8 - Trois découpage du bassin versant de la Peyne

Légende

- Limites de bassins-versants.
- Réseau hydrographique.
- Versants rive droite.
- Versants rive gauche.

4.4.3 - DONNEES

- précipitation

Les données pluviométriques sont disponibles au pas de temps journalier pour la période 1985/1986 (tableaux F13 à F16). On a utilisé deux stations de mesures pluviométriques:

- Vailhan (sur le barrage);
- Pezenes les Mines.

Le modèle de bilan hydrique journalier nécessite en entrée la pluie journalière relative à chaque sous-bassin, celle-ci a été prise égale aux mesures faites à la station pluviométrique la plus proche:

- débits

Nous avons utilisé les données des débits de la station de Vailhan. Ces données sont disponibles au pas de temps journalier pour la période 1985/1986 (tableaux F1 et F2). Le tableau 4.2 présente le débit moyen mensuel à la station de Vailhan. Ces débit constituent l'information hydrologique de base pour l'ajustement du modèle sur le bassin de la Peyne.

- sol

Le sol du bassin est essentiellement limono-argilo-sableux et caillouteux. Grâce au travail de CLAPP & HORNBERGER (1978) et en fonction du type de sol, on a estimé les paramètres de la relation entre le potentiel matriciel du sol et la teneur en eau volumique (paramètres a et b de l'équation 3.17).

CLAPP & HORNBERGER (1978) ont donné des indications sur la teneur en eau volumique moyenne à saturation et sur la conductivité hydraulique moyenne à saturation en fonction du type de sol.

SISSON et al. (1980) ont considéré un modèle pour évaluer le drainage en fonction des paramètres physiques du sol. Ils ont admis l'hypothèse d'un gradient unitaire du potentiel hydrique de surface du sol. Ils ont utilisé trois modèles différents pour évaluer la conductivité hydraulique avant saturation (WATSON, DAVISON et BROOKS & COREY).

On a utilisé le modèle de SISSON (1980) avec le modèle de WATSON pour évaluer les paramètres de la courbe de drainage du modèle QUERCUS (équation 3.23).

- rayonnement global

On a utilisé des données journalières observées de l'INRA-STFCE Montpellier pour l'année 1985 (tableau F3 et F4). Pour l'année 1986 on a utilisé des données journalières observées à Fréjorgues.

- température

Pour décrire l'évolution journalière de la température le modèle QUERCUS utilise les températures maximales et minimales de 24 heures. Les informations des températures maximales et minimales étaient disponibles en deux stations (tableau F5 à F12):

- Vailhan;
- Pezenes les Mines.

4.4.4 - AJUSTEMENT DU MODELE

Nous avons calibré le modèle en considérant le bassin de la Peyne dans trois situations différentes:

- plan horizontal;
- plan incliné;
- deux plans inclinés.

Dans le processus d'ajustement du modèle on a simulé divers ensembles de paramètres pour décrire les débits observés. On a retenu l'ensemble de paramètres qui décrit au mieux l'évolution des débits observés. Cet ensemble de paramètres a été utilisé pour la simulation des trois discretisations spatiales réalisées (bassin-1, bassin-2 et bassin-3).

La répartition spatiale de la pluie et de la température a été considérée à travers la prise en compte d'un coefficient de correction des mesures des stations de Vailhan et de Pezenes. Ce coefficient est proportionnel à la surface

d'influence de chaque station, soit 0,25 la station de Vailhan et 0,75 pour celle de Pezenes.

a) bassin plan horizontal

Dans la première version on a simulé le bassin de la Peyne comme un bassin plan horizontal (pente = 0).

Le résultat du processus d'ajustement est présenté dans la figure 4.9, dans laquelle on peut observer que:

- en général le modèle a bien répondu à la simulation;
- de janvier/1986 à avril/1986 l'augmentation de débit a été bien reproduite par le modèle;
- la grande crue du mois d'octobre/1986 n'a pas été bien reproduite par le modèle. Cette crue a été provoquée par un ruissellement important dû une précipitation intense;
- deux petites crues en février/1985 et avril/1985 n'ont pas été bien simulées.

Avec l'ensemble des paramètres obtenu dans le processus d'ajustement, on a simulé les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3). Les résultats sont présentés dans les figures 4.10 et 4.11. Les remarques suivantes peuvent être faites:

- les débits simulés pour les trois découpages sont pratiquement en coïncidence;
- de janvier/1986 à avril/1986 les débits simulés pour les trois découpages sont supérieurs aux débits observés, et aux débits simulés sur le bassin plan horizontal;
- au mois d'octobre/1986, les débits pour les trois découpages sont supérieurs à ceux du bassin plan horizontal, mais ils sont inférieurs aux débits observés;
- en général, les débits pour les trois découpages sont supérieurs à ceux du bassin plan horizontal;
- les ETP mensuelles simulées pour les trois découpages sont en coïncidence et sont inférieures à celles du bassin plan horizontal. Cet effet est dû à différence de quantité d'énergie reçue par un bassin dont on prend en compte la pente et l'orientation des terrains;
- la transpiration simulée pour les trois découpages est, en général, inférieure à celle du bassin plan horizontal, bien

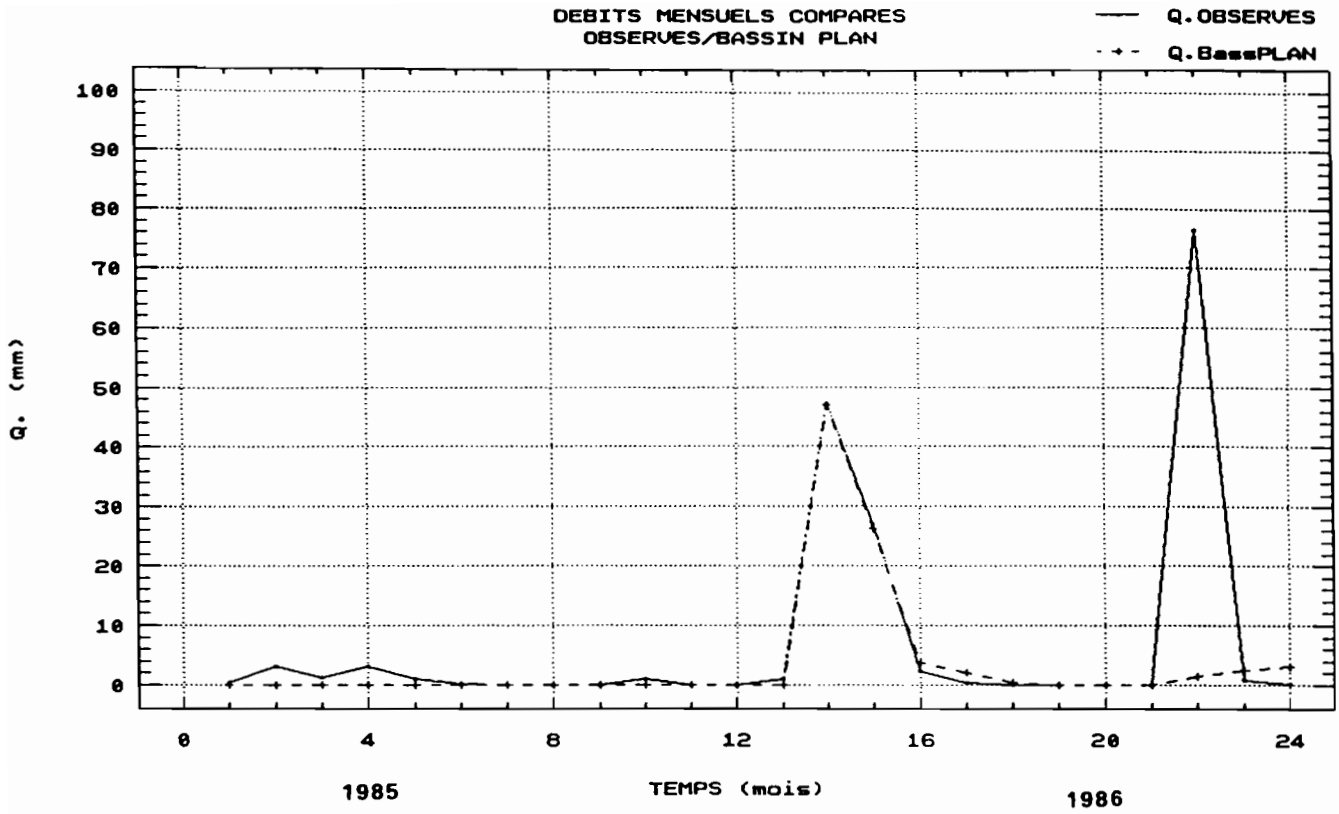


figure 4.9 - Débits mensuels comparés observés/calculés bassin plan horizontal - 1985/1986

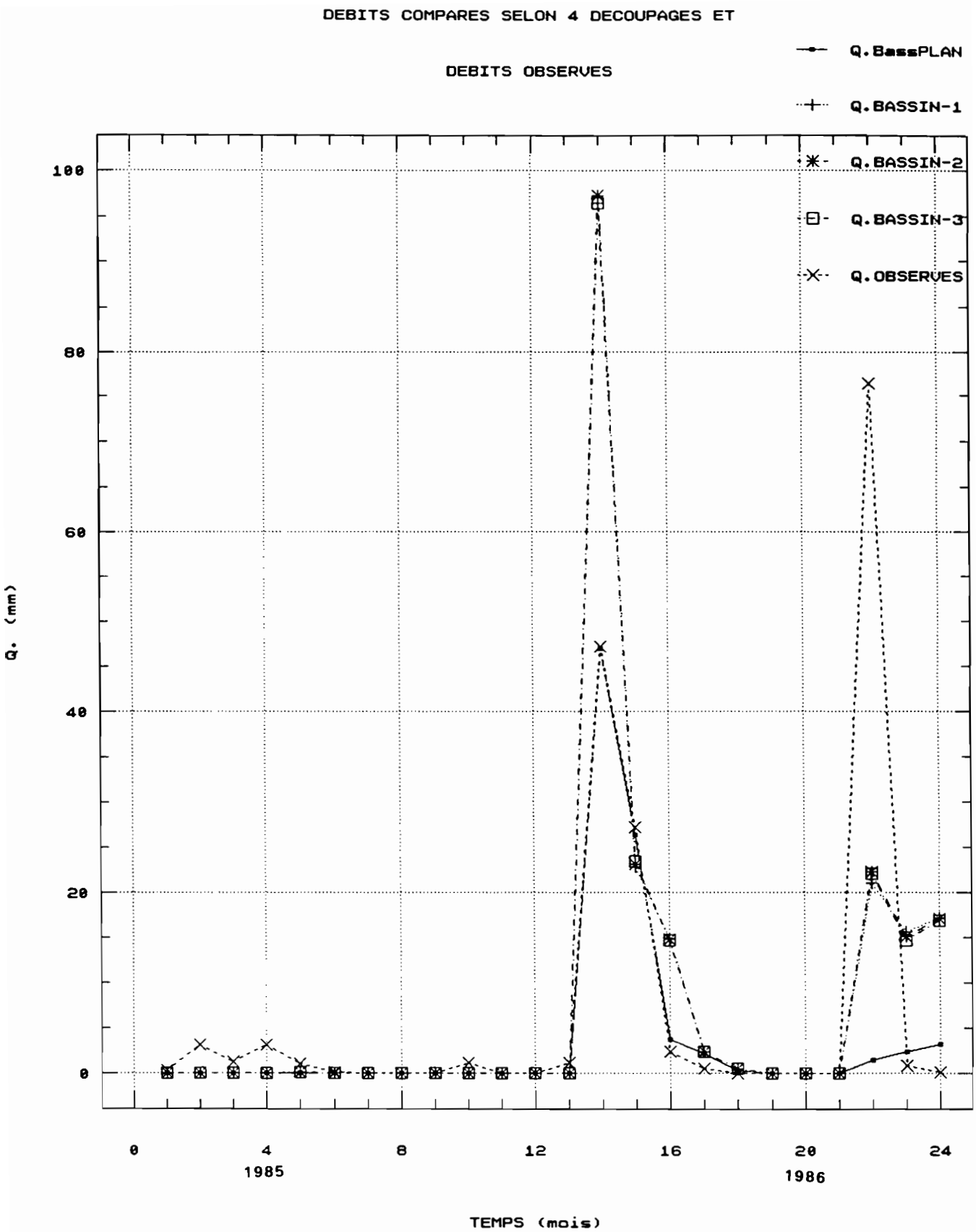
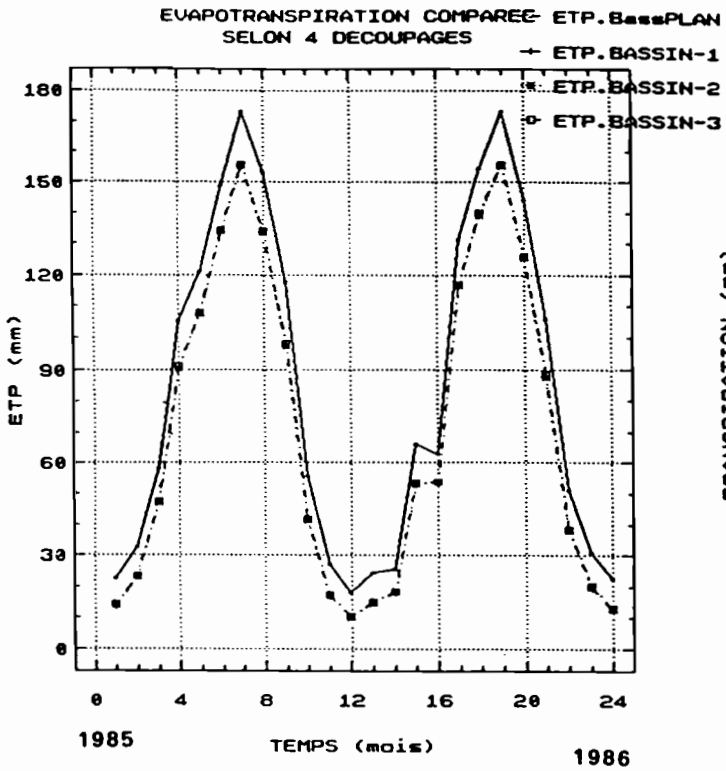
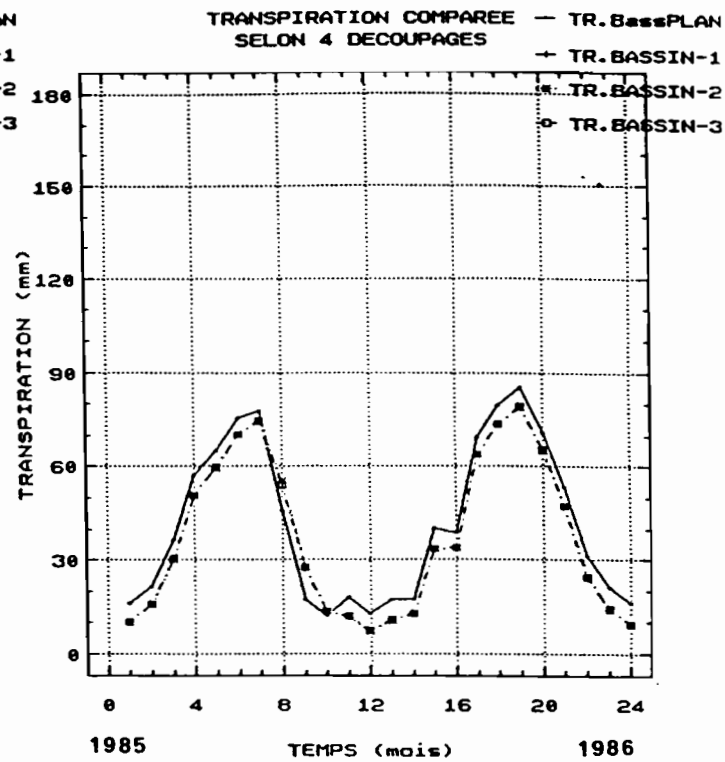


figure 4.10 - Débits mensuels comparés selon trois découpages et débits observés





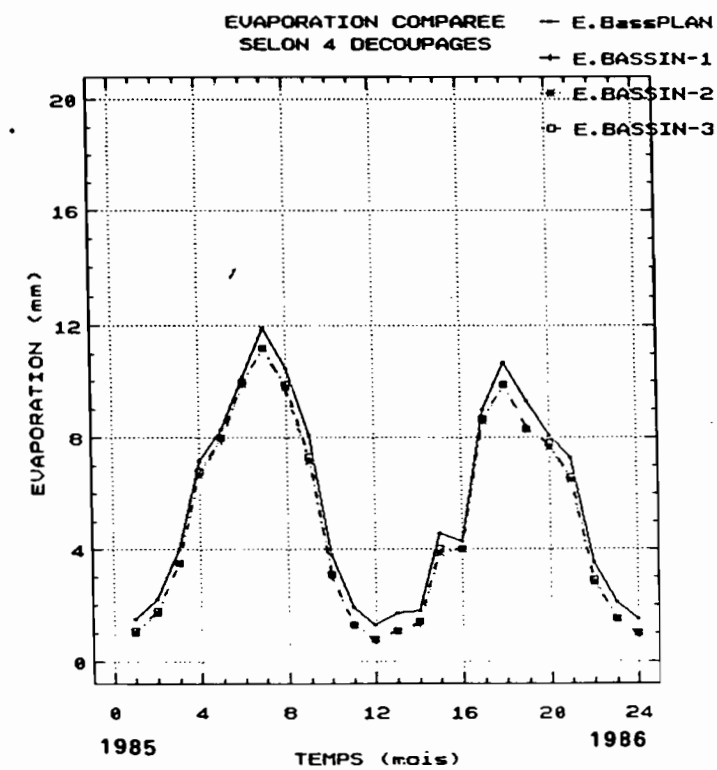


figure 4.11 - ETP, transpiration et évaporation du sol comparées selo trois découpages et la bassin plan horizontal (1986/1986)

qu'entre juillet/1985 et octobre/1985 elle soit supérieure. Dans cette dernière période l'effet du stress hydrique a été atténué du fait d'une disponibilité en eau plus élevée en été;

Au niveau journalier, les figures E1 à E5 présentent l'évolution de la moyenne mobile de 7 jours du rayonnement global, de l'évapotranspiration potentielle, de la transpiration, de l'évaporation du sol et du stock d'eau dans le sol. On observe:

- en fonction de l'effet du relief , l'énergie incidente sur les trois découpages est inférieure à celle arrivant sur le bassin horizontal;
- il n'y a pas de différence significative entre les trois découpages par rapport au bassin horizontal, lorsqu'on regarde le rayonnement global, l'évapotranspiration potentielle, la transpiration, l'évaporation du sol et le stock d'eau;
- la transpiration et l'évaporation du sol pour les trois découpages sont inférieures à celles du bassin plan horizontal;
- la variation du stock d'eau dans le sol pour les trois découpages est également plus faible que celle obtenue sur le bassin plan horizontal.

- discussion - bassin horizontal et les trois découpages

L'effet du relief a produit une diminution de l'énergie incidente par rapport au bassin horizontal. Il en résulte une diminution de la transpiration et de l'évaporation du sol (effet direct).

La division progressive en sous-bassins (bassin-1, bassin-2 et bassin-3) n'a pas montré une différence significative sur la transpiration, l'évaporation du sol et le stock d'eau.

La diminution de l'énergie incidente entraîne une diminution de la perte d'eau par évaporation, une augmentation du stock d'eau et une augmentation des débits, pour la période de janvier à avril/1986.

Avec ces résultats nous avons décidé de simuler seulement le premier découpage (bassin-1) pour les deux prochaines versions, un seul plan incliné et deux plans inclinés.

Pour mieux vérifier les effets sur l'évapotranspiration potentielle, l'évaporation et le stock d'eau, on a simulé 4 sous-bassins dans le premier découpage (bassin-1, tableau E1), les sous-bassins sont:

- rive 1 droit (orientation SW-W);
- rive 2 gauche (orientation W-NW);
- rive 9 gauche (orientation N);
- rive 13 gauche (orientation NE-E).

Pour la simulation on a utilisé le même ensemble de paramètres obtenu dans le processus d'ajustement de la première version (bassin plan horizontal). Les résultats de la simulation au niveau mensuel sont présentés dans les tableaux E4 à E7. Au niveau journalier ils sont présentes dans les figures E6 à E10.

Les sous-bassins rives 2, 9 et 13 montrent, pratiquement, les mêmes valeurs de la pente et de l'indice foliaire (tableau E5,E6 et E7). L'orientation est le paramètre divergent entre les sous-bassins. Sur ces résultats (tableau E5 à E7) on peut observer que:

- le sous-bassin rive 2 (orientation W-NW) présente la plus grande valeur d'ETP (fonction directe de l'énergie incidente);
- le sous-bassin rive 3 (orientation NE-E) présente une valeur d'ETP 45% inférieur à celle du sous-bassin rive 2 (tableaux E7 et E4), mais, dans la même période, la percolation a été 85% plus grande. Ces chiffres montrent bien l'importance de l'orientation.

Le sous-bassin rive 1 droite (orientation N) ont, pratiquement, les même valeurs d'ETP simulée (tableau E4 et E6). La différence entre les deux est due à la valeur d'indice foliaire, laquelle est 50% inférieure pour la rive 1. Dans cette condition on peut observer que:

- la transpiration simulée du sous-bassin rive 1 a été 7% inférieur;
- l'évapotranspiration du sol simulée du sous-bassin rive 1 a été 50% supérieure;

- la percolation simulée du sous-bassin rive 1 a été 37% inférieure.

Au niveau journalier, on peut observer (figures E6 à E11 - rive 1 et 9) que:

- l'évaporation du sol pour la rive 1 (figure E8) en été/1987 a présenté une diminution plus marquée, cela en raison l'absence de protection du couvert végétal;

- l'évaporation du sol pour les rive 9 et 13 (figure E9) a présenté une faible variation par rapport à celle du bassin plan horizontal;

- le stock d'eau pour le bassin rive 2 gauche (figure E10) a été supérieur par rapport à celle du bassin plan horizontal. Dans la même période, on a vérifié que la transpiration a été supérieure à celle des autre rives, tandis que la percolation a été inférieure.

b) bassin plan incliné

Dans le seconde version on a simulé le bassin de la Peyne comme un bassin plan incliné avec une seule orientation. Ces deux valeurs on a calculé par une moyenne pondérée par rapport de la surface des sous-bassins du premier découpage (bassin-1). Les résultats du processus d'ajustement sont présentés dans la figure 4.12, dans laquelle on peut observe que:

- en général le modèle a bien répondu à la simulation;

- de janvier/1986 à avril/1986, l'augmentation du débit a été bien reproduite par le modèle;

- la grande crue du mois d'octobre/1986 n'a pas été bien reproduite par le modèle, comme cela avait été observée dans le calage du modèle plan horizontal et pour les mêmes raisons.

Avec l'ensemble des paramètres obtenus dans le processus d'ajustement, on a simulé le premier découpage (bassin-1). Les résultats sont présentés dans les figures 4.12 et E12 à E14. Les remarques suivantes peuvent être faites:

- de janvier/1986 à avril/1986 les débit simulés pour le premier découpage sont inférieurs aux débits observés, et aux débits simulés sur le bassin plan incliné;

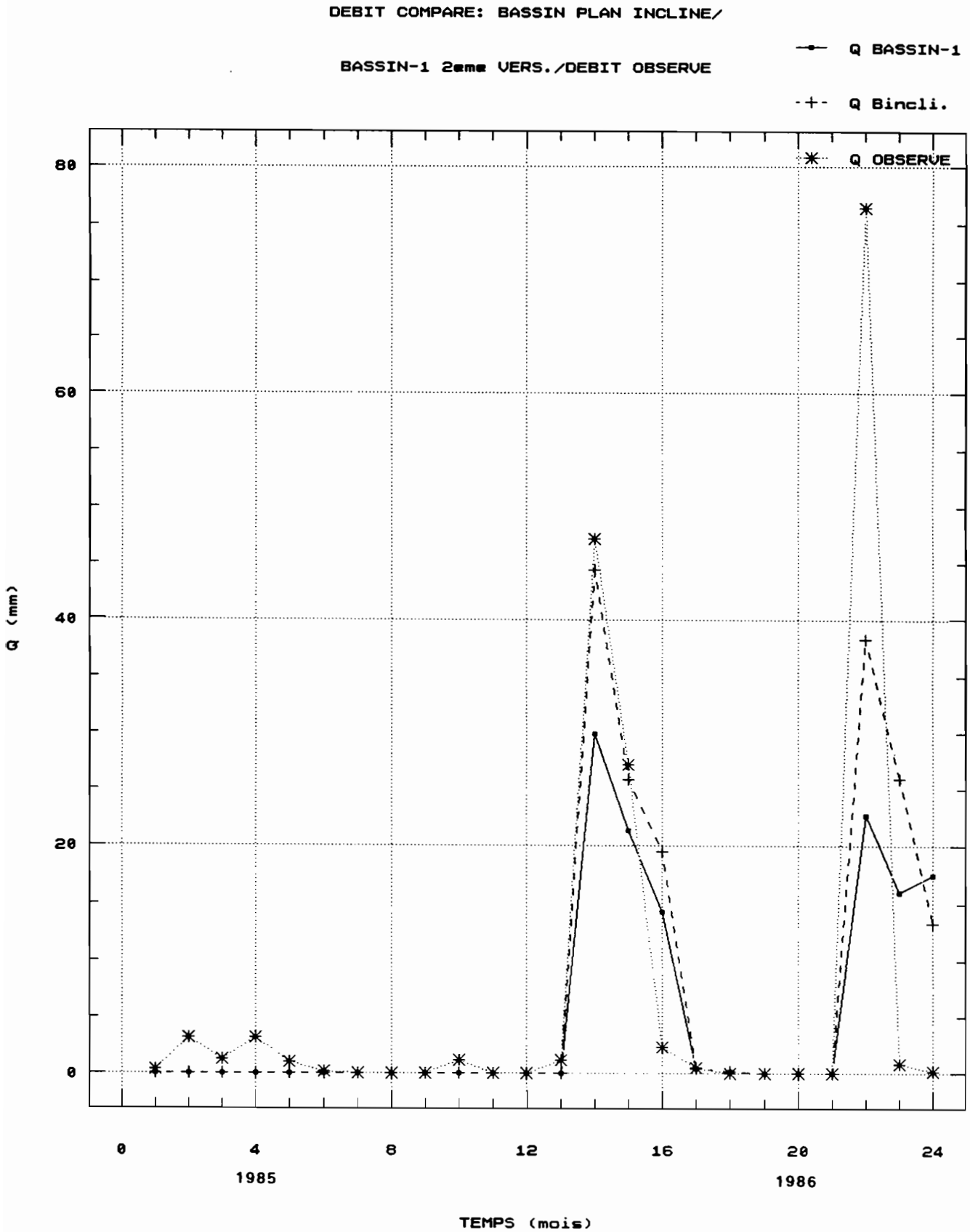


figure 4.12 - Débits mensuels comparés selon 1° découpage (bassin-1) plan incliné et observés

- au mois d'octobre/1986, les débits pour le bassin-1 sont inférieurs à ceux du bassin plan incliné et aux débits observés (figure 4.12);

- en général, les débits pour le bassin-1 sont inférieurs à ceux du bassin plan incliné (figure 4.10);

- les ETP mensuelles simulées par le premier découpage sont supérieures à celles du bassin plan incliné. Cet effet est dû une à plus grande quantité d'énergie incidente calculée pour le bassin incliné;

- la transpiration simulée pour le bassin-1, en général, est supérieure à celle du bassin plan incliné, bien qu'entre juillet/1985 et octobre/1985 elle soit inférieure. Cet effet est dû à une limitation en eau dans le sol, lequel a produit un stress hydrique important au mois de juillet/1985 (figure E13).

- discussion bassin plan incliné

La prise en compte de la pente et de l'orientation dans le bassin plan incliné (bassin-1) a joué un rôle favorable à l'augmentation de l'énergie incidente. L'augmentation de l'énergie incidente entraîne une augmentation de la perte d'eau et une diminution des débits.

c) bassin deux plans inclinés

Dans la troisième version on a simulé le bassin de la Peyne comme un bassin avec deux plans inclinés, plan droit et gauche. Les valeurs de pente et d'orientation par chaque plan a été calculé par une moyenne pondérée par rapport à la surface des sous-bassins du premier découpage (bassin-1). Le résultat du processus d'ajustement est présenté dans la figure 4.13, dans laquelle on peut observer que:

- le modèle a aussi bien répondu à la simulation;

- la grande crue du mois d'octobre/1986 n'a pas été bien reproduite par le modèle, toujours pour la même raison.

Avec l'ensemble des paramètres d'ajustement, on a simulé le premier découpage (bassin-1). Les résultats sont présentés

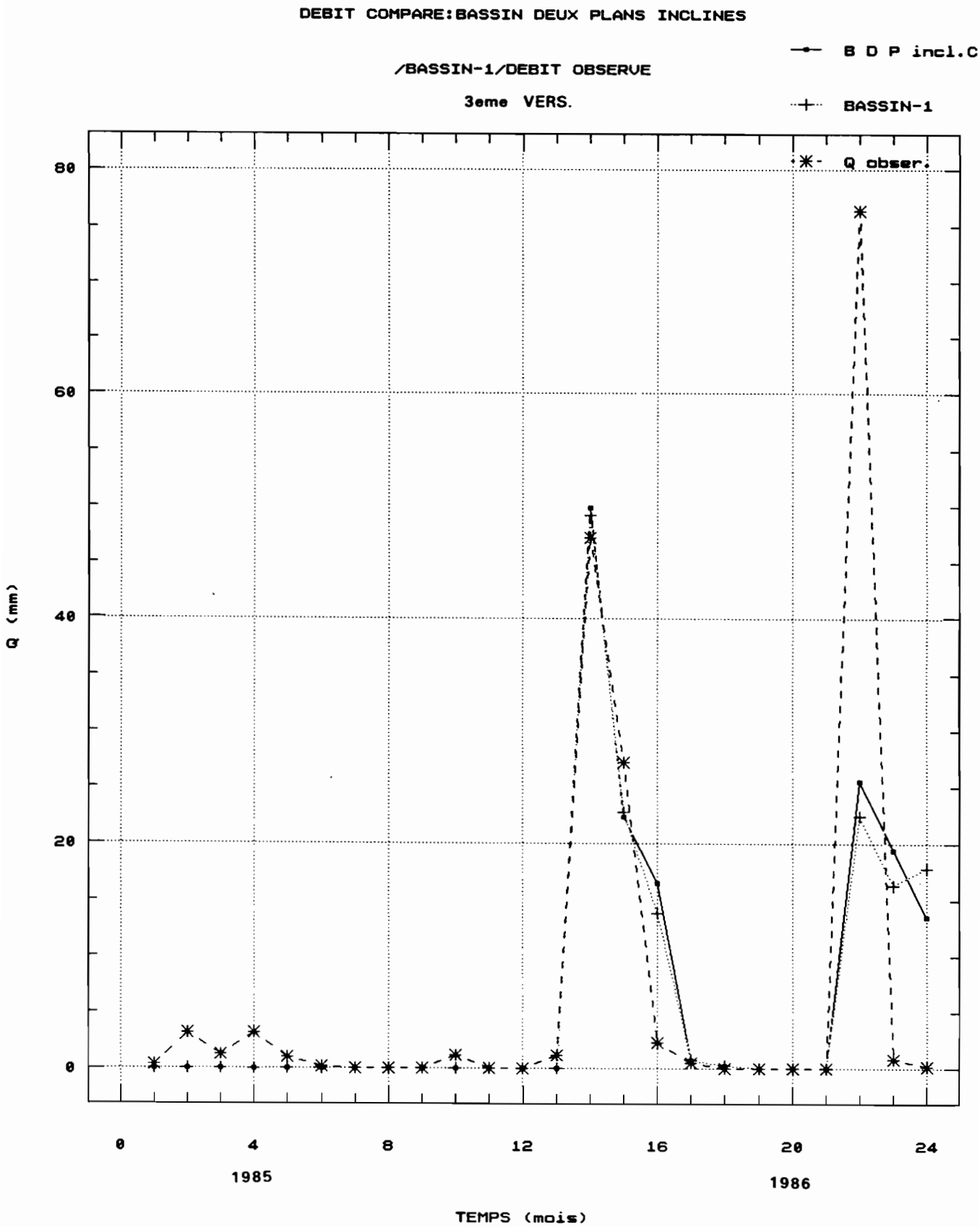


figure 4.13 - Débits mensuels comparés selon 2° découpage (bassin-1) plan incliné et observés

dans les figures 4.13 et E15 à E17. Les remarques suivantes peuvent être faites:

- en général, les débits pour le bassin-1 ont très bien répondus à la simulation (figure 4.13);
- au mois d'octobre/1986, les débits pour le bassin-1 sont inférieurs aux débits observés (figure 4.13);
- l'ETP, la transpiration et l'évaporation du sol simulés sont en bonne concordance.

- discussion - bassin deux plans inclinés

L'évaluation d'énergie incidente avec deux plans inclinés (rive droite et gauche) s'est montré efficace pour calculer l'énergie moyenne incidente sur le bassin découpé.

4.5 - DISCUSSION

Nous avons vu l'importance des variations d'ensoleillement dans la simulation de la Peyne.

La pente et l'orientation a joué un rôle fondamental pour le suivi du bilan hydrique au niveau du bassin.

La division progressive en sous-bassin (bassin-1, bassin-2 et bassin-3) n'a pas apporté une différence significative.

Le modèle, en général, a bien répondu à la simulation, notamment, lorsque on a utilisé les paramètres déterminés dans la simulation de la troisième version (bassin deux plans inclinés).

La grande crue du mois d'octobre/1986 n'a pas été bien reproduite par le modèle, ce qui pesait tout à fait normal en l'absence de prise en compte du ruissellement dans le modèle.

Pour les 2 années de la simulation (1985/1986), les hauteurs des précipitations sont très différentes, 512 et 933 mm respectivement. Les valeurs de la transpiration sont au contraire proches, 411 et 458 mm. Elles représentent respectivement 80% et 50% des totaux précipités. Ce qui démontre bien l'importance de la transpiration dans le bilan hydrique de la Peyne. L'évaporation du sol représente 14% et 12% du total transpiré.

Les précipitations sur le bassin de la Peyne génèrent des écoulements très variés, 9.8mm en 1985 et 155 mm en 1986. Le modèle a donné (avec la troisième version - bassin-1) 0 mm en 1985 et 148 mm en 1986. D'une façon général, le modèle a donc donné de bons résultats pour la simulation des débits.

5 - CONCLUSION

La connaissance du flux de sève d'un élément végétal est une information de grand intérêt car:

1) elle nous donne la quantité d'eau utilisée par un végétal conditionné par les facteurs climatiques;

2) elle permet connaître la physiologie des végétaux dans le domaine hydrique;

3) elle donne la possibilité de séparer le flux évaporatif des plantes et celui du sol couvert ou non d'une végétation secondaire. De nombreuses méthodes, comme les méthodes d'observation de l'évolution du stock d'eau du sol, ne permettent pas d'identifier chacune des composant;

4) elle donne une meilleure évaluation de la transpiration sur un écosystème pour estimer de façon plus convenable les termes du bilan hydrique sur un bassin versant.

Les sondes Granier sont adaptées à l'estimation du flux de sève sur les arbres adultes en milieu forestier. Cette méthode présente divers avantages, qui permet d'évaluer la transpiration au niveau du fonctionnement hydrique d'un élément végétal et d'un écosystème ou d'un bassin versant.

L'analyse de la mesure du flux de sève pour le chêne vert, avec les paramètres du climat, a montré la complexité des échanges d'eau, liés à la disponibilité en eau, à l'état hydrique de l'arbre et la demande transpiratoire.

Le calcul de la transpiration par la méthode de Granier présente deux grands problèmes, liés à l'estimation de deux surfaces:

- la surface du bois d'aubier;
- la surface d'extraction racinaire.

Ces deux surfaces sont difficiles à évaluer bien qu'elles soient fondamentales pour la définition du taux de transpiration.

Quand nous avons comparé les valeurs de la transpiration calculées et l'ETP, nous avons observé une tendance à une surestimation à l'approche en hiver. Ce comportement a limité

l'utilisation de ces données pour la modélisation de la transpiration.

La modélisation du fonctionnement hydrique du chêne vert par le modèle QUERCUS pour l'ensemble de la période, a donné une réponse très satisfaisante. Cependant au niveau mensuel, on a observé une tendance à la surestimation des valeurs simulées sur quelques mois et par contre une sous-estimation pour les autres. L'évolution de la transpiration calculée sur quelques périodes ne peut pas s'interpréter avec les informations disponibles, ceci peut être expliqué par deux points importants:

- la grande complexité du phénomène de la transpiration;
- les imprécisions dues à la méthode de calcul.

Nous croyons que ces deux points interviennent simultanément de façon différente selon le mois.

La modélisation du phénomène d'évapotranspiration (comme un phénomène régional) a montré que le relief est un paramètre très important pour la définition des valeurs des termes du bilan hydrique sur le bassin de la Peyne.

La topographie intervient sur la réception de l'énergie solaire de façon très variée dans le temps et dans l'espace. Elle intervient directement selon la pente qui influence la quantité d'énergie reçue à un instant précis. L'orientation détermine la durée d'ensoleillement et influence aussi l'angle d'incidence.

Le modèle a montré que la division progressive de la Peyne en sous-bassin n'a pas apporté une différence significative des paramètres simulés.

Le modèle n'a pas bien reproduit la grande crue observée, car il manque une prise en compte plus élaborée d'un processus de surface.

Nous avons trouvé que les taux annuels de transpiration dans le bassin de la Peyne pour les deux années 1985/1986 sont respectivement 80% et 50%, par rapport aux totaux précipités. Ce qui démontre bien l'importance de la transpiration dans le bilan hydrique.

BIBLIOGRAPHIE

AUSSENAC, G., 1970 - Aperçu du rôle dee la forêt dans l'économie de l'eau - **Revue Forestière Française,** juin vol n°; XXII.

BALEK, J.; PAVLIK, O., 1977 - Sap stream velocity as an indicator of the transpiration process - **Journal of Hydrology,** vol 34: 193-200.

BONAN, G. B., 1989 - A computer model of the solar radiation, soil moisture, and soil thermal regimes in Borel forests - **Ecological Modelling**, 45, 275-306.

BROUCHET, P. et GERBIER, N., 1974 - L'Evapotranspiration, aspect agrométéorologique évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle - Monographie N°65 de la Météorologie Nationale.

Brock, T. D., 1981 - Calculation solar radiation for ecological studies - **Ecological Modelling,** 14, 1-19.

CANCIGH, O., 1980 - Topographie et rayonnement solaire, Mémoire de recherche, U. E. R. de Géographie, Montpellier.

CLOSS, T. L., 1958 - The heat pulse method for measuring rate sap flow in a plant stem - **New Zealand Journal of Science,** vol 1, (2): 281-288.

COHEN, S.; FUCUS, M.; MORESHET, S.; COHEN, Y., 1987 - The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a Shamouti Orange Hedgerow Orchard - **Agricultural and Forest Meteorology**, 40, 145-162.

COHEN, Y.; FUCUS, M.; GREEN, G. C., 1981 - Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees - **Plant, Cell and Environment,** 4, 391-397.

COHEN, S.; FUCUS, M., 1987 - The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a Shamouti Orange Hedgerow Orchard - **Agricultural and Forest Meteorology**, 40, 123-144.

DAUM, C. R., 1967 - A method for determining water transport in trees - **Ecology**, vol. 48: 425- 431.

DECKER, J. P.; GAYLOR, W. G.; COLE, F. D., 1962 - Measuring the transpiration of undisturbed tamarisk shrubs - **Plant Physiology**, vol 37: 393-397.

DECKER, J. P.; SKAU, C. M., 1964 - Simultaneous studies of transpiration rate and sap velocity in trees - **Plant Physiology**, vol 39: 213-215.

DOGNIAUX, R. et LEMOINE, M., 1976 - Programme de calcul des éclairements énergétiques et lumineux de surfaces orientées et inclinées, **I. R. M.**, Misc., série C, n° 14.

DOLEY, D., 1967 - Water relations of eucalyptus marginata under natural condition - **Journal of Ecology**, vol 55 (3): 597-614.

EHLERINGER, J. R.; HAMMOND, S. D., 1987 - Solar tracking and photosnythesis in cotton leaves - **Agricultural and Forest Meteorology**, 39, 25-35.

FLINT, A. L.; CHILDS, S. W., 1987 - Calculation of solar radiation in mountainous terrain - **Agricultural and Forest Meteorology**, 40, 233-249.

FLOHN, H., 1969 - CLimate and weather - General climatology vol. 2, New York, Mc Graw-Hill, 243 p.

GARNIER, B. J., OHMURA, A., 1968 - A method of calculating the direct shortwave radiation income of slopes - **J. of Applied Meteorol.**, 7(5), 796-800.

GARNIER, A., 1985 - Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres - **Annales des Sciences Forestières**, vol. 42 (2): 193-200.

GARNIER, A., 1987 - Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique - **Annales des Sciences Forestières**, vol. 44 (1): 1-14.

GARNIER, A., 1987 - Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements - **Tree Physiology**, vol. 3: 309-320.

GIFFORD, G. F., 1968 - Apperent sap velocities in big sagebrush as related to nearby environment - **Jorunal of Range Management**, vol. 21 (4): 266-268.

GUEYMARD, C., 1975 - Influence de la topographie sur la distribution du rayonnement solaire calcul théorique, cartographie et application pratique pour le Massif des Alberes - Mémoire DEA d'Ecologie, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 63 p.

HASLER, R., 1982 - Net photosyntesis and transpiration of Pinus montana on east and north facing slopes at alpine timberline - **Oecologia** 54: 14-22.

HINCKLEY, T. M., 1970 - Estimate of water flow i Douglas-Fir seedlings - **Ecology**, vol. 52: 525- 528.

HUFTY, A.; DAVY, L.; THERIAULT, M.; CANCIGH, O., 1986 - Le rayonnement solaire dans la Région de Montpellier - Les effets du relief, **Méditerranée**, n° 3, 43-59.

HUMPHIRIES, W.; GIFFORD, G. F., 1984 - A preliminary quantification of the impacts of aspen to Conifer succession on water yield - I. heat pulse methodology for model calibration - **Water Resouces Bulletin**, vol. 20 (2): 173-179.

JAHNKE, L. S.; LAWRENCE, D. B., 1965 - Influence of photosynthetic crow struture on potential productivity of vegetation, based primarily on mathematical models - **Ecology**, vol. 46, n° 3, 320-326.

KLINE, J. R.; MARTIN, J. R.; JORDAN, C. F.; KORANDA, J. J., 1970 - Measurement of transpiration un tropical trees using tritiated water - **Ecology**, vol. 5 (6): 1068-1073.

KLINE, J. R.; REED, K. L.; WARING, R. H.; STEWART, M. L., 1976 - Fied measurement of transpiration in Douglas-Fir - **Ecology**, vol. 13 (1): 273-284.

LADEFOGEDD, K., 1964 - A method for measuring the water consumption of larger intact trees - **Physiologia Plantarum**, vol 13: 648-658.

LANG, A. R. G., 1987 - Simplified estimate of leaf area index from transmittance of the sun's beam - **Agricultural and Forest Meteorology**, 41, 179-186.

LASSOIE, J. P.; SCOTT, D. R. M.; FRITSCHEN, L. J., 1977 - Transpiration studies in Douglas-fir using the heat pulse technique - **Forest Science**, vol. 23 (3), 377-390.

LEBEL, T., 1990 - Le transfert d'échelle en hydrologie: conception ou confusion? - Séminfor 4, Quatrième séminaire informatique de l'ORSTOM, Centre de Brest du 11 au 13 septembre

LEE, R., 1964 - Potential insolation as a topoclimatic of drainage basins, **Int. Ass. Sci. Hydrol. Bull.**, 9(1), 27-41.

LEE R. et BAUMGARTNER A., 1966 - The topography and insolation climate of mountainous forest area - **Forest. Sci.**, 12: 258-267.

LEE, R., 1963 - Evaluation of solar beam irradiation as a climatic parameter of mountain watersheds - **Hydrology Papers Colorado State University**, vol. 2, 50 pp.

LINAGRE, E. T. , 1969 - Net radiation to various surfaces - **J. of Ecology**, 6,(1): 61-73.

LOUDON, A. G.; PETHERBRIDGE, P.,1965 - Solar radiation on inclined surfaces - **Nature** 206: 603-604.

MAHBOUBI, A. A., 1980 - Etude in-situ du bilan hydrique pour quelques graminées: extraction de l'eau par le système racinaire et résistance à la sécheresse - Thèse 3ème cycle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 205 p.

MARK, W. R.; CREWS, D. L., 1973 - Heat-pulse velocity and bordered pit condition in living engelmann spruce and lodgepole pine trees - **Forest Science,** vol. 19 (4), 291-296.

MARSHALL, D. C., 1958 - Measurement of sap flow in conifers by heat transport - **Plant Physiology,** vol. 33 (6), 385-396.

MAZIOTI, T., 1987 - Evaluation des proprietes hydrodynamiques du sol - ENSAM Rapport de DEA, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 44p.

MILLER, D. R.; VAVRINA, C. A.; CHRISTENSEN; T. W., 1980 - Measurement of sap flow and transpiration in Ring-porous Oaks using a heat pulsr velocity technique- **Forest Science,** vol. 26 (3), 485-494.

MIRONOVITCH V. et MOUSSIEGT J., 1937 - Détermination des pertes d'insolation dues au relief dans une station climatologique de montagne - **La Météo.**, Maio-Juin.

MOUSSA, R., 1991 - Variabilité spatio-temporelle et modelisation hydrologique - These, Université de Science et Techniques du Languedoc, Montpellier, 313 p.

MUSY, A. et SOUTTER, M., 1991 - Physique du sol - Collection Gérer l'Environnement, Presses Polytechniques et Universtaires Romandes, première edition.

OGULA, M. E., 1987 - Estimation de la transpiration d'un chêne vert par la mesure du flux de sève - Rapport de DEA, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 79p.

OWSTON, P. W.; SMITH, J. L.; HALVERSON,H. G., 1972 - Seasonal water movement in tree stems- **Forest Science,** vol. 18 (4): 266-172.

PARKER, J., 1957 - The cut-leaf method and estimation of diurnal trends in transpiration from different heights and sides of an oak and a pine - **Botanical Gazette,** vol. 119 (2): 93-101.

PINAULT, N., 1991 - Rapport d'ua libre de troissième sequence "Pipe-Model" - ENSAM Rapport, Montpellier, 30p.

PINAULT, N., 1992 - Influence de la végétation sur la ressource en eau du bassin versant de la Peyne - DAA, ENSAM Rapport, Montpellier.

PLANCHON, O., 1990 - Transfert d'échelle et étude des ecoulements de surface sur une pente - Séminfor 4, Quatrième séminaire informatique de l'ORSTOM, Centre de Brest du 11 au 13 septembre

RAMBAL, S., 1984 - Water balance and pattern of root water uptake by a Quercus coccifera L. evergreen scrub. - **Oecologia** (Berl.), 62: 18-25.

RAMBAL, S., 1987 - Evolution de l'occupation des terres et ressources en eau en région méditerranéenne Karstique - **J. Hydrol.**, 93, 339-357.

RAMBAL, S., 1990 - The differential role of mechanisms for drought resistance in a Mediterranean evergreen shurb: a simulation approach - **Plant, Cell and Environment,** Submitted.

RAMBAL, S., 1991 - 2030: Conjecture sur la ressource en eau en Languedoc Karstique - **La Météorologie**, 38: 2-7.

RIOU, C.; VALANCOGNE, C. et PIERI, P., 1989 - Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne-vérification expérimentale - **Bioclimatologie**, 9, 441-450.

ROBINSON, N., 1966 - Solar radiation - Elsevier Publishing Company, Netherlands.

SINOQUET, H., 1989 - Modélisation de l'interception des rayonnements solaires dans une culture en rangs - **Bioclimatologie**, 9, 125-135.

SWANSON, R. H. ; LEE, R., 1966 - Measurement of water movement from and through shrubs and trees - **Journal of Forestry**, vol. 64 (3): 187-190.

SWANSON, R. H., 1972 - Water transpired by trees is indicated by heat pulse velocity - **Agricultural Meteorology**, vol. 10 (4): 277-281.

SHAW, C. B.; GIFFORD, G. F., 1975 - Sap velocity studies in natural stands of pinyon and juniper trees - **Jorunal of Range Management,** vol. 28 (5): 377-379.

SWIFT, L. W.,Jr, and K. R. KNOERR, 1973 - Estimating solar radiation on mountain slopes - **Agr. Meteorol.**, 12, 329-336.

SWIFT, L. W.,Jr, 1976 - Algorithm for solar radiation on mountain slopes - **Water Resources Reserch**, vol. 12, n° 1, 108-112.

TARDY, Y., 1986 - Le cycle de l'eau-climats, paléoclimats et géochimie globale - Masson S.A., Paris.

TERJUNG N. H., LOUIE S. S. F., 1972 - Potencial solar radiation on plant shapes - **Int. J. Biometeor**, vol. 16, number 1, 25-43.

VARLET-GRANCHER, C., 1975 - Variation et estimation de l'énergie d'origine solaire reçue sur des plans d'inclinaison et d'azimut variables - **Ann. Agron.**, 26 (3), 246-274.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M., 1989 - Mise au point: ratonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végé tal - **BIOCLIMATOLOGIE**, 9, 419-439.

ANNEXE A

ANNEXE A

METHODE DE MESURE DE LA TRANSPIRATION

a) Méthodes de pesées successives

Elles consistent à mesurer la perte de poids des végétaux. On peut les classer en deux catégories:

- **indirecte:** on utilise un lysimètre pesable ou à drainage, dans lequel le bilan des apports et pertes d'eau indique la consommation du végétal. Cette méthode pose cependant un problème d'échantillonnage, car le lysimètre ne peut contenir que peu de plantes. Elle est donc inapplicable aux grands arbres;

- **directe ou du rameau coupé:** elle utilisé des feuilles ou branches détachées (méthode du rameau coupé). Les extrapolations de la perte d'eau pour les feuilles ou branches sont toujours délicates, car la physiologie des rameaux est perturbée quand ils sont coupés (SWANSON et LEE, 1966).

b) Méthode du bilan hydrique

L'équation du bilan hydrique permet d'estimer la consommation en eau du végétal en fonction de la connaissance des apports et de l'humidité du sol à différentes profondeurs, avec l'utilisation de méthodes gravimétriques ou neutroniques. L'hétérogénéité spatiale liée aux plantes pose un problème: on ne peut estimer l'évapotranspiration avec précision qu'à un pas de temps assez grand (une semaine ou plus).

c) Technique des enceintes

Cette technique consiste à enfermer totalement ou partiellement des arbres dans des petites enceintes (DECKER et al, 1962). On analyse les variations de l'atmosphère interne et on fait une corrélation avec la transpiration du végétal. Cependant, les facteurs climatiques (température, humidité, vents, rayonnement solaire, etc) à l'intérieur de l'enceinte ne sont pas forcément représentatifs des conditions naturelles.

d) Mesure de transfert d'eau dans le tronc

d.1) Utilisation d'un traceur

Ces méthodes sont basées sur la mesure du transfert d'eau dans le tronc à l'aide d'un traceur. Elles consistent à introduire un marqueur dans la sève et à mesurer sa vitesse de déplacement. Le produit marqueur peut être un colorant ou un traceur radioactif. OWSTON et al (1972) ont utilisé un traceur radioactif, le phosphore-32, pour estimer le flux de sève. KLINE et al (1970) ont utilisé, dans leur travaux, un autre traceur radioactif: l'eau avec isotopes de tritium. Ces méthodes sont difficilement applicables sur de longues périodes et leur sensibilité dépend de la précision de mesure du produit radioactif.

d.2) Utilisation du potentiel électrique

Cette technique est basée sur l'application d'un champ magnétique uniforme (SHERIFF, 1972). Le flux de sève coupe les lignes de flux magnétique et produit une différence de potentiel électrique sur le fluide. Le voltage étant proportionnel à la vitesse du fluide, on peut mesurer la différence de potentiel pour déterminer le flux de sève brute.

d.3) Méthode thermoélectrique

Trois techniques differentes peuvent être utilisées:
- l'étude de la vitesse de transfert d'une onde de chaleur.
- l'observation de la température au niveau d'une source de chaleur continue.
- l'analyse du bilan thermique.

d.3.1) La méthode d'onde de chaleur

Le principe est très ancien (HUBER et al, 1937). Un dispositif pouvant émettre une brève impulsion de chaleur (résistance électrique) est inséré dans les tissus conducteurs de sève. On mesure le temps que met l'impulsion de chaleur pour parvenir en un point situé à une distance connue en aval. Au départ, les auteurs ont considéré que la vitesse de propagation de la sève était égale à la vitesse de déplacement de l'onde de chaleur. Puis, MARSHALL (1958) a montré que le phénomène était plus complexe en raison de la conduction thermique dans le bois. Il a proposé une solution théorique qui donne la température en un point en fonction de sa distance à la source de chaleur insérée radialement dans le tronc.

d.3.2) Méthode du bilan de chaleur

C'est DAUM (1967), qui a proposé cette technique. SAKURATANI (1981) a appliqué cette méthode à des plantes annuelles (tournesol, coton, canne à sucre), avec des diamètres variant entre 0.5 et 3 cm. En principe, on peut calculer les flux de chaleur conductif et les pertes de chaleur latérales. On en déduit le flux de sève, ou le débit de sève. Une résistance électrique produisant une quantité de chaleur constante W, est posée sur un élément de rameau ou tronc longueur L. La chaleur produite est émise par conduction sur l'axe du tronc vers

l'amont (q_1) et vers l'aval (q_2), latéralement vers l'air (q_L) et par convection par la sève (Q_c) (figure A1).
ZOUHAIER (1989) a proposé une simplification de la technique et une amélioration du capteur de débit de sève. Il a appliqué sa méthode sur les arbres fruitiers (pommiers).

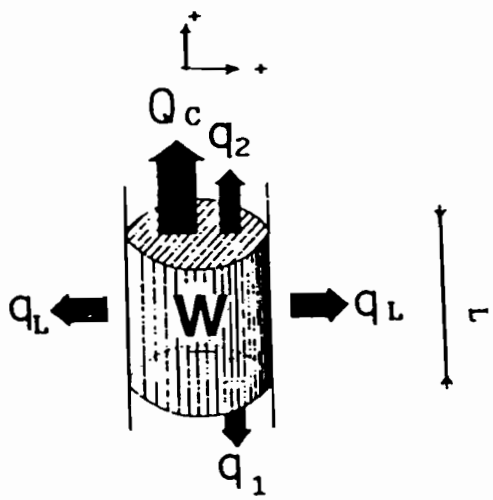


figure A1
Schéma de principe du bilan thermique (SKURATANI,1981)

d.3.3) Méthode d'une source chauffante constante et continue

Cette méthode a déjà été décrite.

ANNEXE B

ANNEXE B

VARIATION DE LA QUANTITE DE RAYONNEMENT SOLAIRE ARRIVANT AU SOL FACTEURS ASTRONOMIQUES

La distance entre la terre et le soleil varie constamment au cours de l'année, elle est fonction de l'inclinaison de la Terre et de sa rotation autour du soleil. Cette variation produit une modification de l'intensite du rayonnement solaire à la surface terrestre.

Il est necessaire de prendre en compte les deux facteurs suivants:

- la variation de la distance terre-soleil;
- la variation de la position d'un point de la Terre par rapport au Soleil.

Le trajet décrit par la terre autour du soleil a la forme d'une ellipse. Ce trajet est réalisé en 365 jours (un année), donc la distance entre la terre et le soleil varie au cours de l'année.

Cette distance passe par un maximum le 21 juin, qui se situe au solstice d'été, et par un minimum, le solstice d'hiver du 21 décembre.

Un point sur le globe terrestre voit le soleil se déplacer sans arrêt dans le ciel:

- au cours de la journée - la rotation de la terre (jour et nuit).
- au cours de l'année - l'inclinaison de l'axe polaire associée à la rotation de la terre autour du soleil (variation du jour).

La position du soleil est un facteur qui conditionne la quantité de rayonnement solaire arrivant au sol. Plus le soleil est haut sur l'horizon, plus la quantité de rayonnement arrivant par unité de surface est grand.

Si le faisceau du rayonnement arrive perpendiculairement à la surface (figure B1), la surface d'intersection sera égale à la section du faisceau. Si le faisceau arrive en formant un angle par rapport à la verticale du sol (figure B1), la surface d'intersection sera plus grande donc la quantité d'énergie par unité de surface sera moindre.

L'intensité d'énergie par unité de surface varie avec le sinus de l'angle des rayons solaires avec le plan horizontal. Donc il est important de connaître cet angle qu'on appelle hauteur angulaire (h) du soleil sur l'horizon (figure D2).

Une notion complémentaire de hauteur angulaire peut être définie, c'est l'angle d'incidence. L'angle d'incidence (i) est pris par rapport à la verticale du lieu. Pour une surface horizontale on a:

$$h + i = 90° \qquad (B.1)$$

La quantité d'énergie qui arrive au sol est proportionnelle au sinus de h ou au cosinus de i.

Un autre angle est nécessaire pour exprimer la position du soleil en un lieu, il s'agit de l'azimut (A_Z). L'azimut est l'angle formé entre la direction du sud local et la projection du soleil sur le plan horizontal (figure B3). L'azimut est important pour l'étude de l'orientation de la surface réceptrice.

- au cours de la journée

Un point de la surface de la Terre voit le soleil apparaître à l'horizon le matin, monter dans le ciel jusqu'à midi, puis redescendre à l'horizon. La hauteur h du soleil varie dans la journée entre 0° (au lever et au coucher du soleil) et une valeur maximale (à midi). Il est possible de calculer la valeur de h en fonction de l'heure, de la date et de la latitude du lieu.

L'heure exprime la position sur le globe du lieu considéré par rapport à la direction du Soleil, au niveau du globe

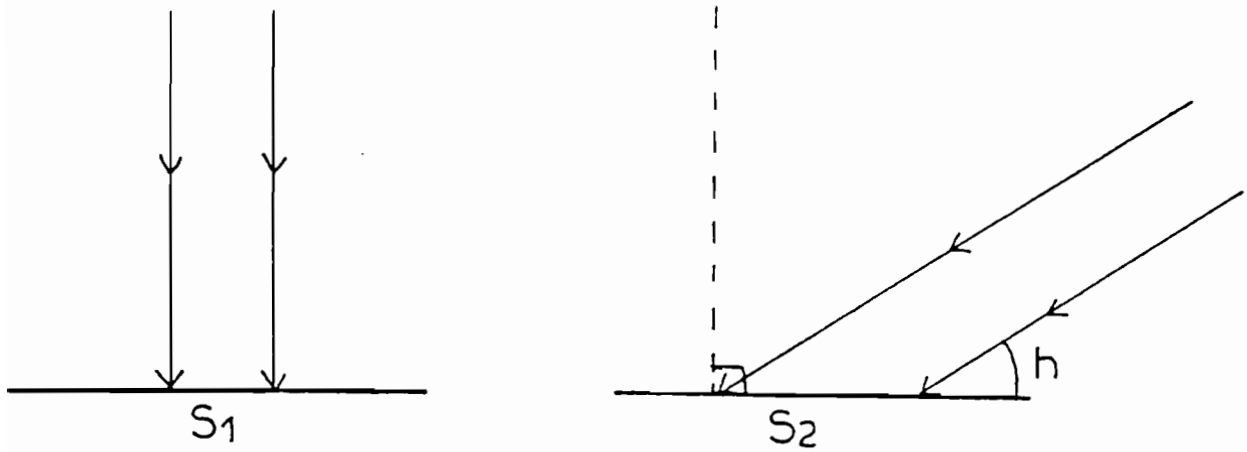


figure B1 - Faisceau du rayonnement solaire arrivant sur une surface.

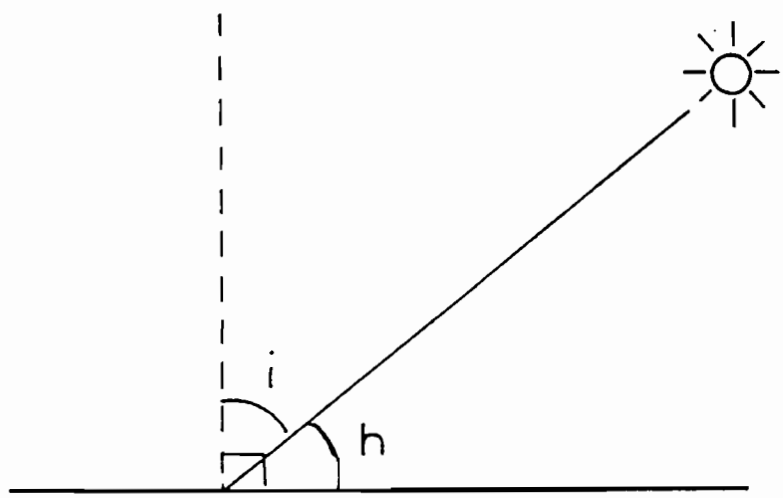


figure B2 - Hauteur du solaire et angle d'incidence.

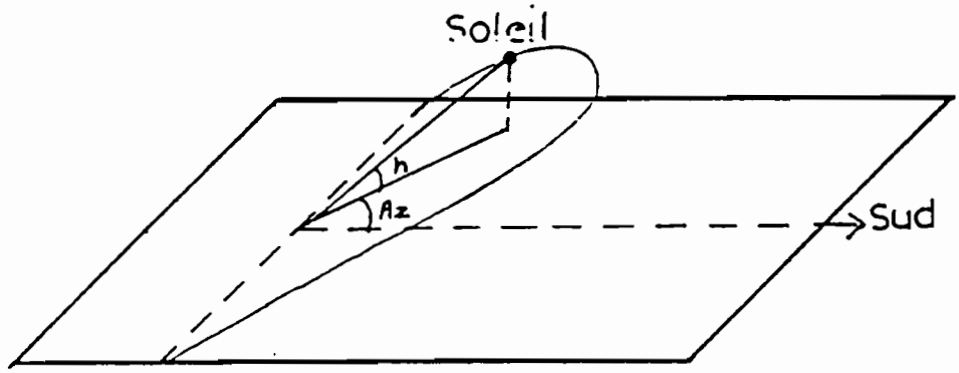


figure B3 - Hauteur du solaire.

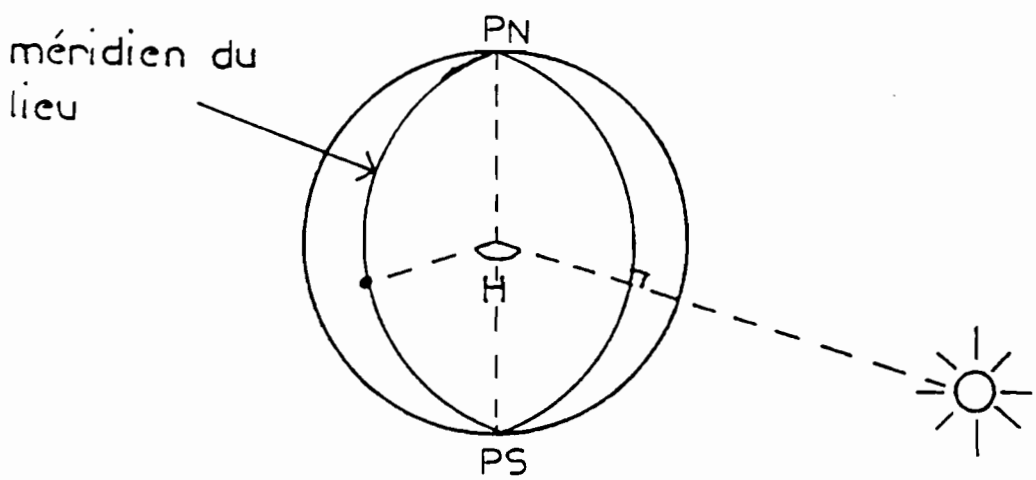


figure B4 - Angle horaire.

terrestre. On la calcule à partir de la mesure de l'angle formé par le méridien du lieu et le méridien à l'aplomb duquel se trouve le Soleil (figure B4). La terre fait une rotation complète (soit 2π rd ou 360°) autour de son axe en 24 heures, il existe une correspondance directe entre les heures et les angles.

24 heures	---	2π	rd	---	360°
1 heure	---	$\pi/12$	rd	---	15°
1 minute	---	$\pi/72$	rd	---	0° 15'

Cet angle est appelé angle horaire AH, mais pour une même heure de la journée h et A_Z varient selon la date.

- au cours de l'année

Le centre de la Terre décrit autour du Soleil une trajectoire approximativement elliptique située dans le plan contenant le centre des deux astres. Ce plan, appelé plan de l'écliptique, fait un angle fixe (23° 27') avec le plan de l'équateur. Cet angle varie selon la position de l'axe polaire par rapport à la verticale du plan de l'écliptique autour de laquelle il effectue une rotation. Lorsque cet axe se trouve en avant de la verticale au plan de l'écliptique par rapport au Soleil (en été - l'hémisphère Nord), l'équateur se situe en-dessous du plan de l'écliptique (figure B5 et B6).

On peut déduire que la déclinaison δ du soleil (définie par l'angle fait par un rayon vecteur avec le plan de l'équateur) varie de -23° 27' (au solstice d'hiver) à +23° 27' (au solstice d'été) en s'annulant aux équinoxes, pour l'hémisphère Nord.

On peut estimer la déclinaison à partir de l'équation suivante de Bonan (1988):

$$\delta = 23{,}45 \cdot \sin(360(284 + n)/365) \qquad \text{(B.2)}$$

où:

n - nombre des jours de l'année.

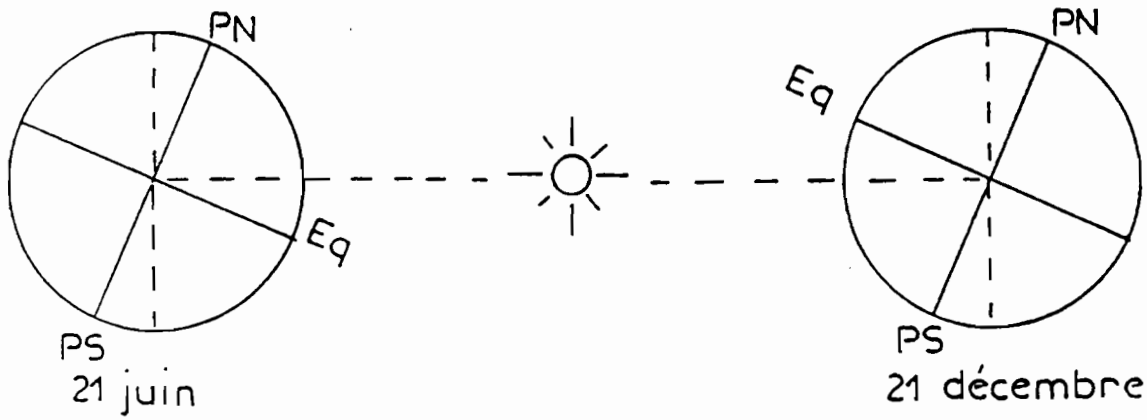


figure B5 - Solstice d'été et d'hiver.

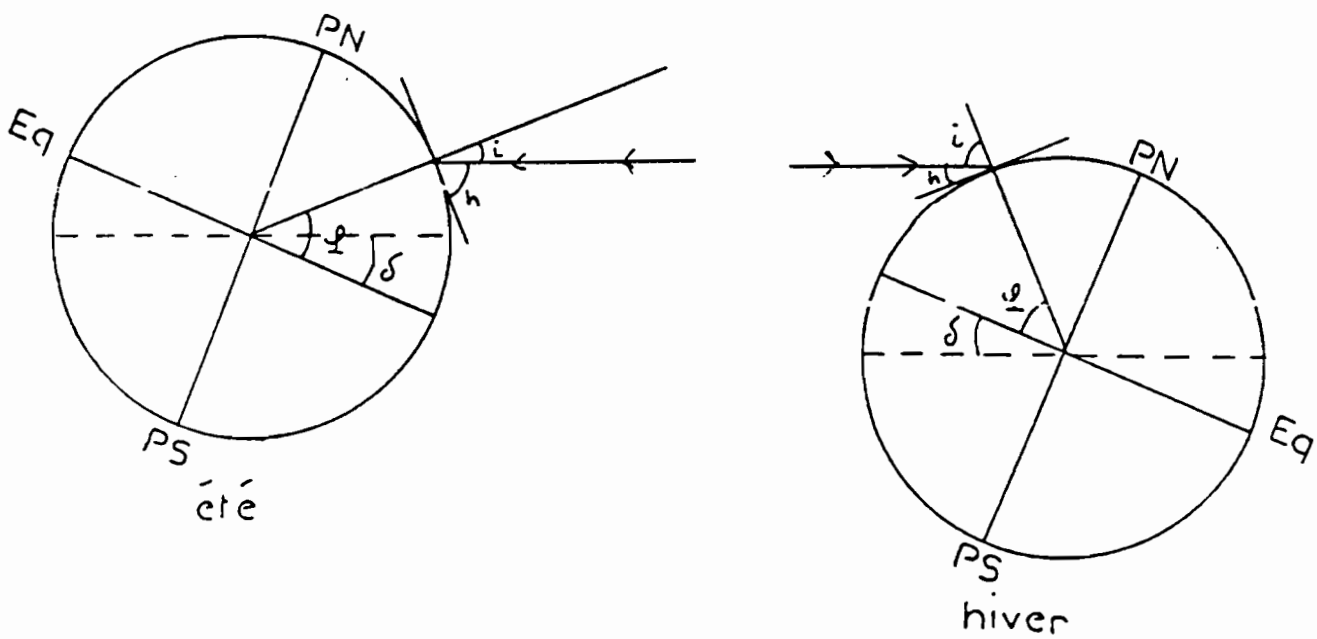


figure B6 - Solstice d'été et d'hiver.

La position d'un point sur le globe est aussi défini par rapport à l'équateur, par sa latitude φ.

La hauteur du soleil est fonction du rapport entre la latitude et la déclinaison. Quand le soleil est sur la verticale du lieu, la hauteur du soleil est maximale, ceci correspond à $\delta=\varphi$.

La hauteur du soleil est une information essentielle pour évaluer la quantité de rayonnement solaire qui arrive au sol. Elle dépend de la date (fonction de la déclinaison), de l'heure (fonction d'angle horaire) et du lieu (fonction de la latitude). Elle peut être calculé à partir d'équation suivant (TARDY, 1986; GUEYMARD, 1975):

$$\sin h = \sin \varphi \, . \, \sin \delta \; + \cos \; \varphi \, . \, \cos \delta \, . \, \cos AH \qquad (B.3)$$

- la durée du jour

La durée du jour est un élément fondamental dans la quantité de rayonnement solaire. Plus le jour est long plus la durée d'exposition aux rayons du soleil est longue.

La durée du jour varie selon la date. Ses variations sont fonction de l'inclinaison de l'axe polaire sur le plan de l'écliptique. Elle peut être calculé à travers de la latitude et de l'inclinaison (MILANKOVITCH, 1930 en BROCK, 1981).

$$W_1 = \arccos \{-(\tan(\varphi) \, . \, \tan(\delta)]\} \qquad (B4)$$

où:

W_1 - angle entre au lever et au coucher du Soleil;

φ et δ - en degré.

La durée du jour en heures L_1 est donné par:

$$L_1 = W_1 \; / \; 15° \qquad (B5)$$

Si la durée du jour est connue, on peut calculer l'heure du lever et du coucher du Soleil:

- lever du soleil = 12 - 1/2 . L_1
- coucher du soleil = 12 + 1/2 . L_1

Ces équations sont utilisées dans le modèle QUERCUS.

ANNEXE C

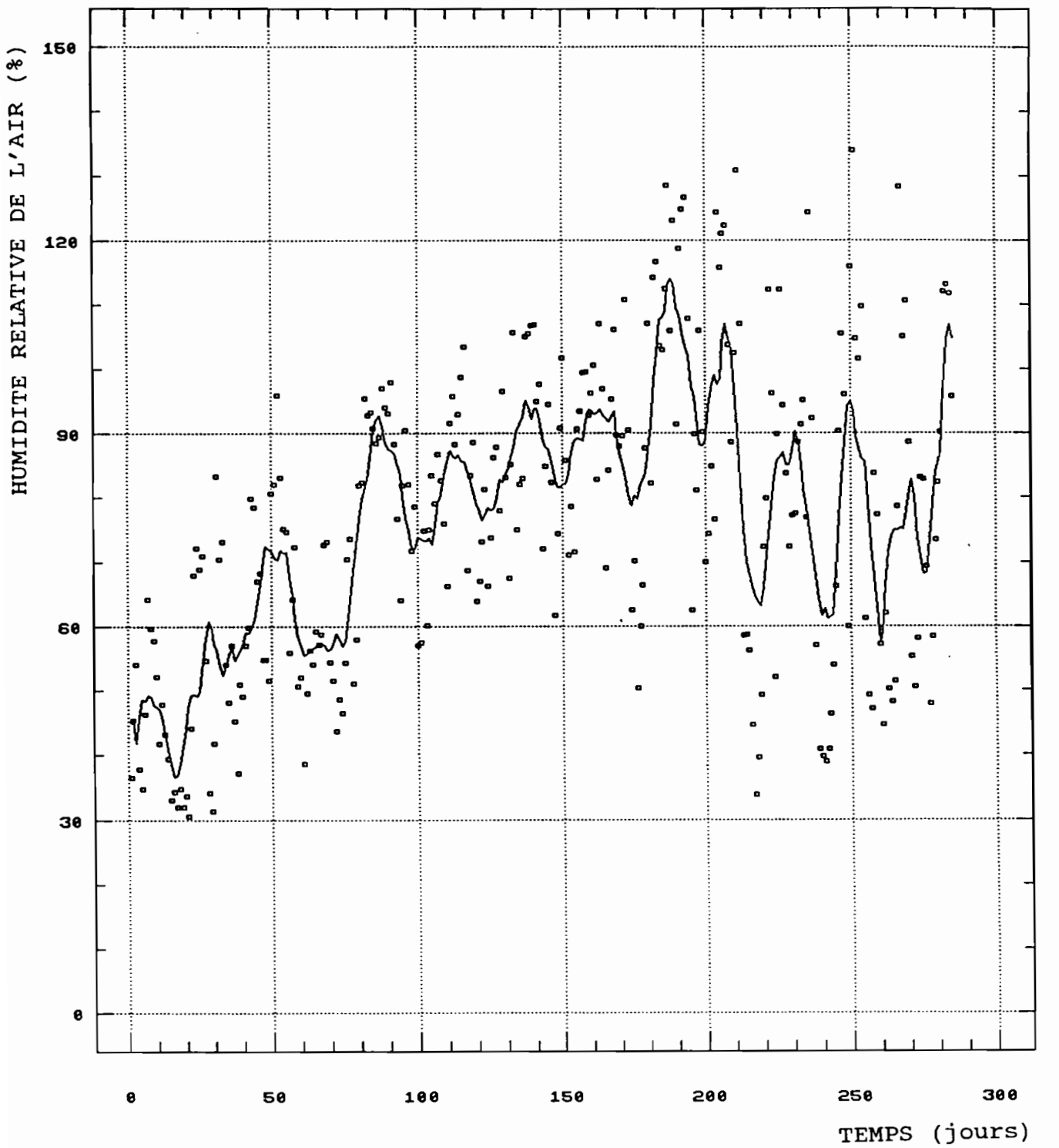


figure C1 - Humidité relative de l'air maximale journalière et moyenne mobile de 7 jours
période 30/06/89 à 10/04/90

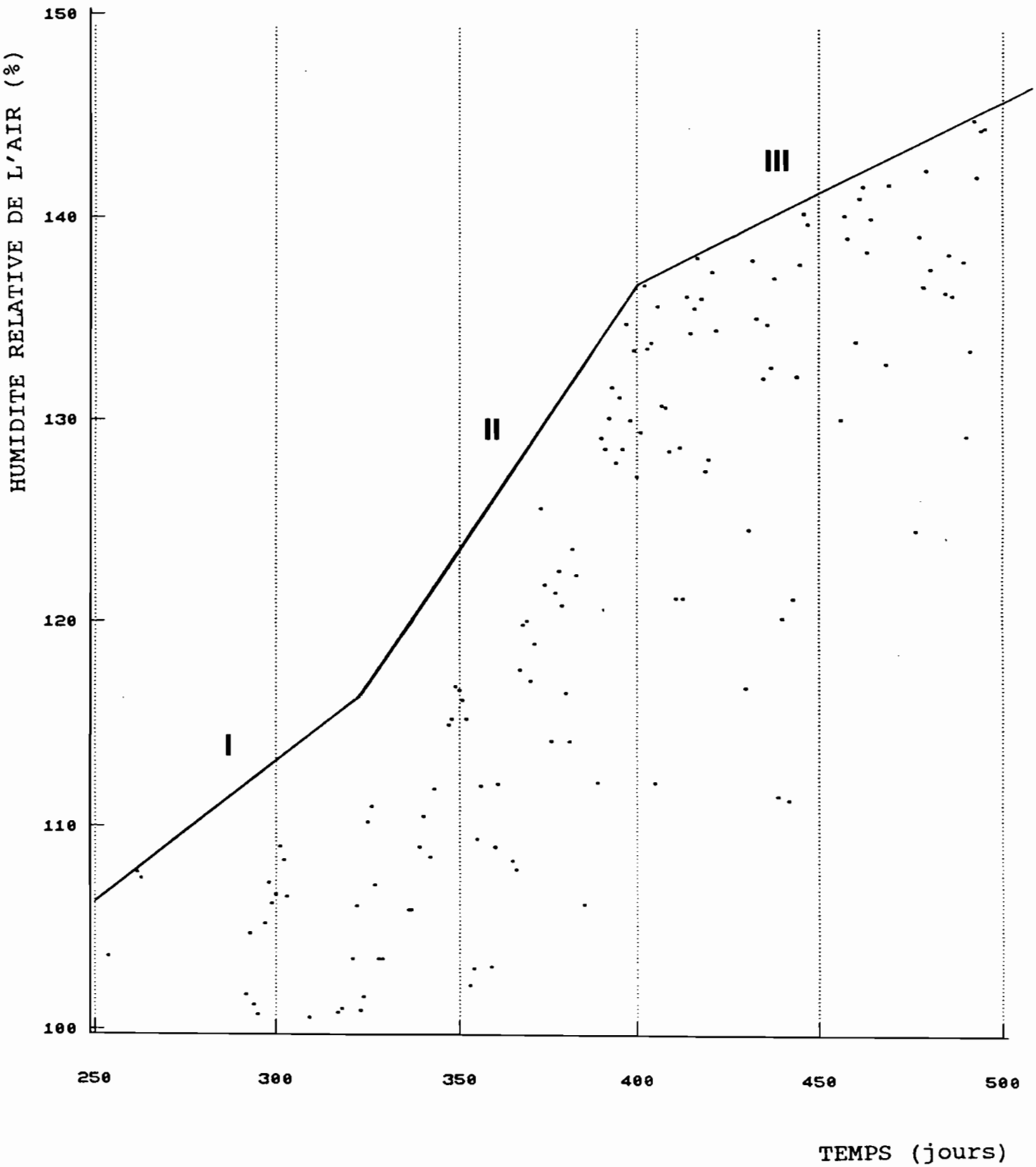


figure C2 - Humidité relative de l'air maximale journalière
1° période

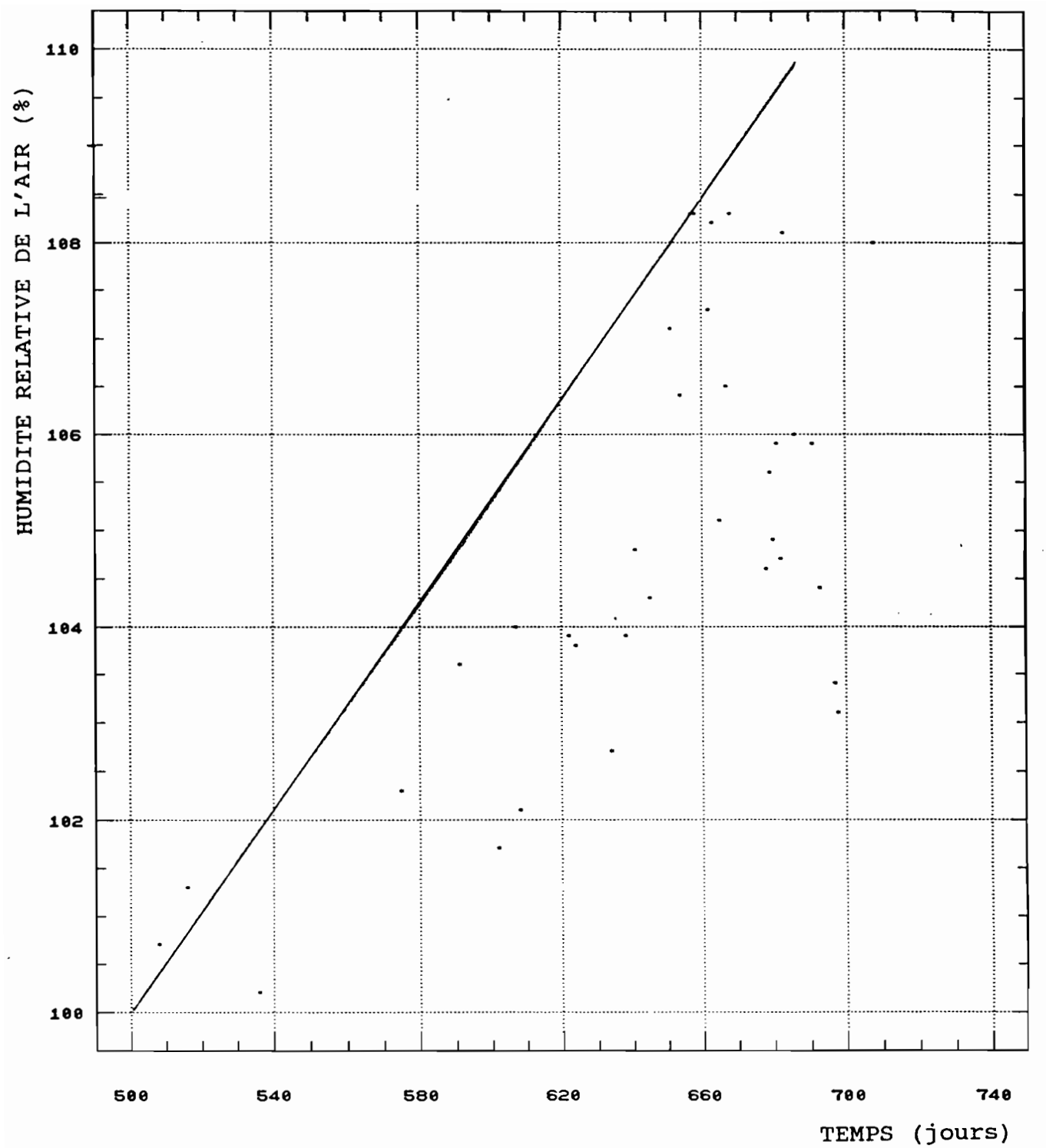


figure C3 - Humidité relative de l'air maximale journalière
2° période

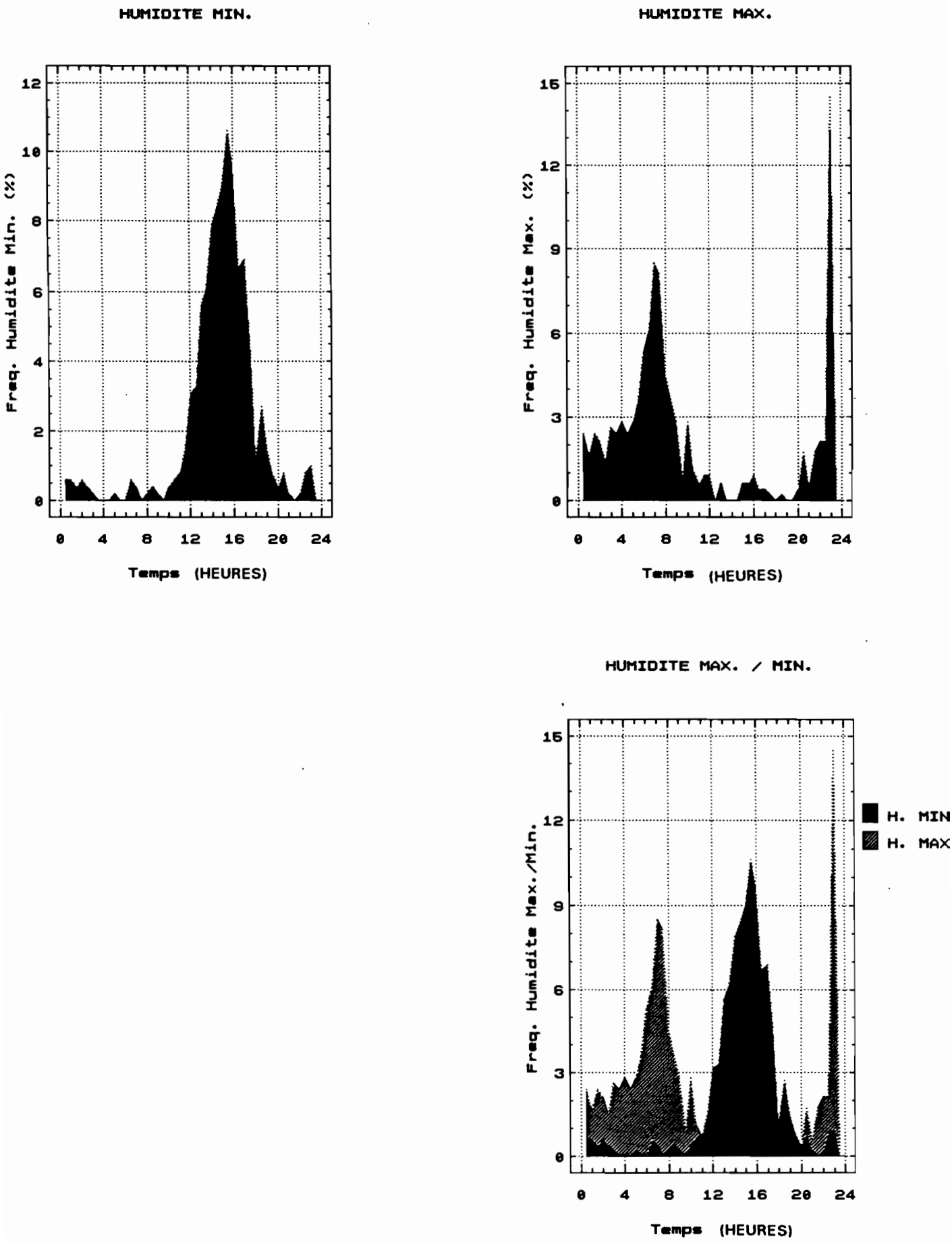


figure C4 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air maximale et minimale (1989/1990)

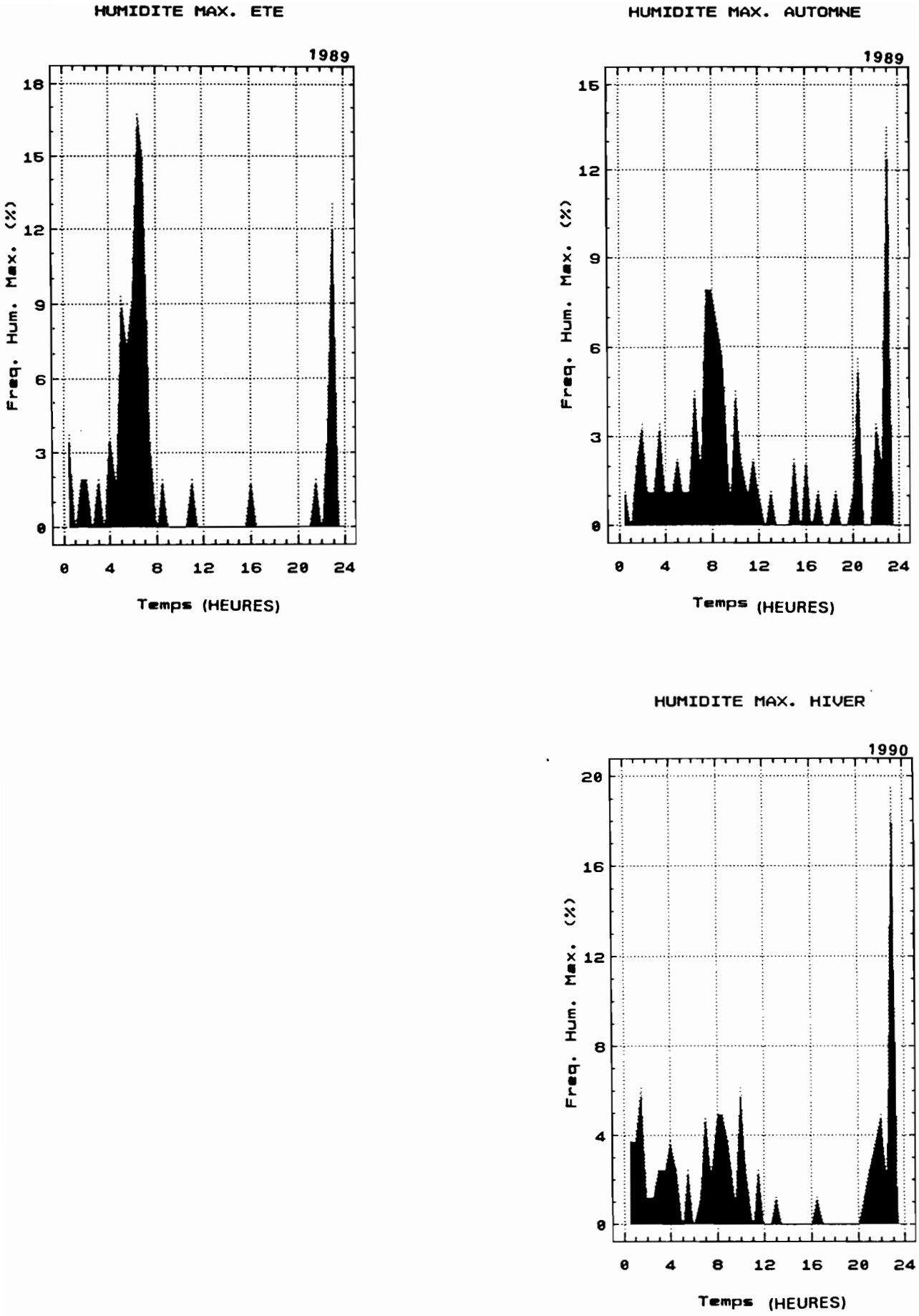


figure C5 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air maximale en été/1989, automne/1989 et hiver/1990.

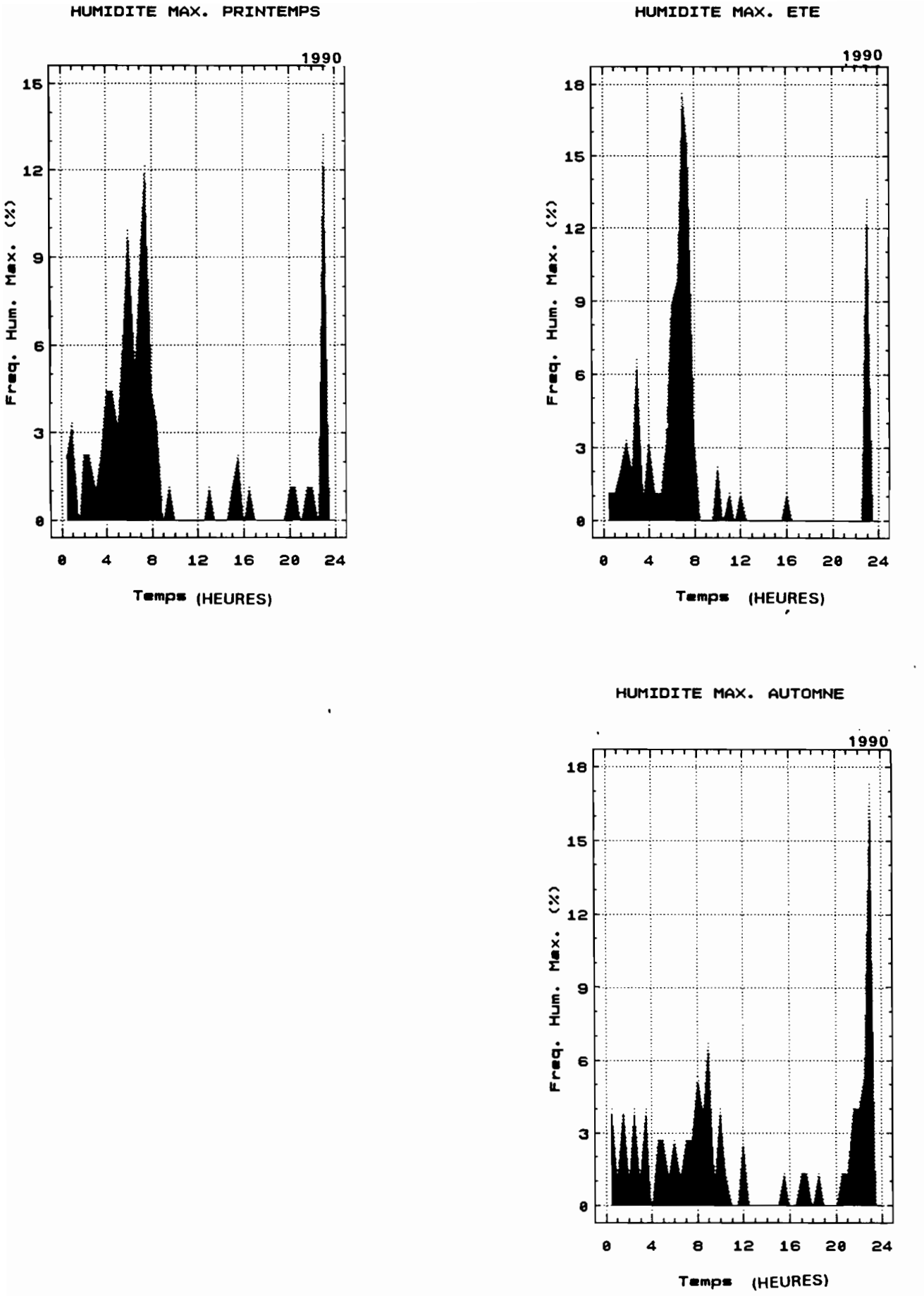
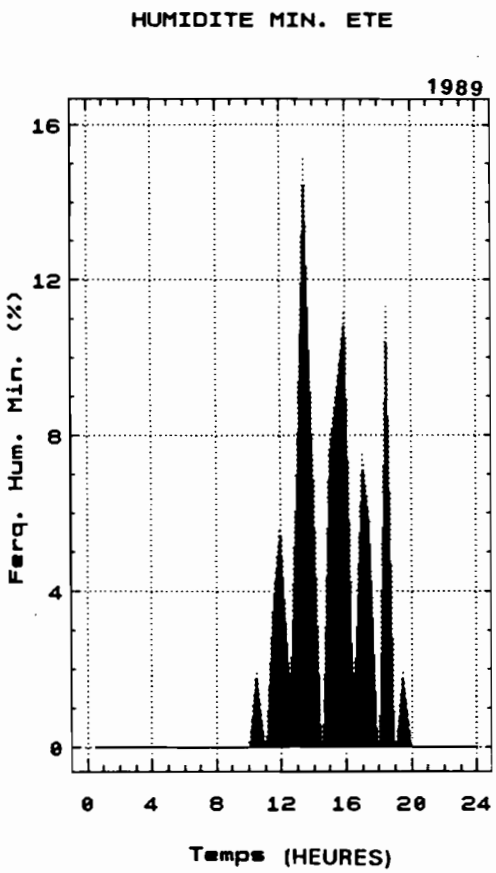
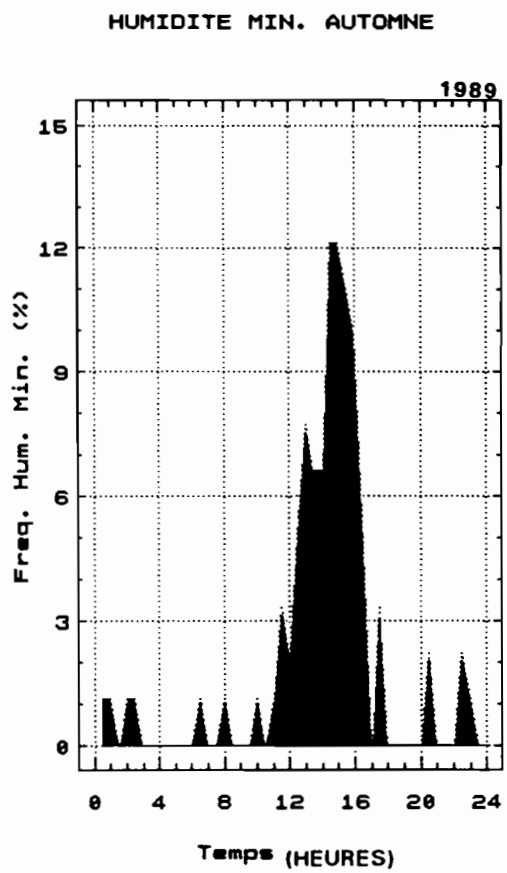


figure C6 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air maximale au printemps/1990, été/1989 et automne/1990.





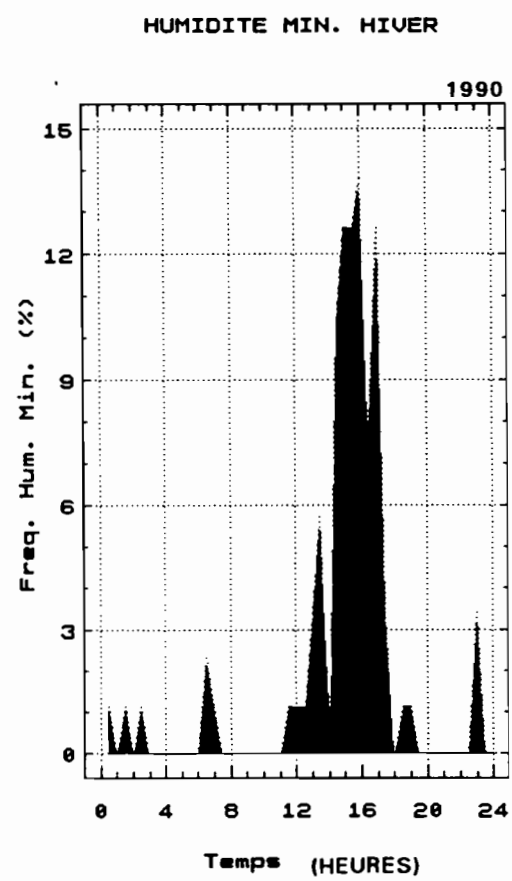
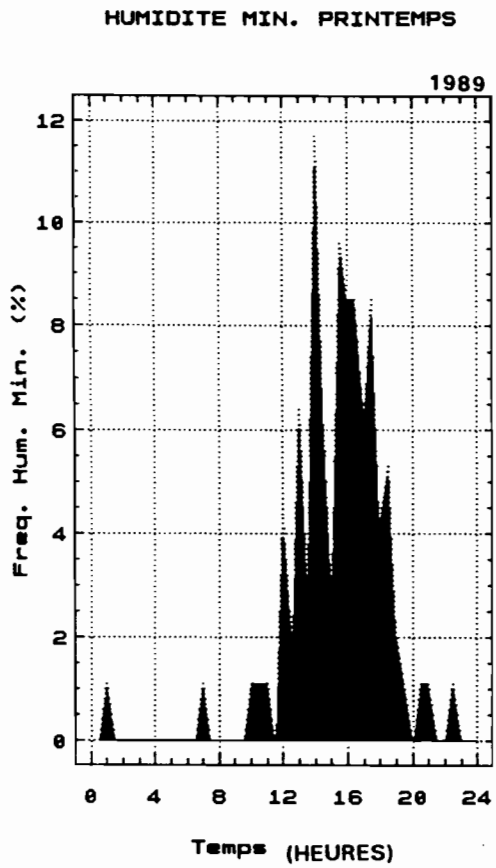
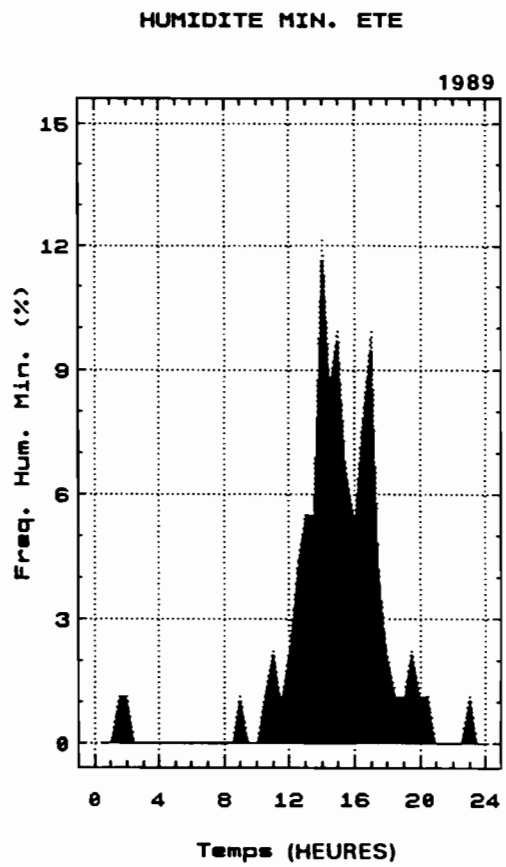


figure C7 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air minimale en été/1989, automne/1989 et hiver/1990.





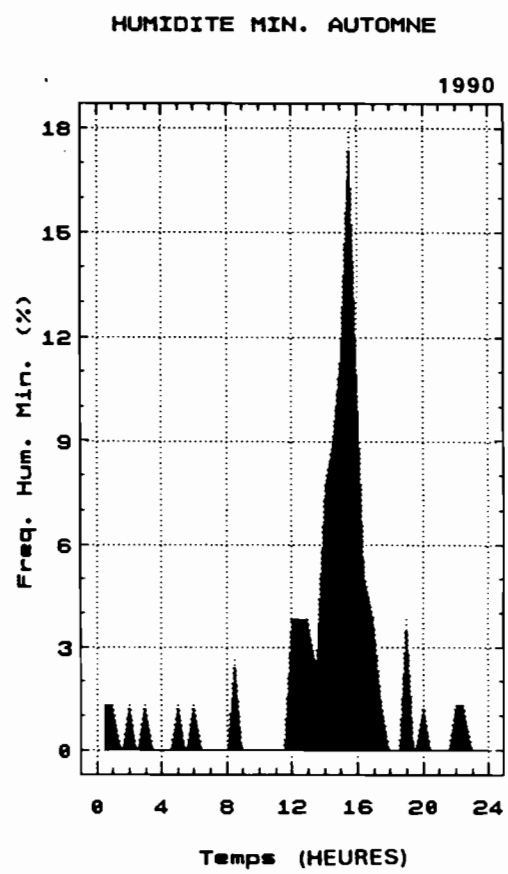


figure C8 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air minimale au printemps/1990, été/1989 et automne/1990.

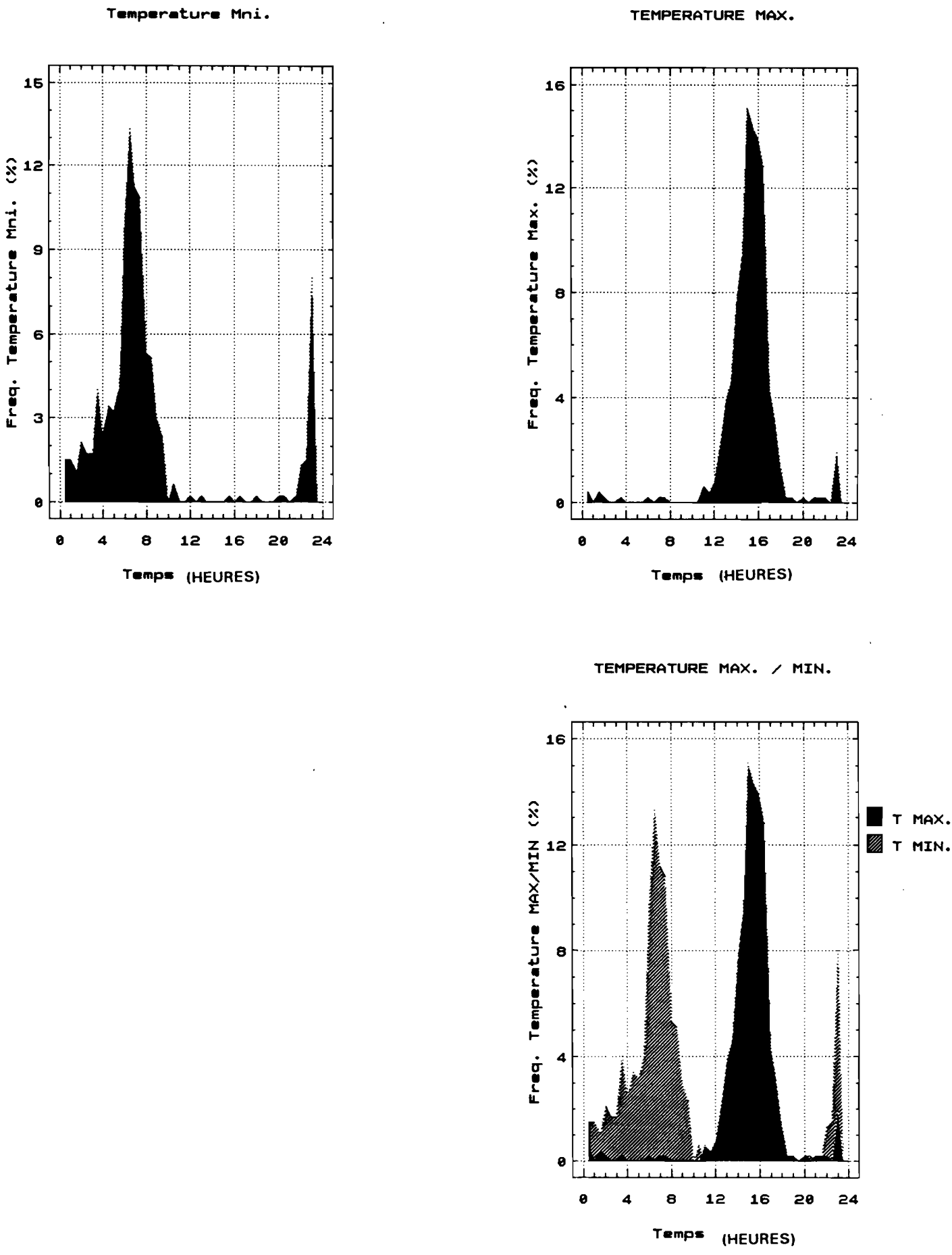
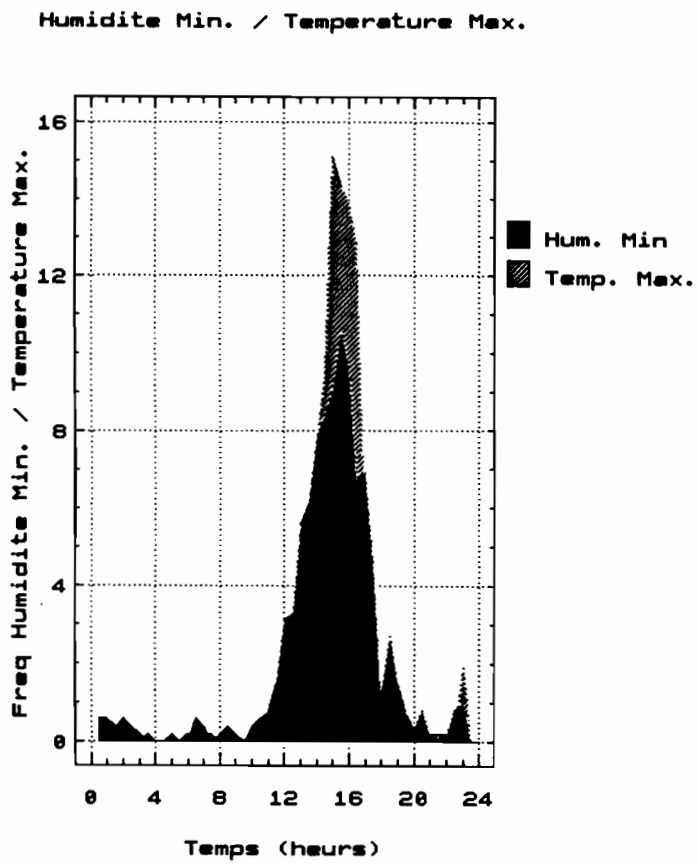
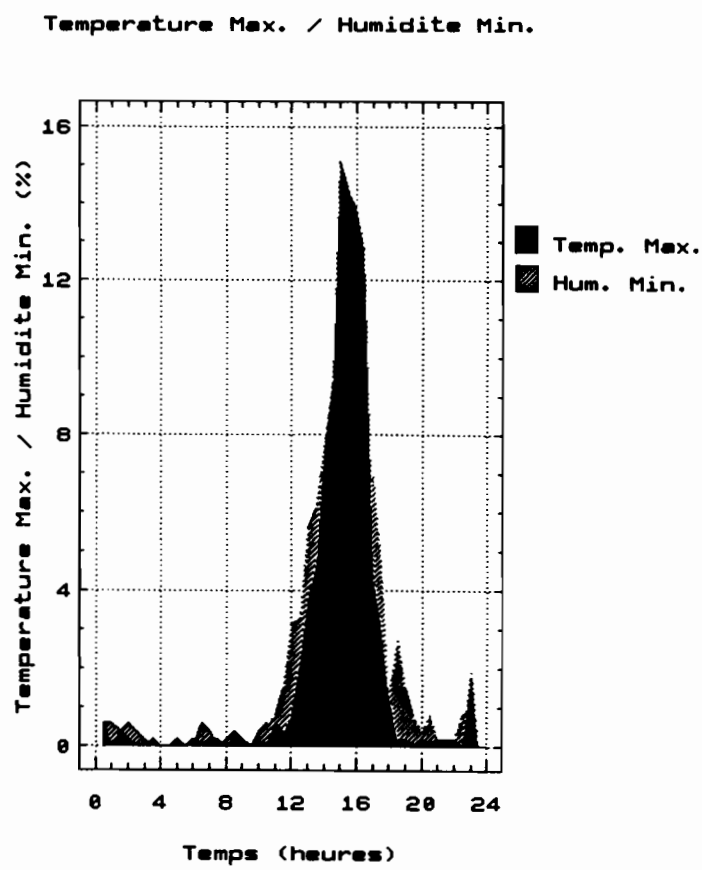
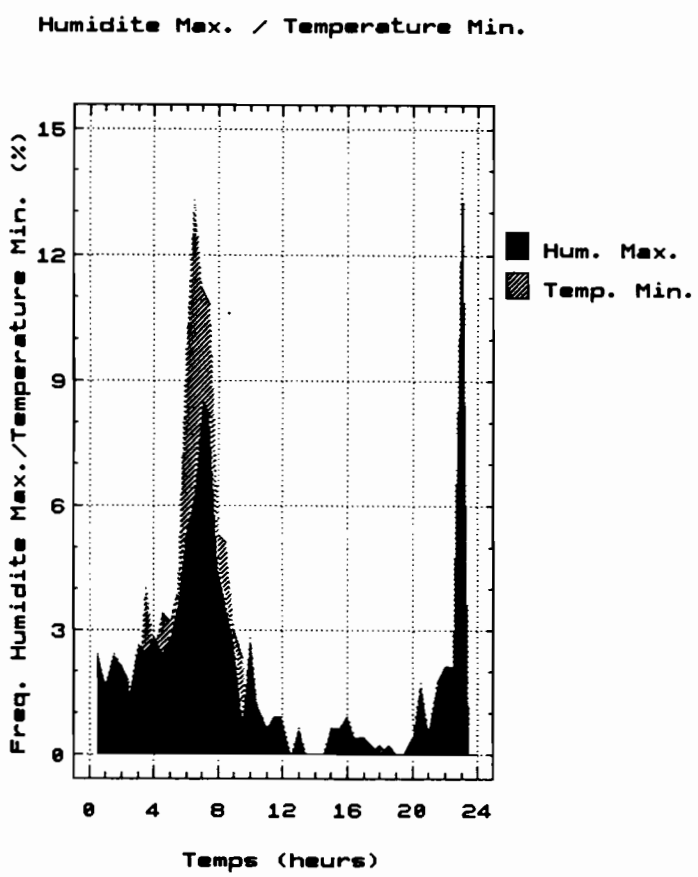


figure C9 - Distribution de fréquence de la température maximale et minimale (1989/1990)







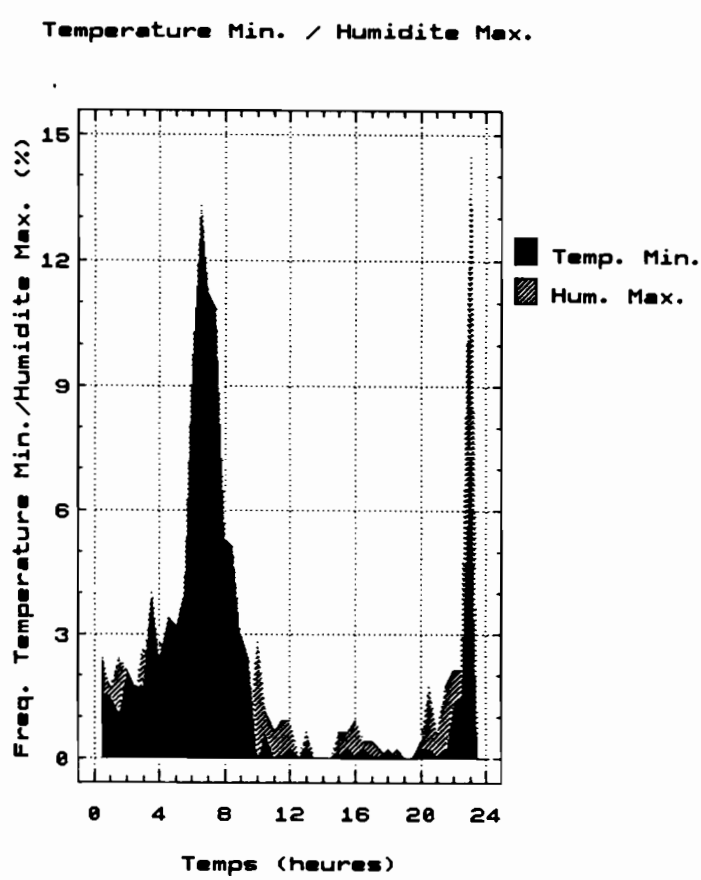


figure C10 - Distribution de fréquence comparée des valeurs minimales et maximales de la température et de l'humidité relative de l'air (1989/1990)

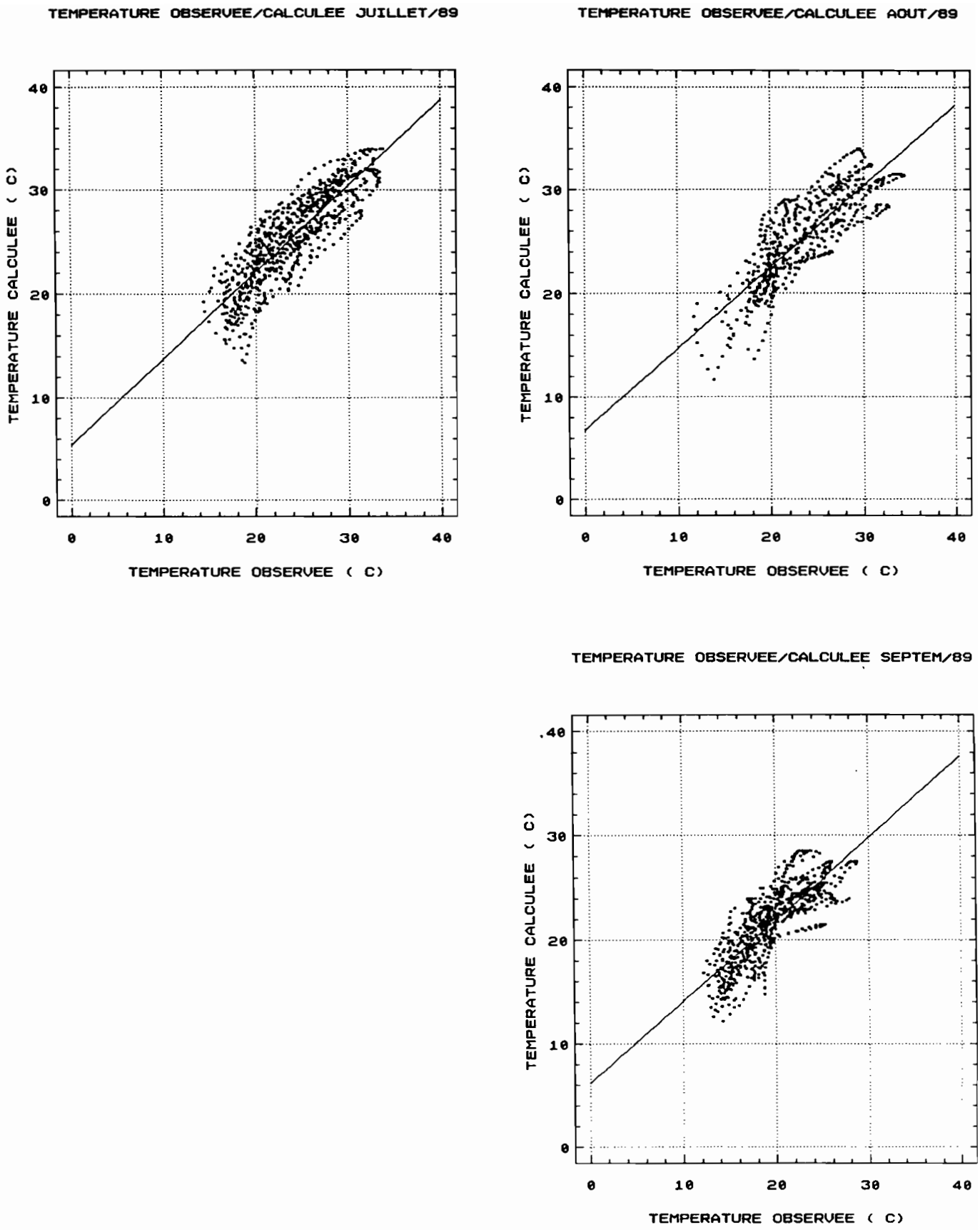
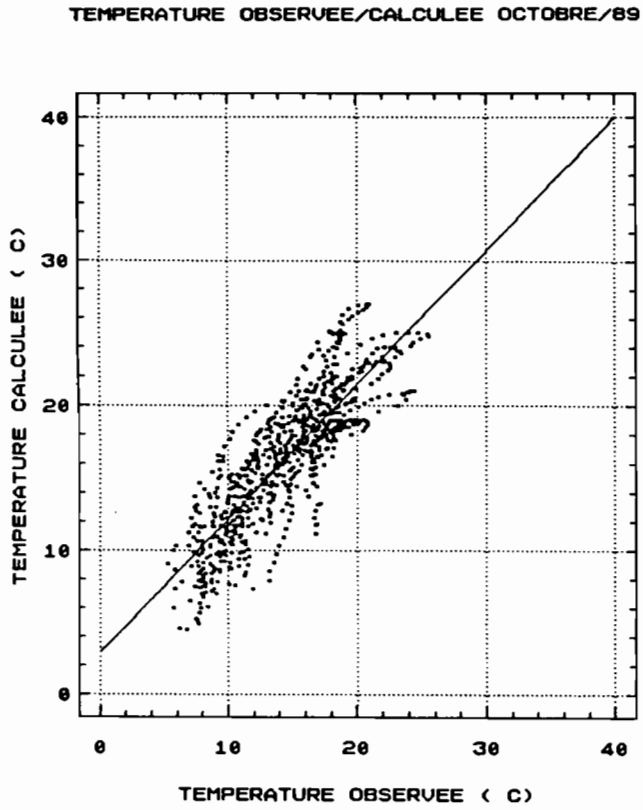
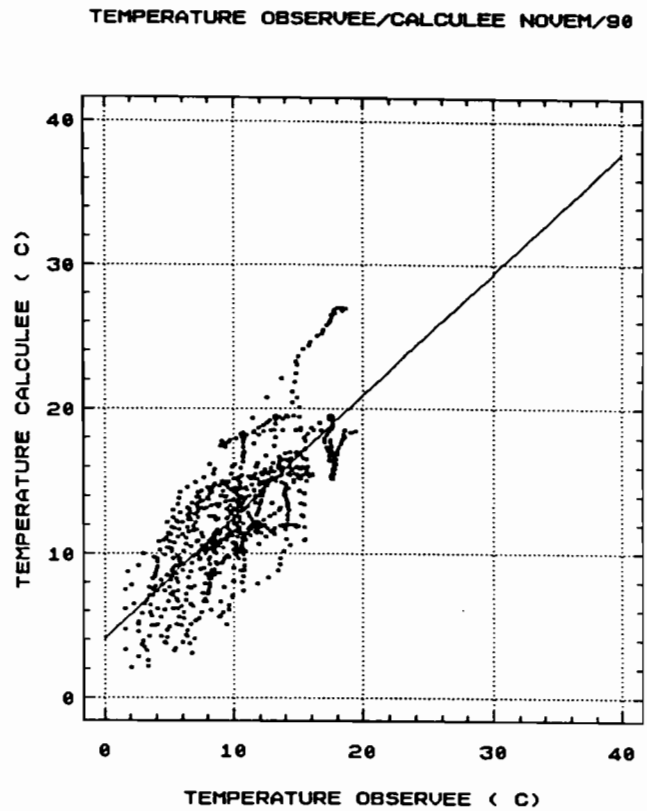


figure C11 - Températures observées et calculées dans les mois de juillet/1989 à septembre/1989





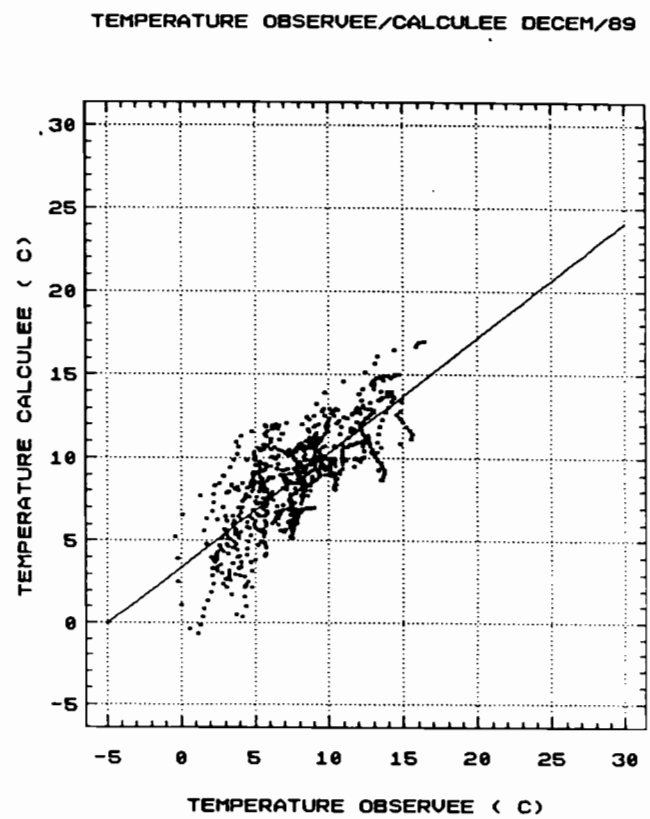


figure C12 - Températures observées et calculées dans les mois de octobre/1989 à décembre/1989

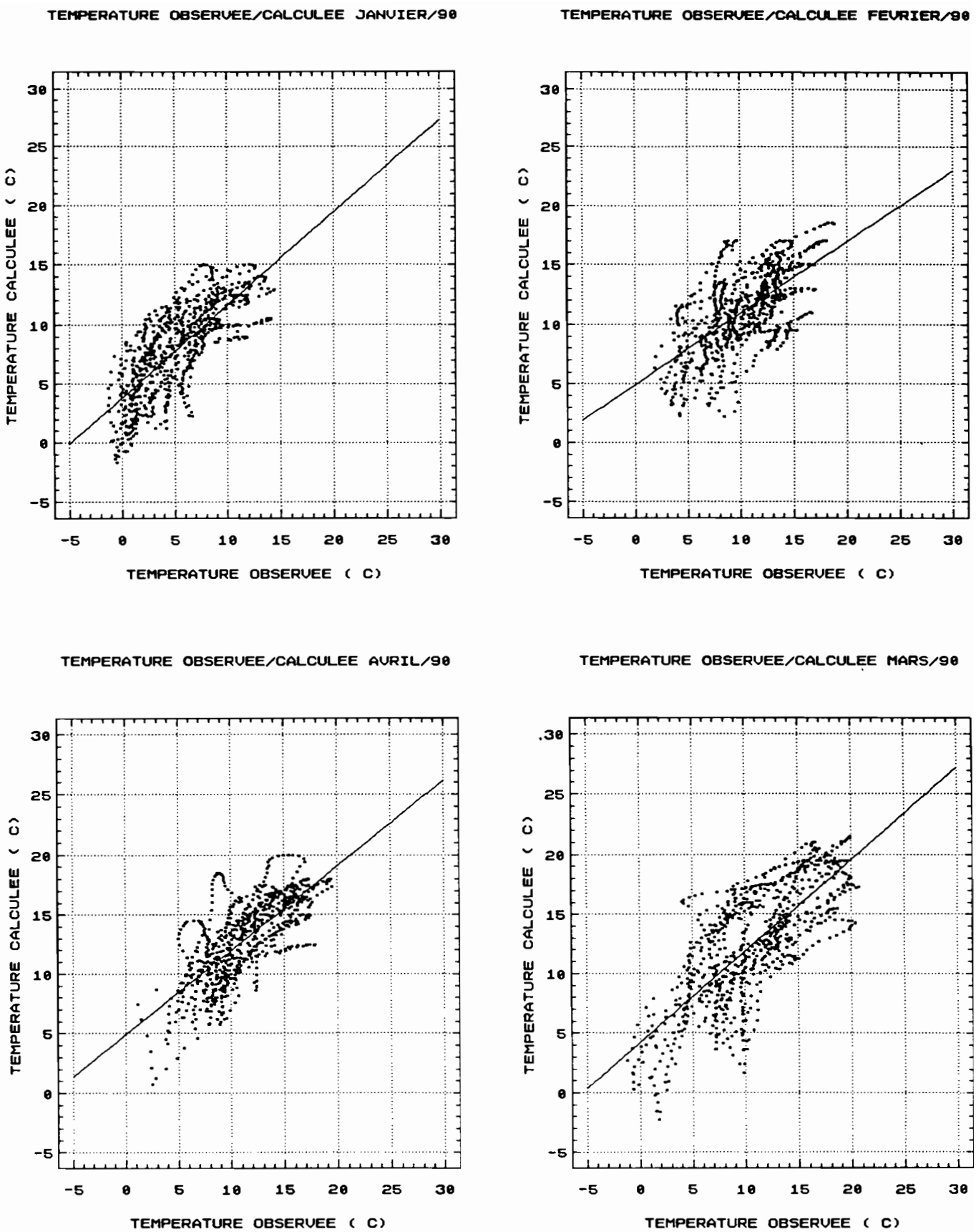


figure C13 - Températures observées et calculées dans les mois de janvier/1990 à avril/1990

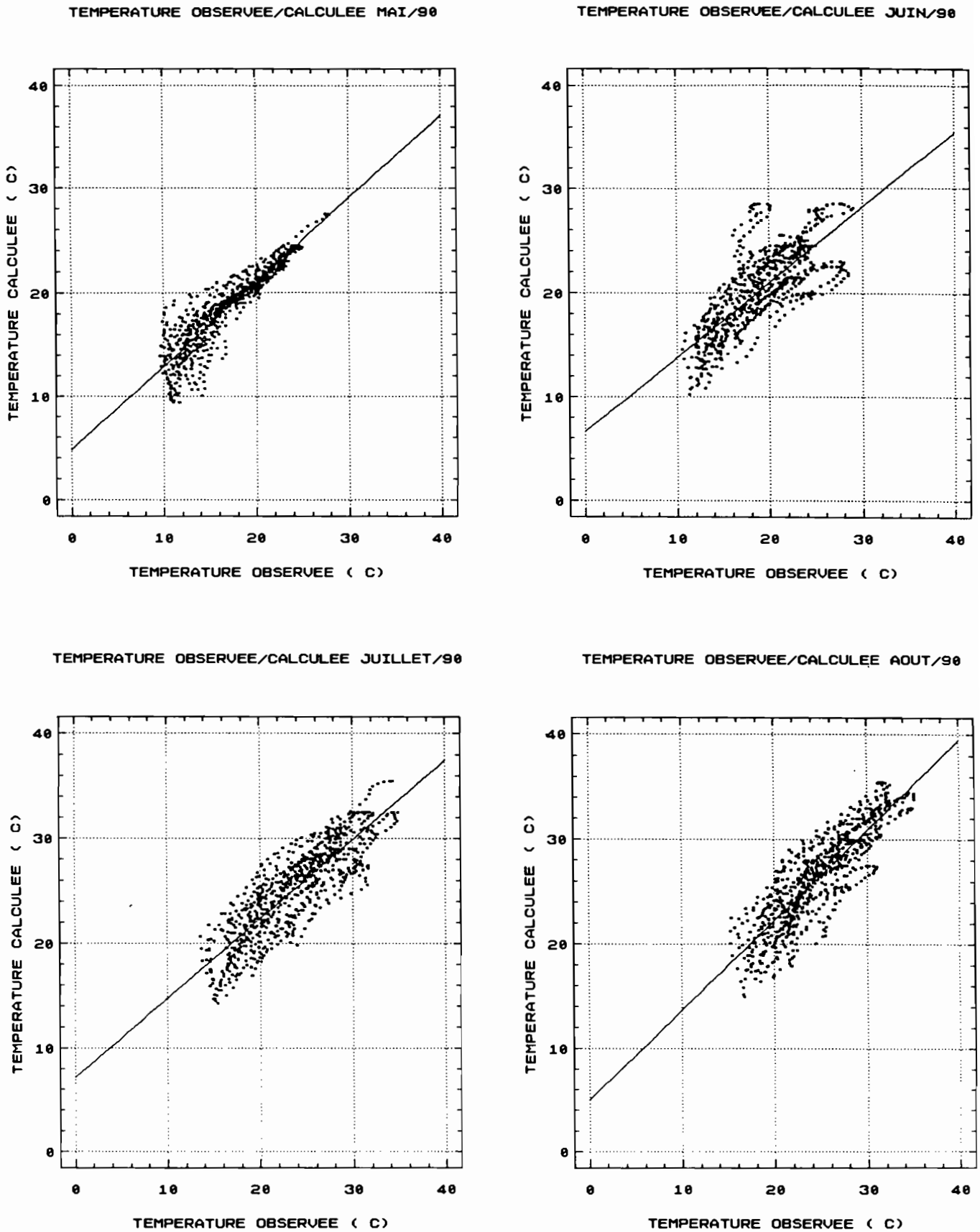


figure C14 - Températures observées et calculées dans les mois de mai/1990 à août/1990

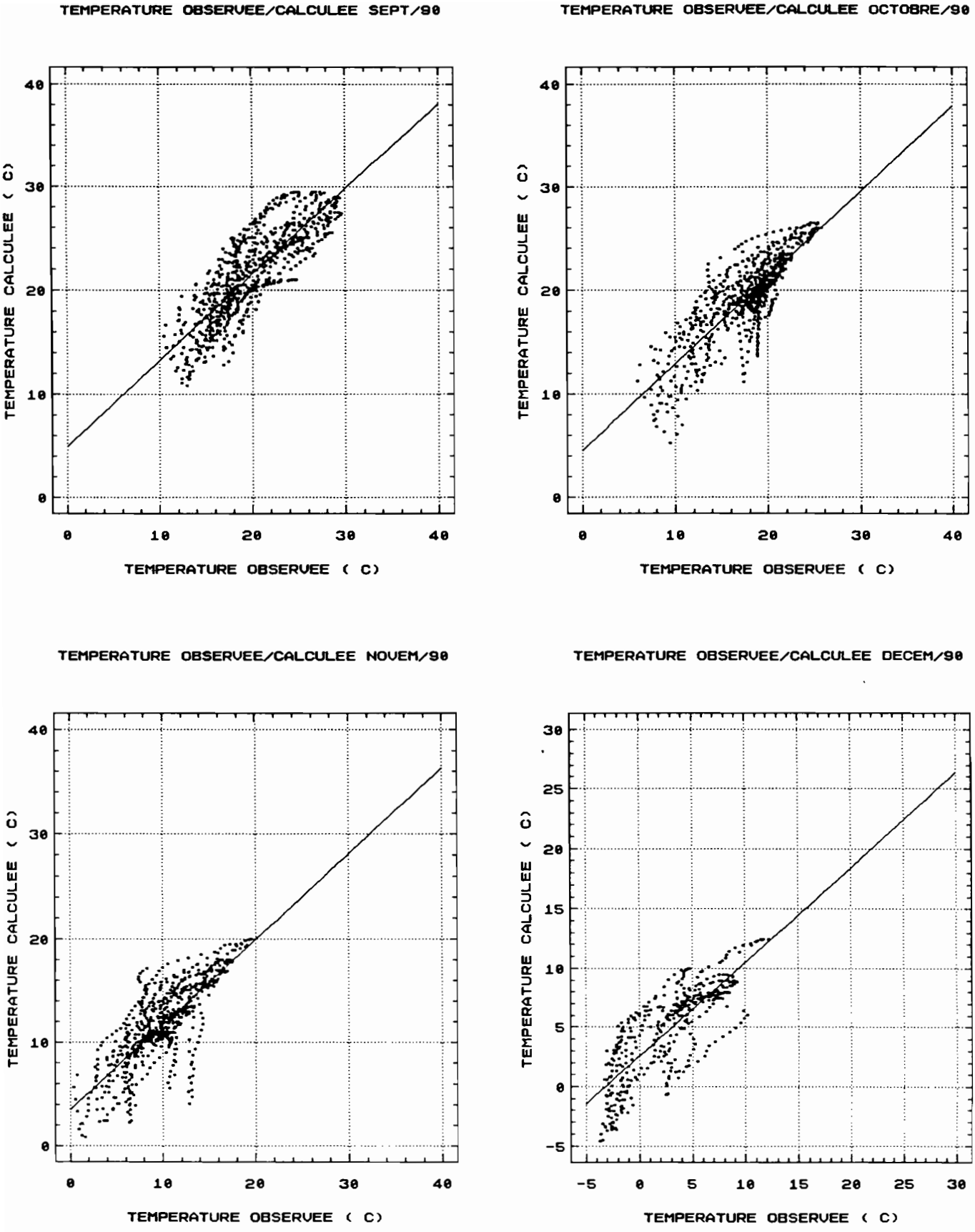


figure C15 - Températures observées et calculées dans les mois de septembre/1990 à décembre/1990

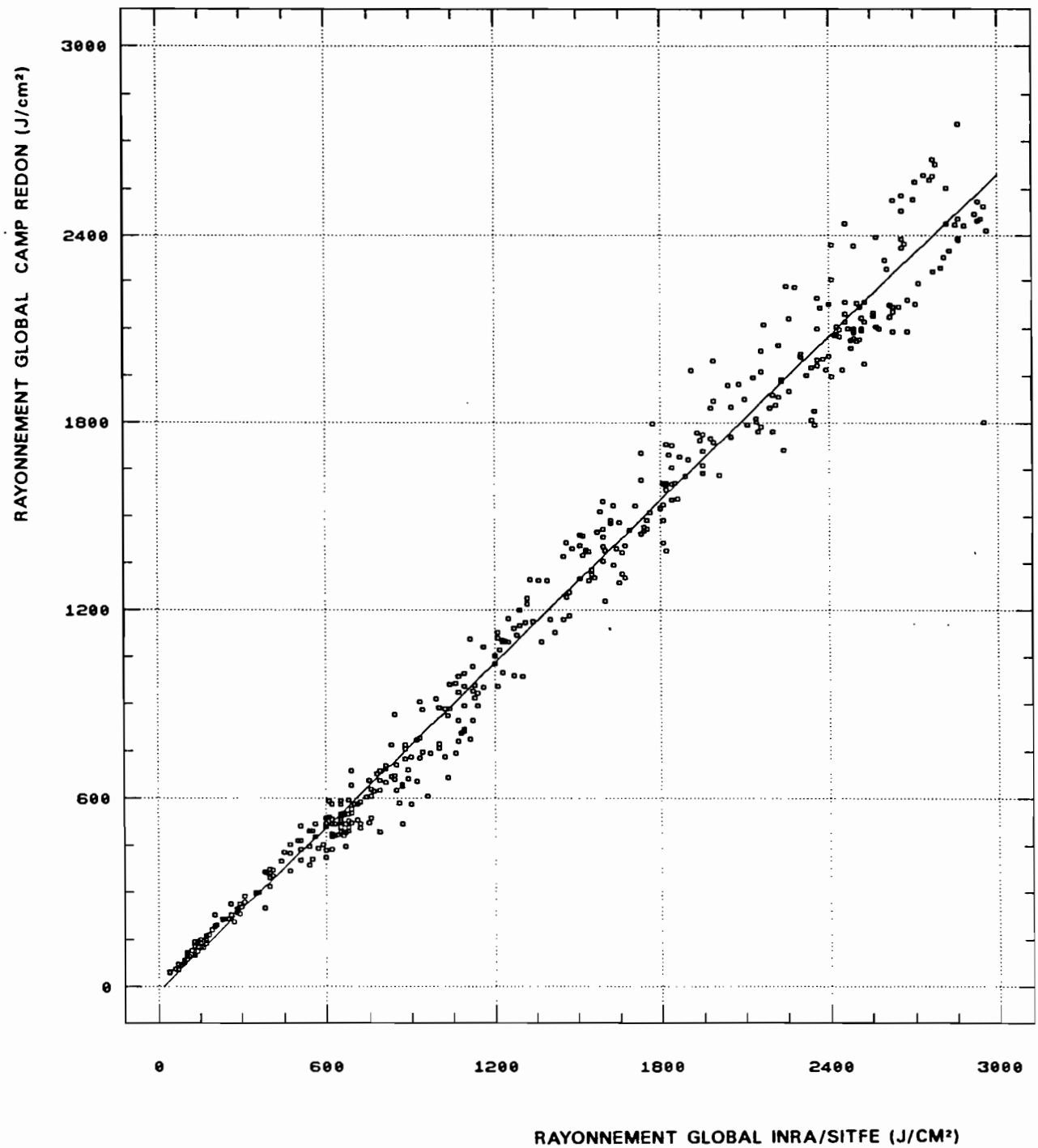


figure C16 - Rayonnement global 1989 à 1990
INRA STFECE/CAMP REDON

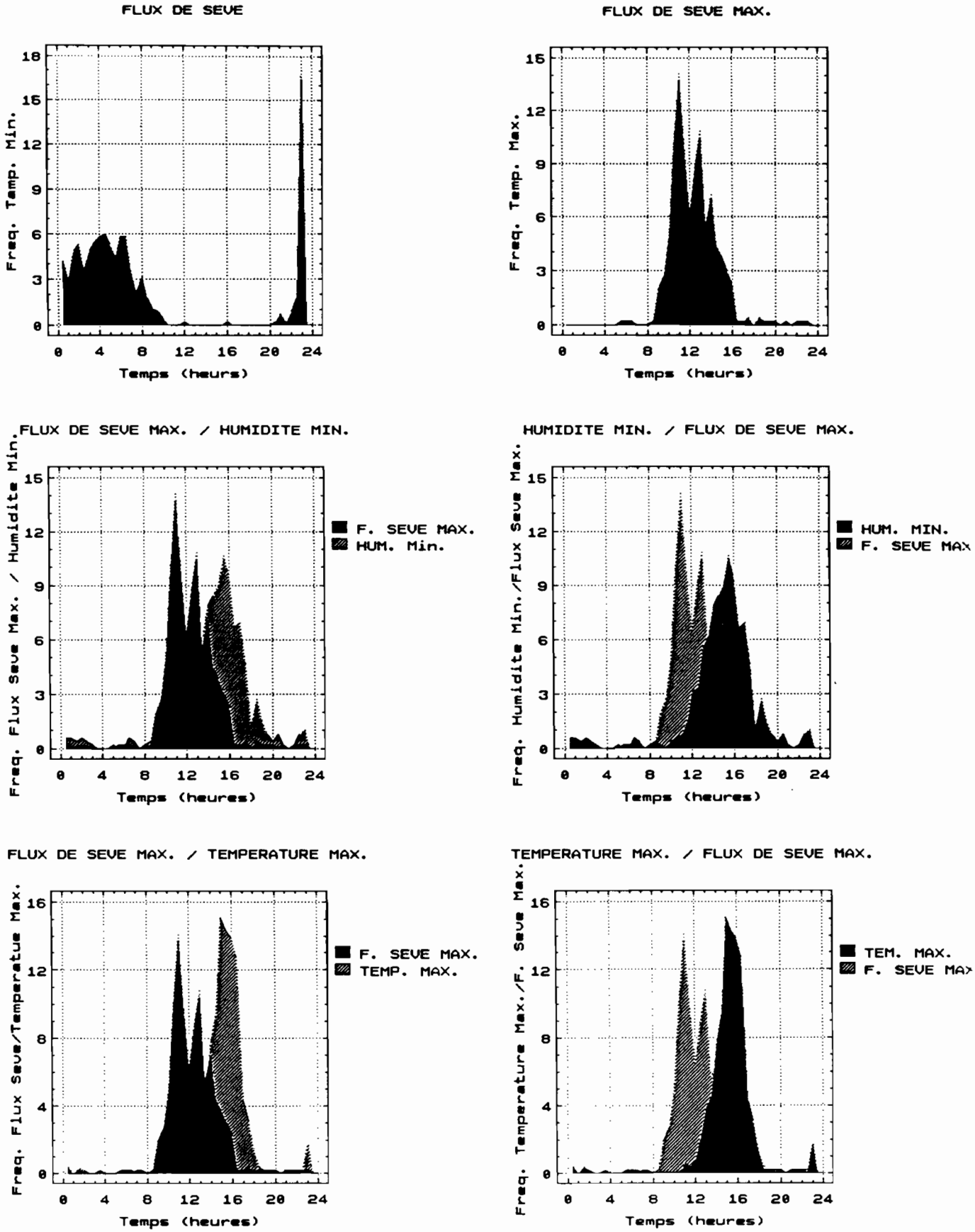


figure C17 - Distribution de fréquence comparée du flux de sève minimale/maximale et en rapport à l'humidité minimale/maximale et la température minimale/maximale (1989/1990)

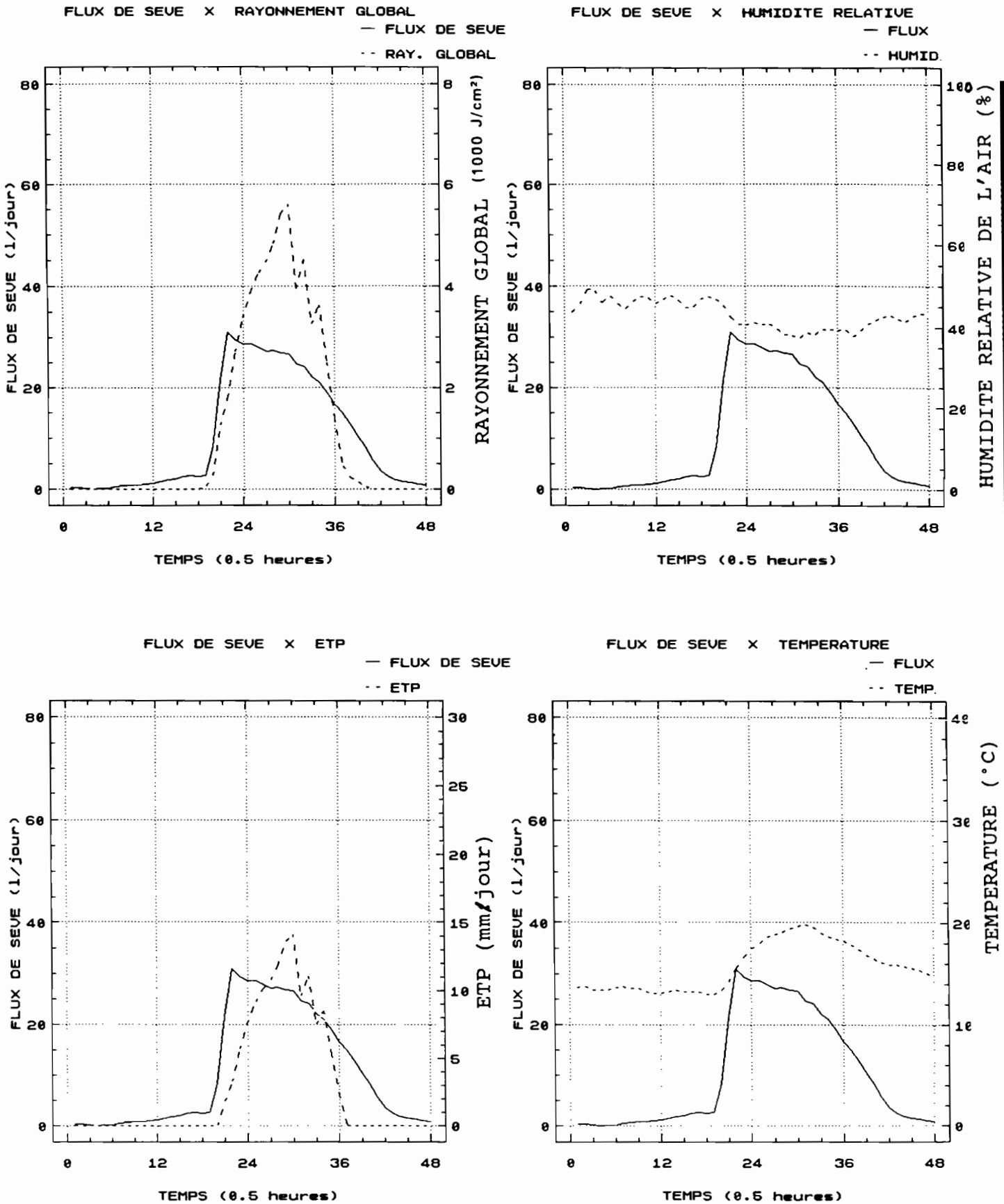


figure C18 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 27/02/90.

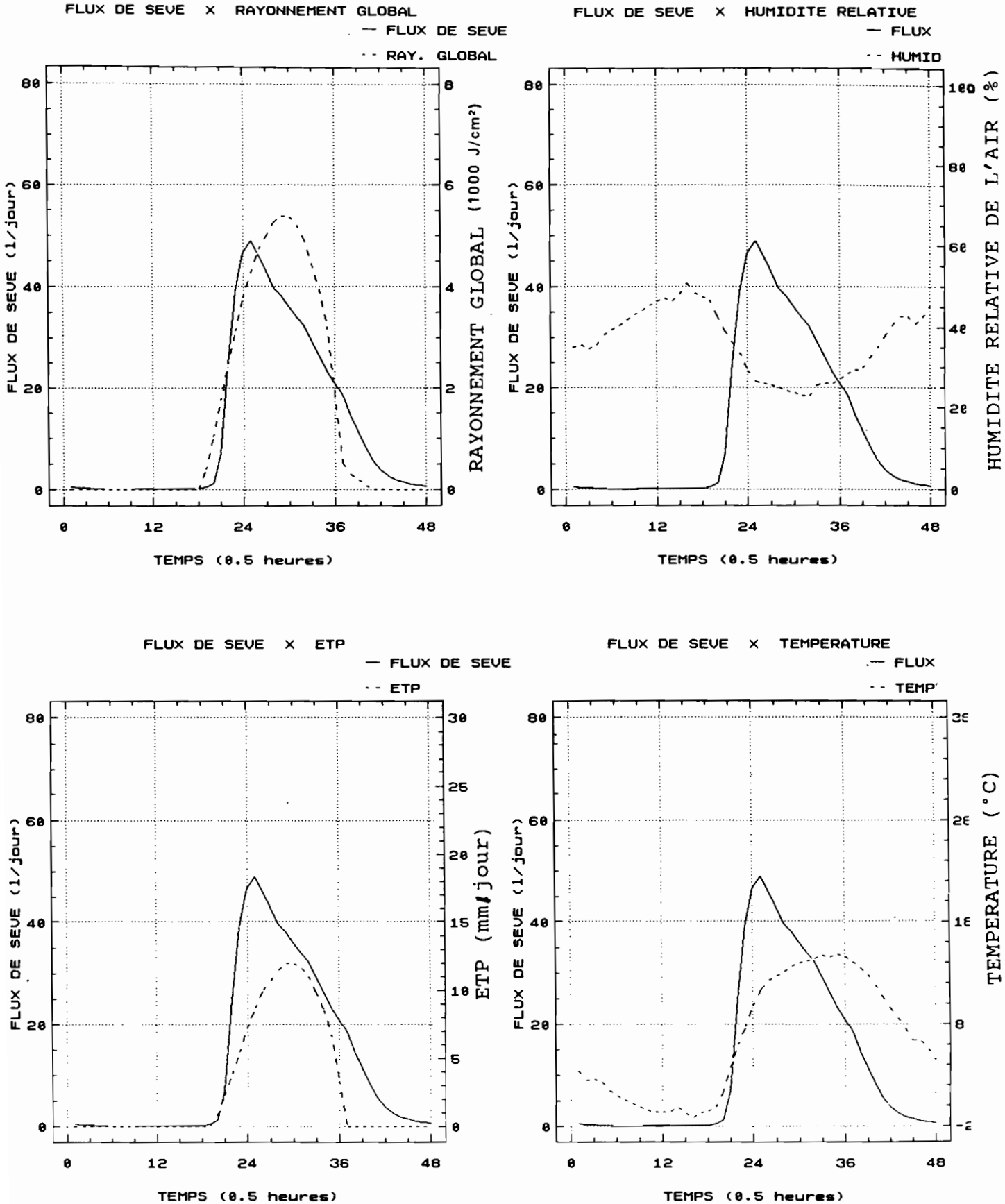


figure C19 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 05/03/90.

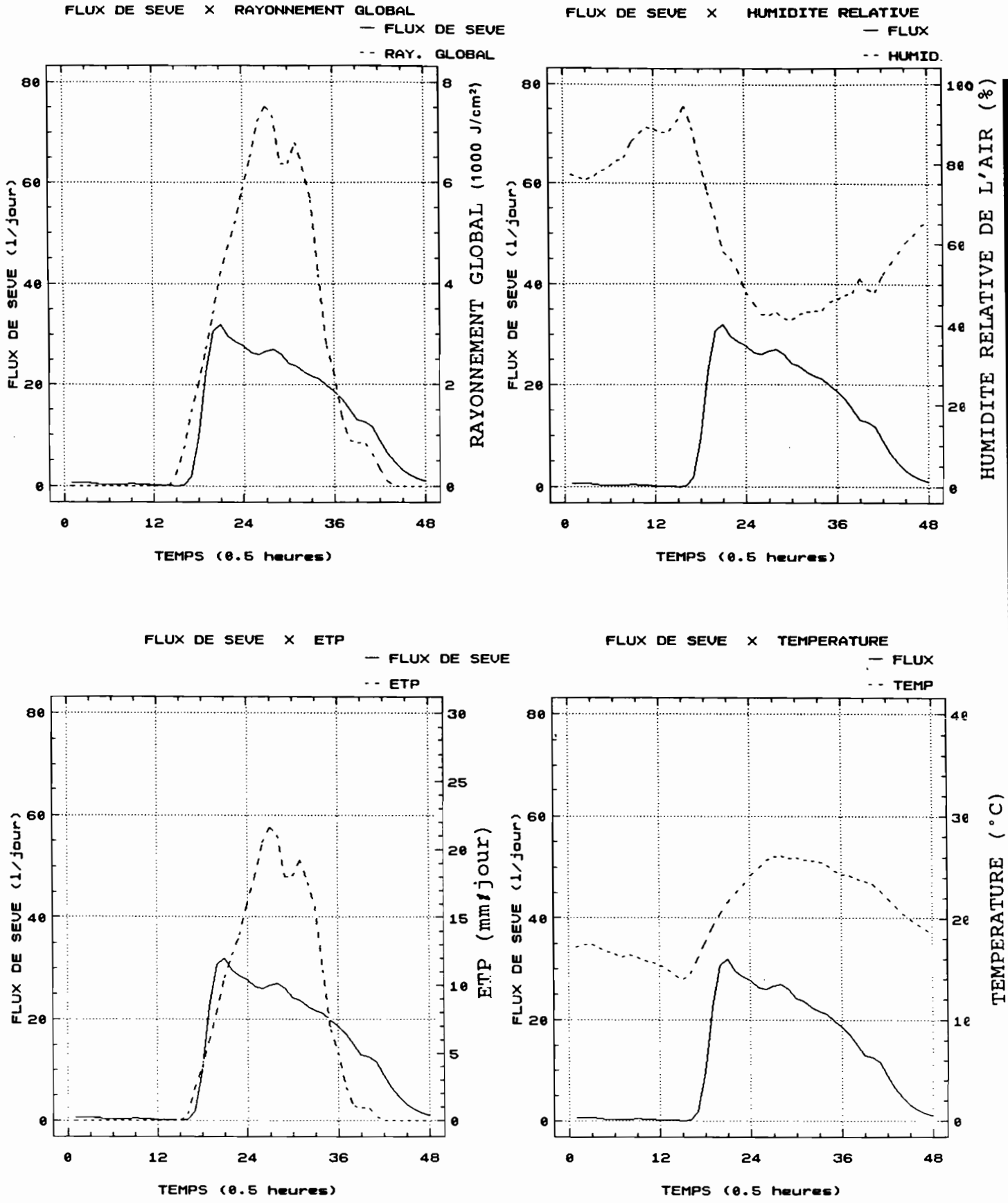


figure C20 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 18/04/90.

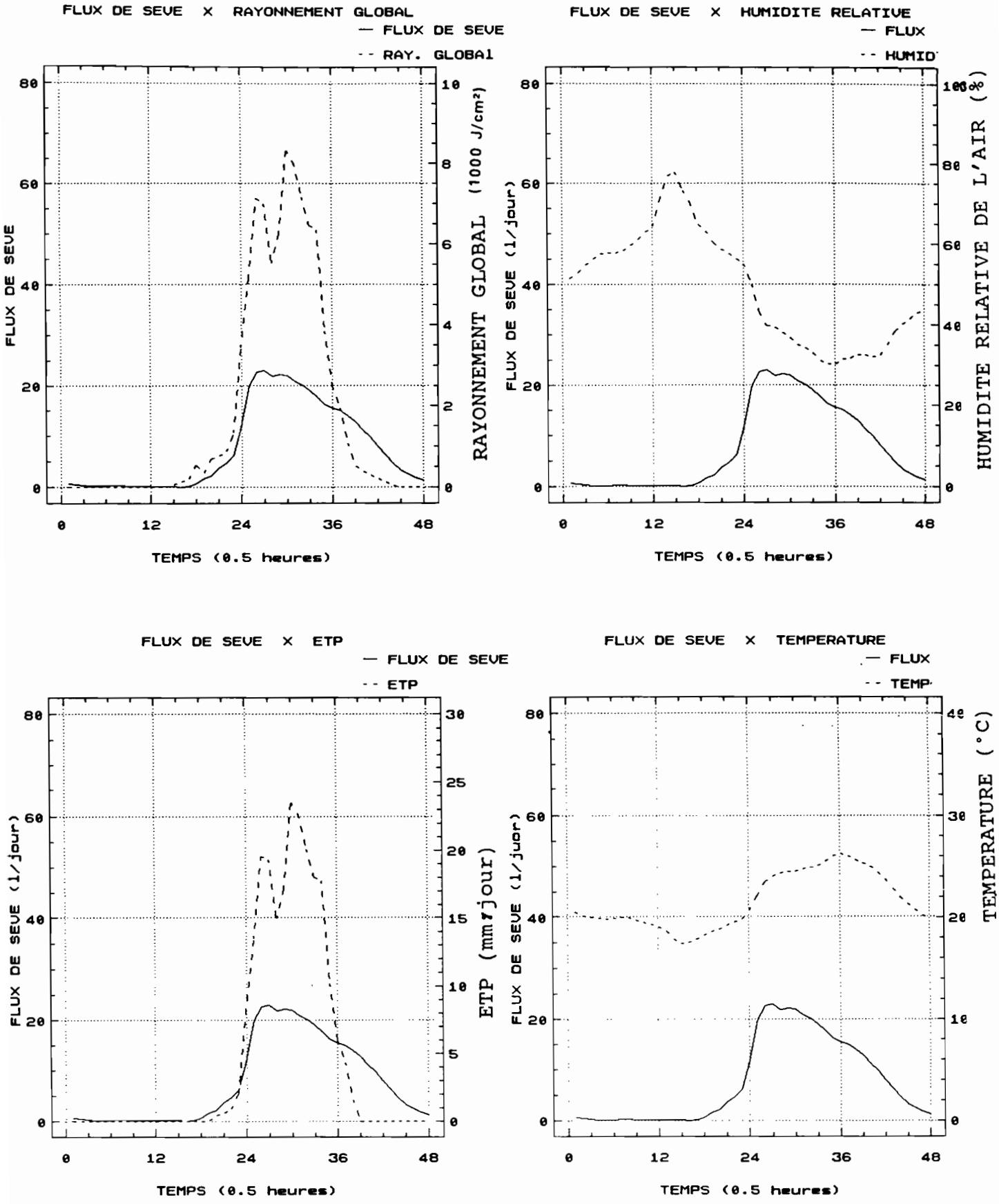


figure C21 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 03/07/90.

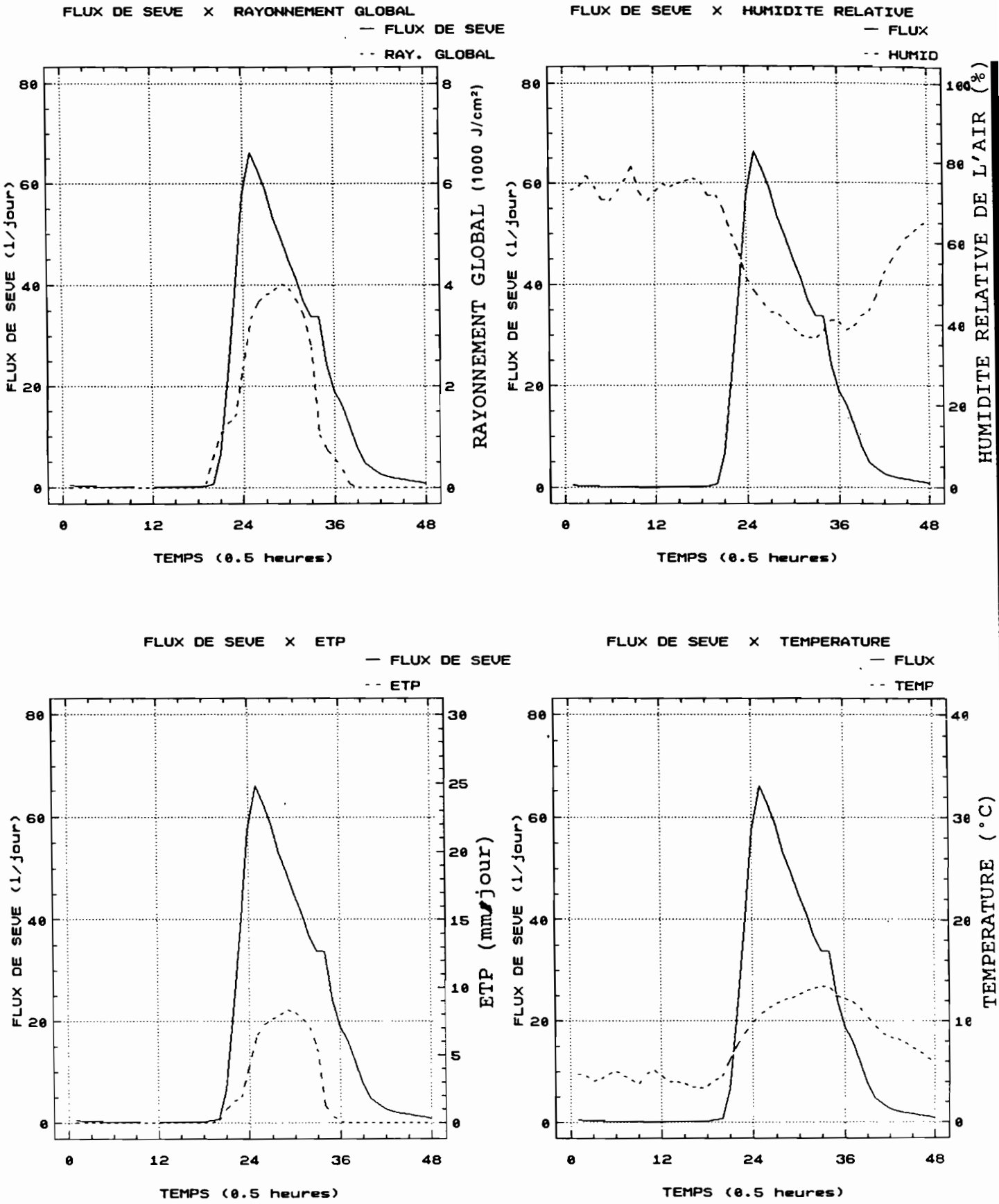


figure C22 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 04/10/90.

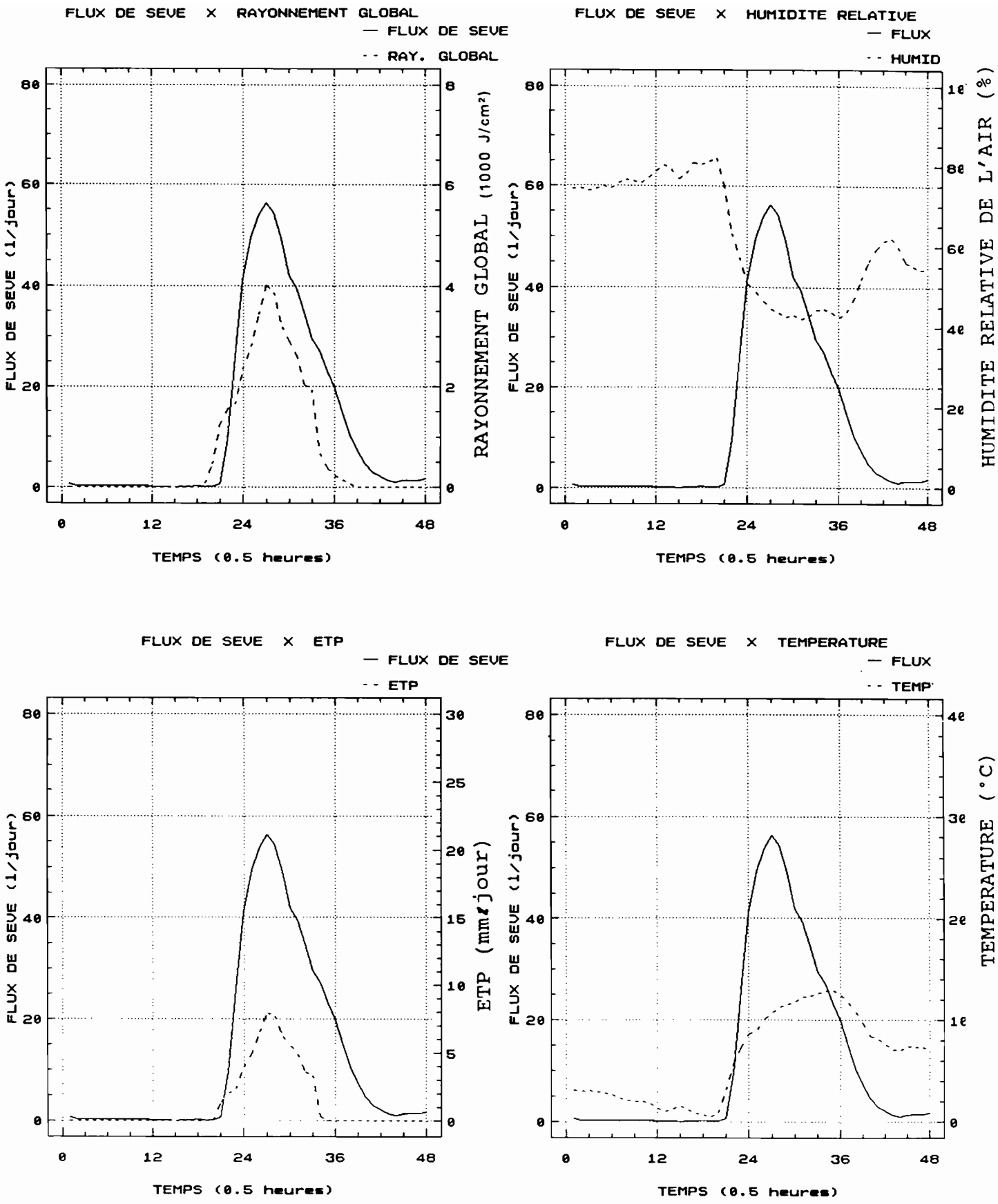
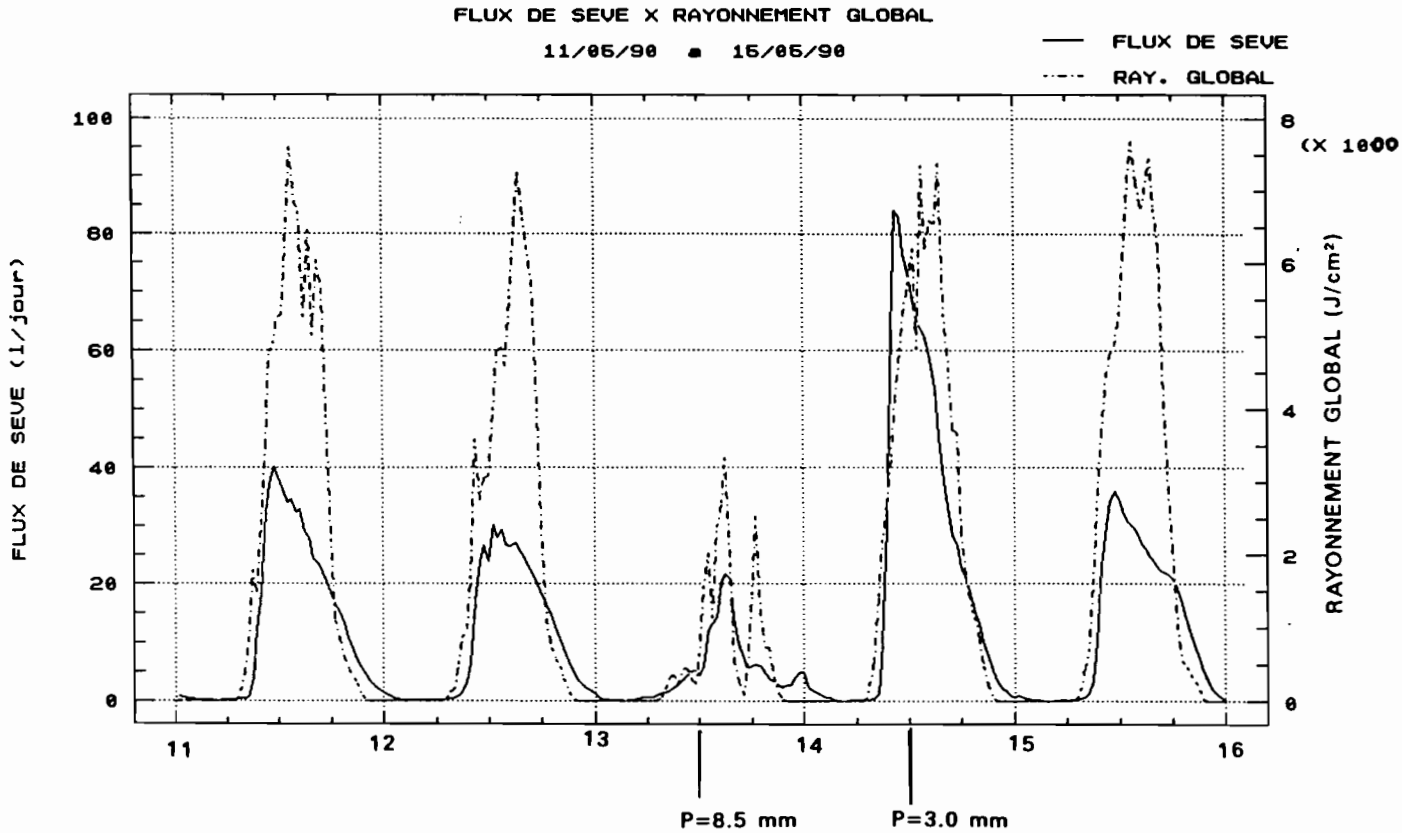


figure C23 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 06/10/90.



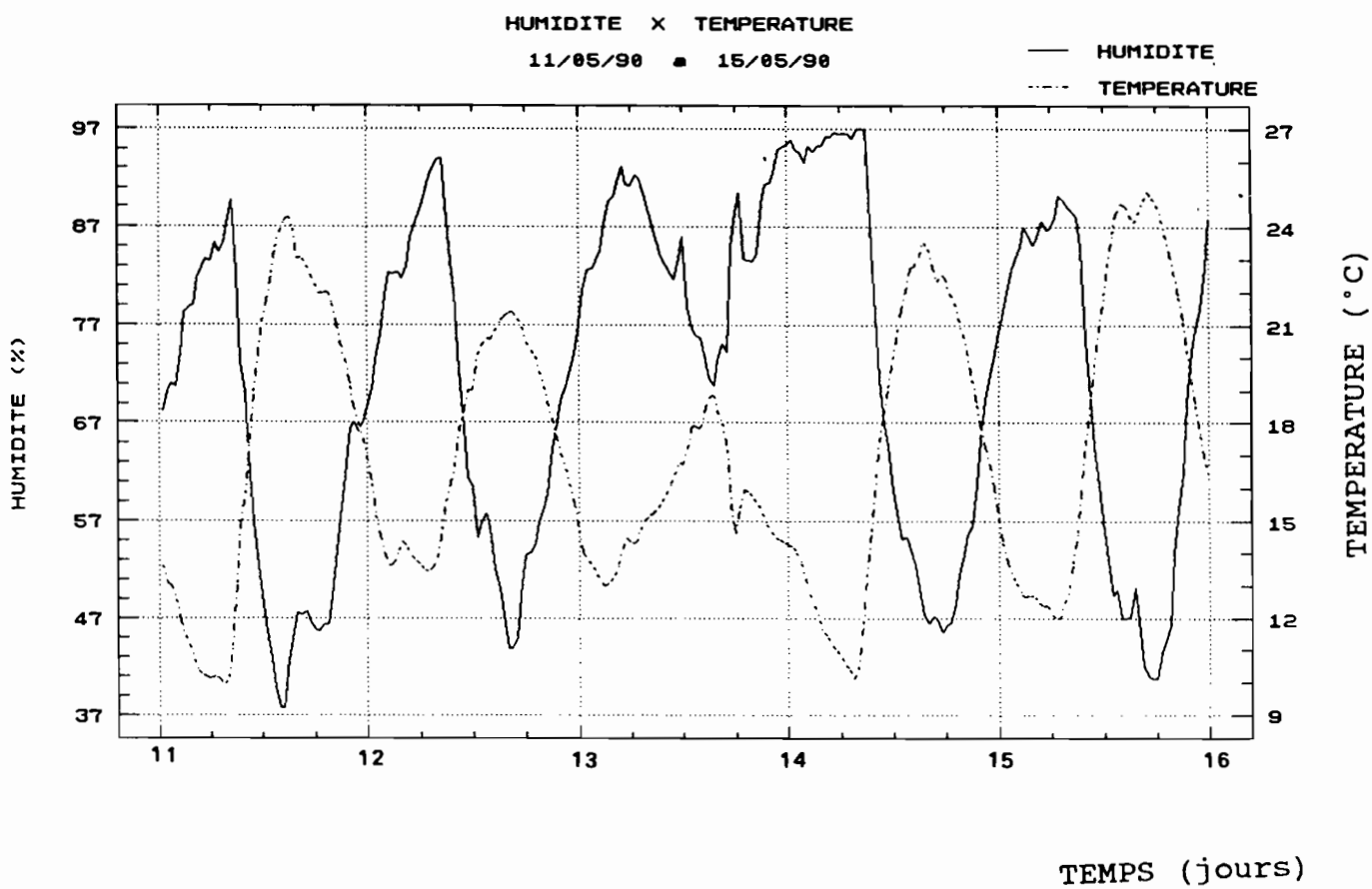
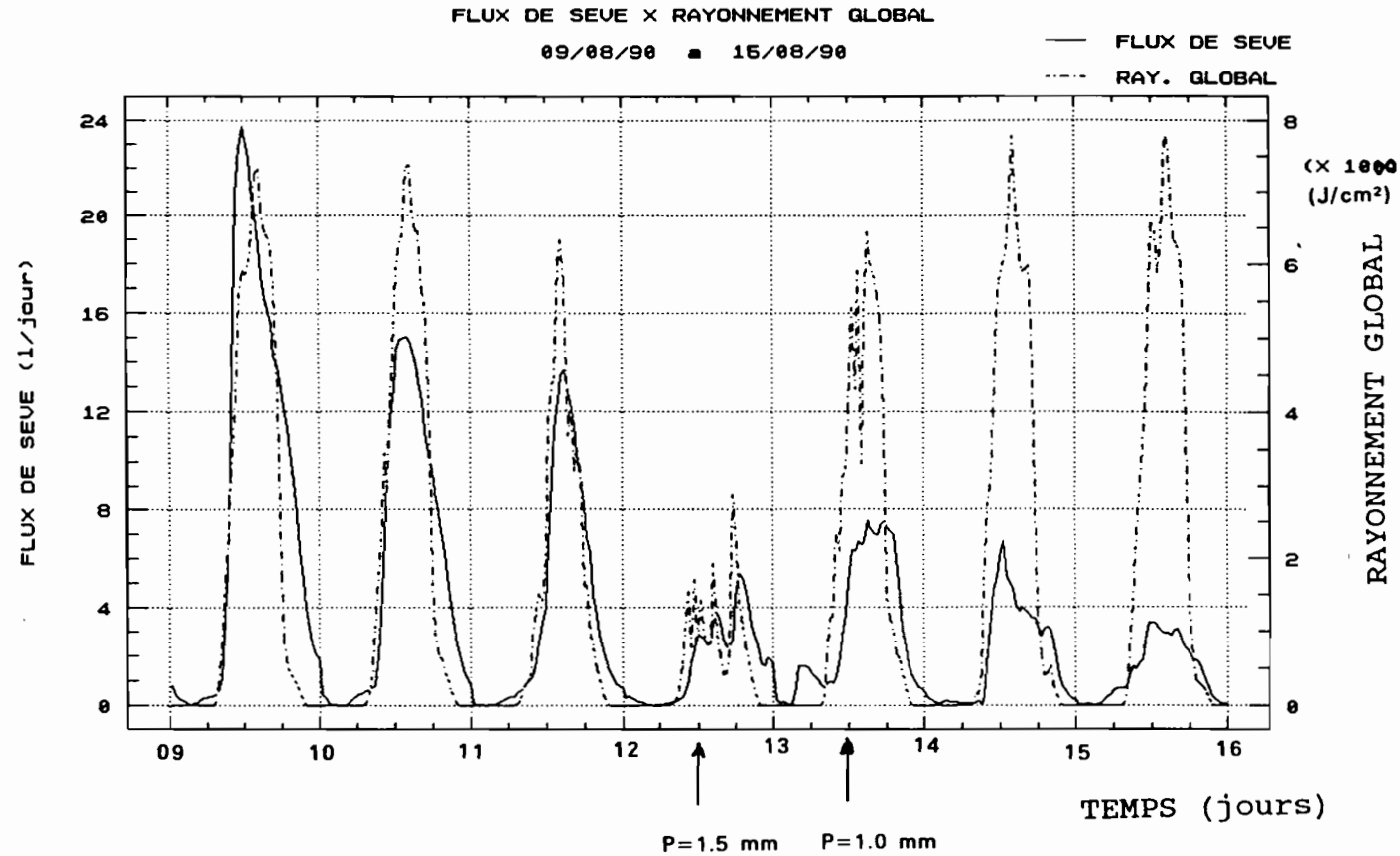


figure C24 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP.



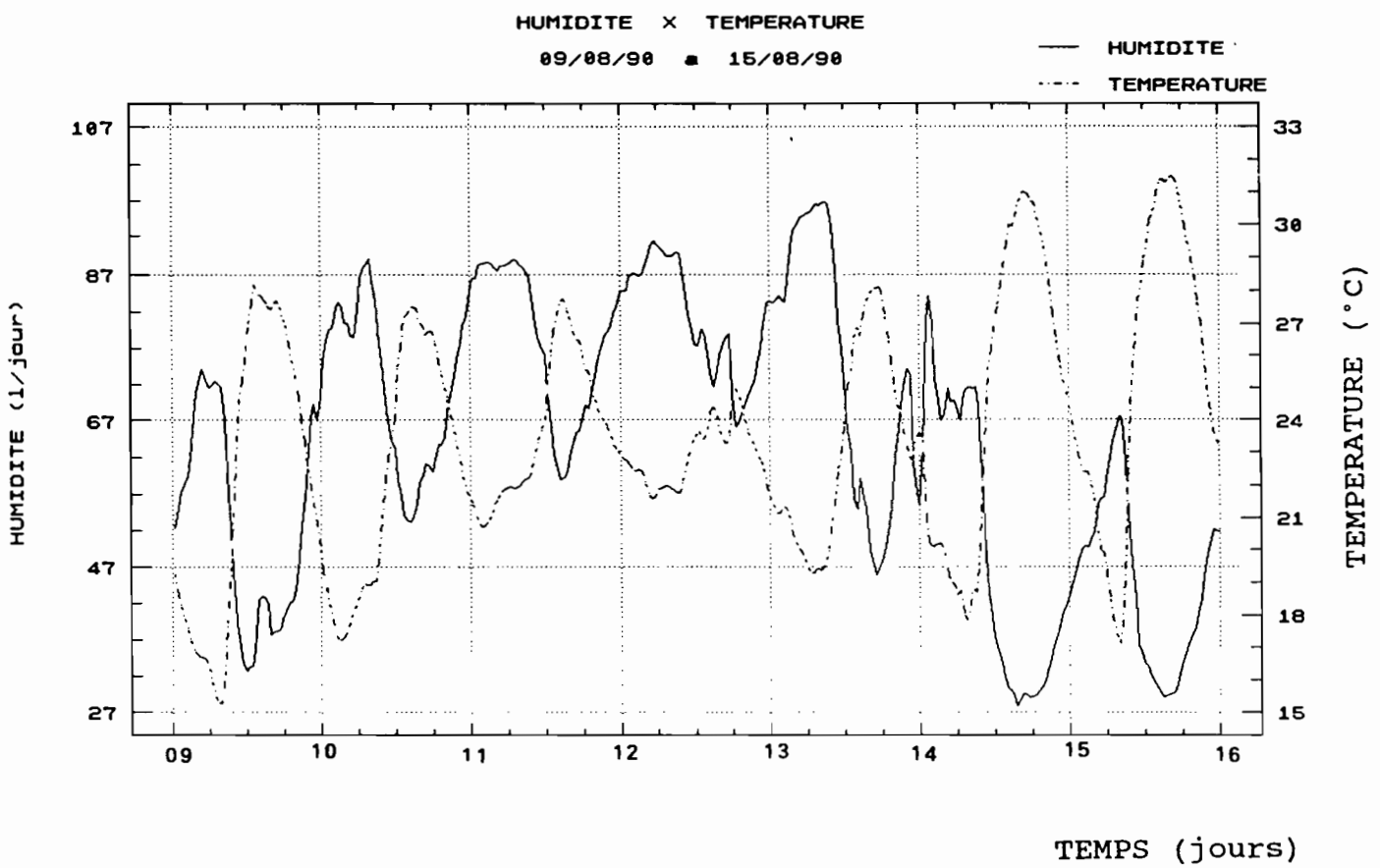


figure C25 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP.

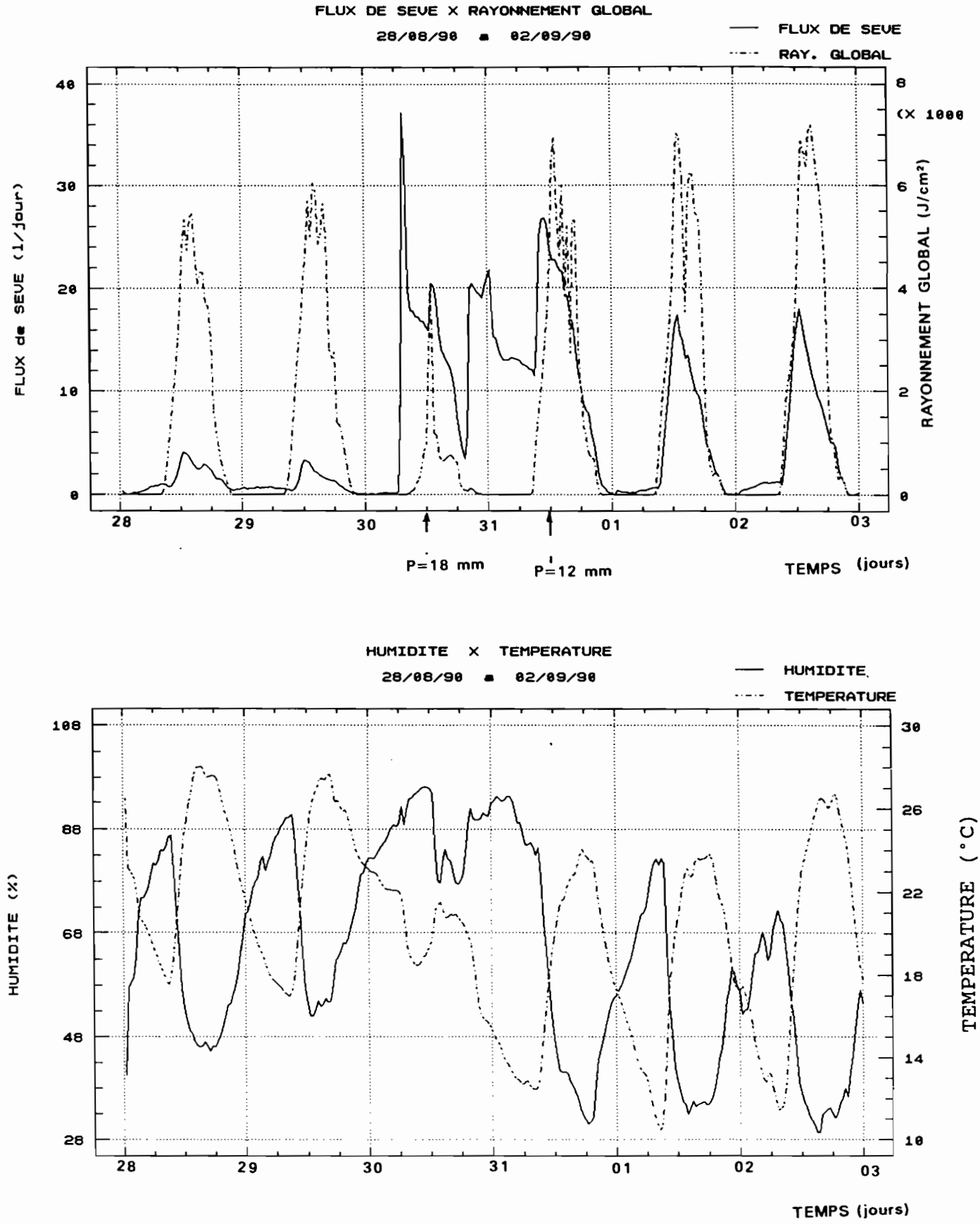


figure C26 - Courbe d'évolution journalière du fulx de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP.

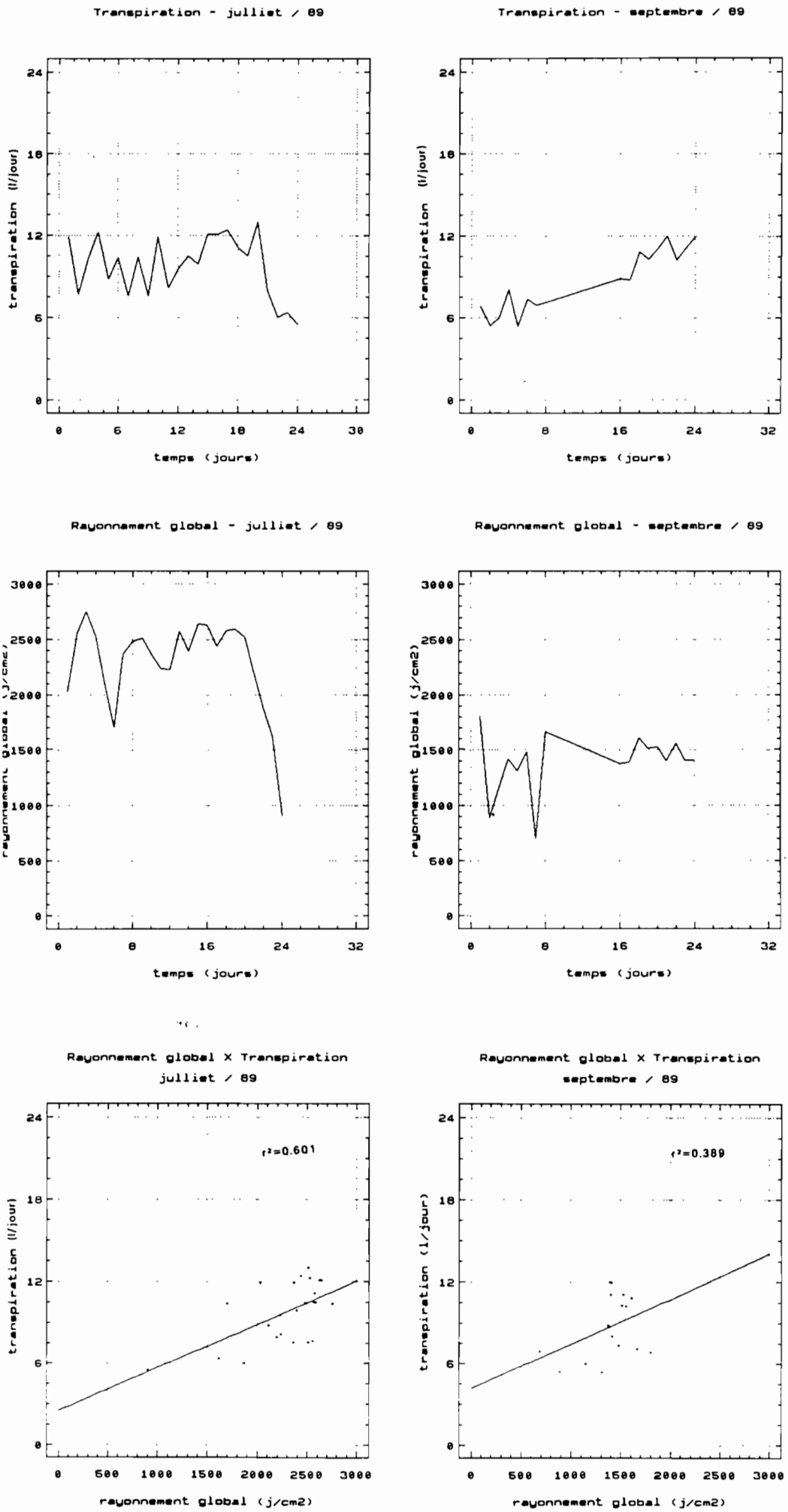


figure C27 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière juillet/89 - septembre/89.

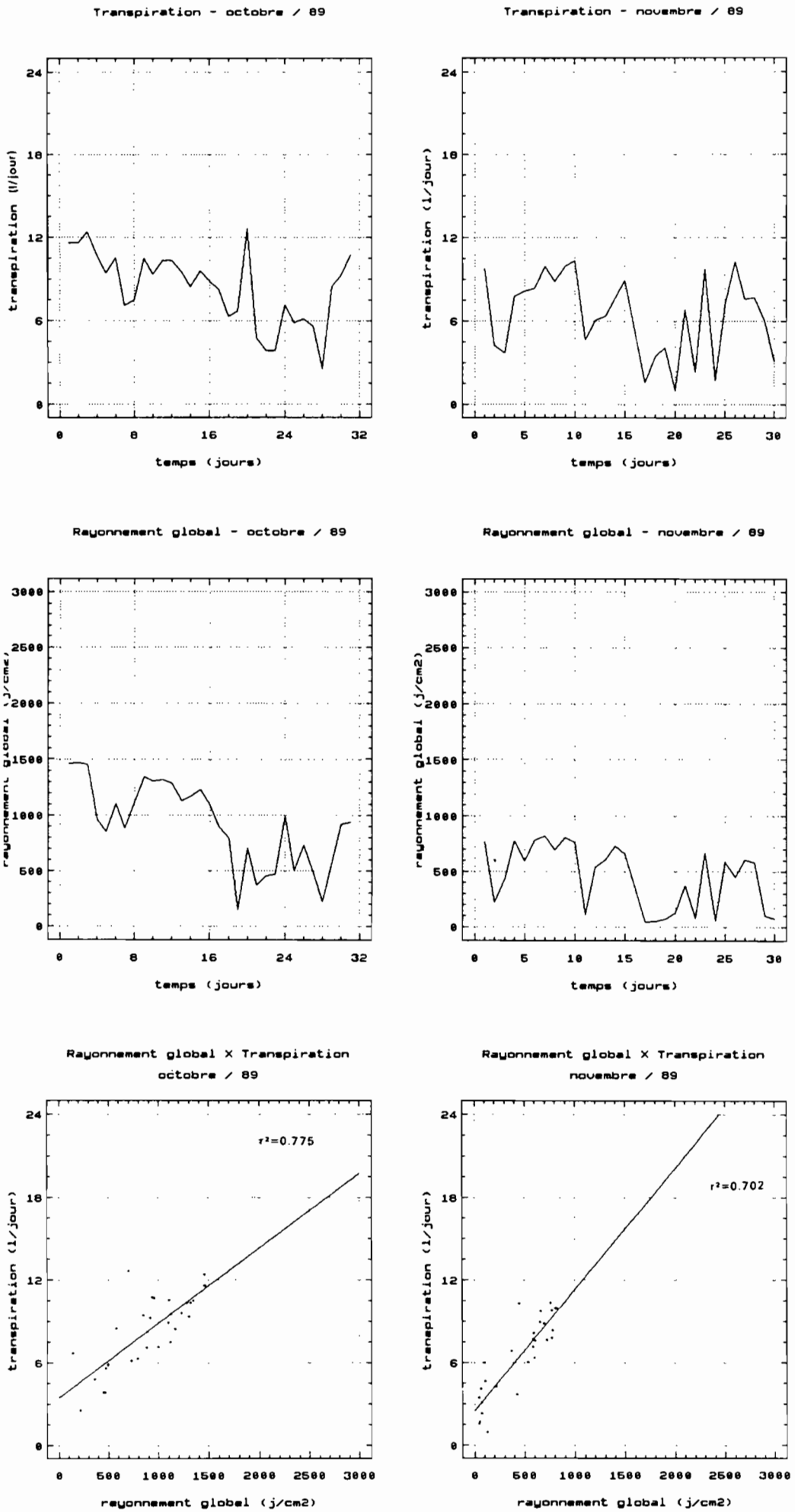
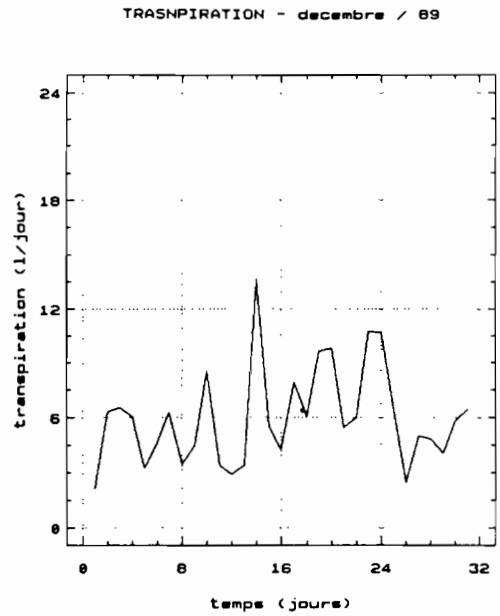
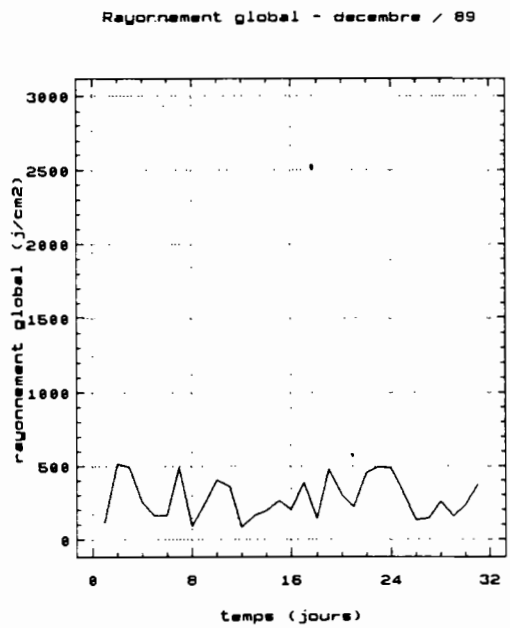


figure C28 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière octobre/89 - novembre/89.





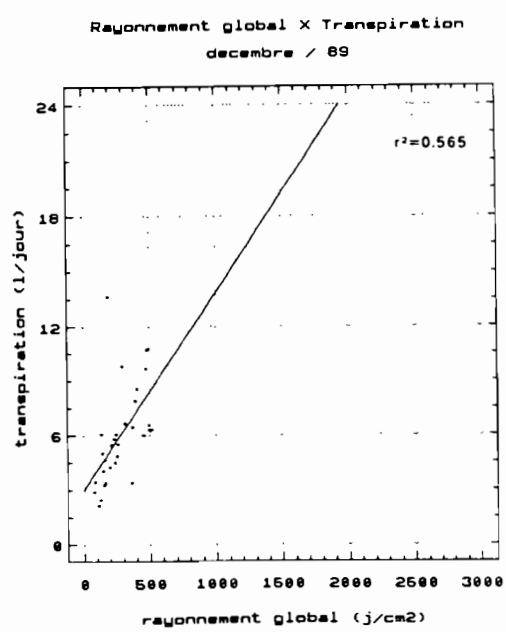


figure C29 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière décembre/89.

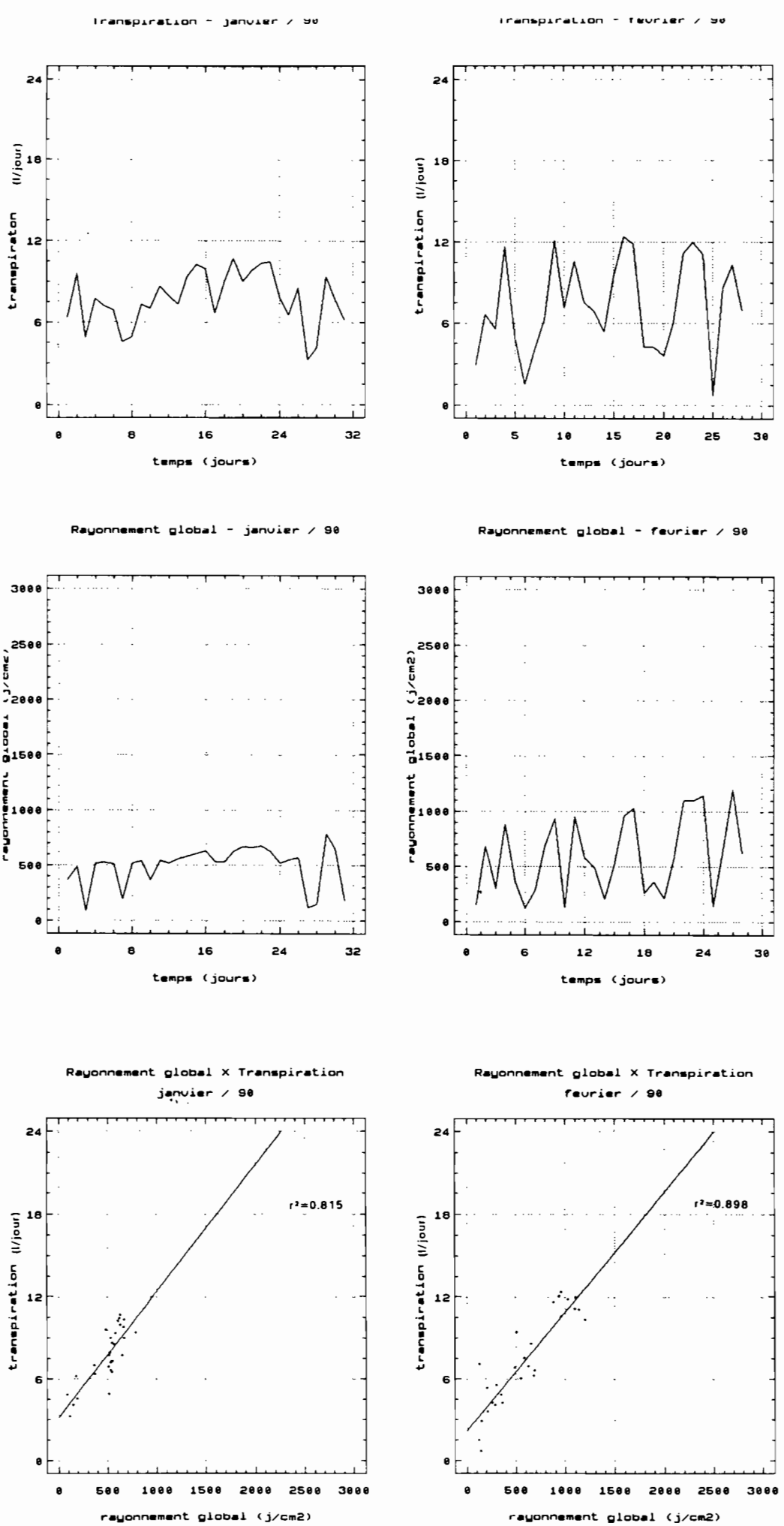


figure C30 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière

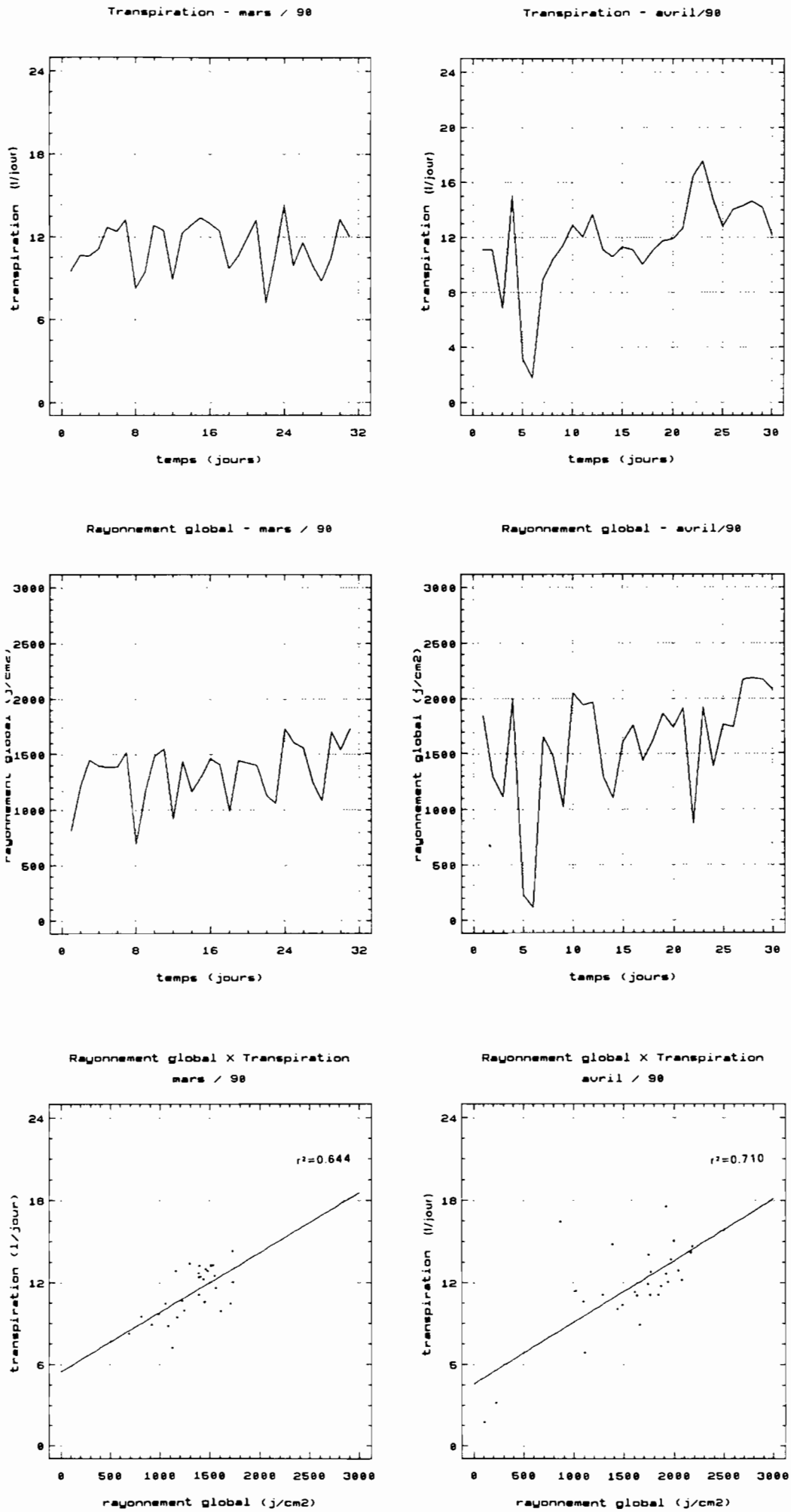


figure C31 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière mars/90 - avril/90.

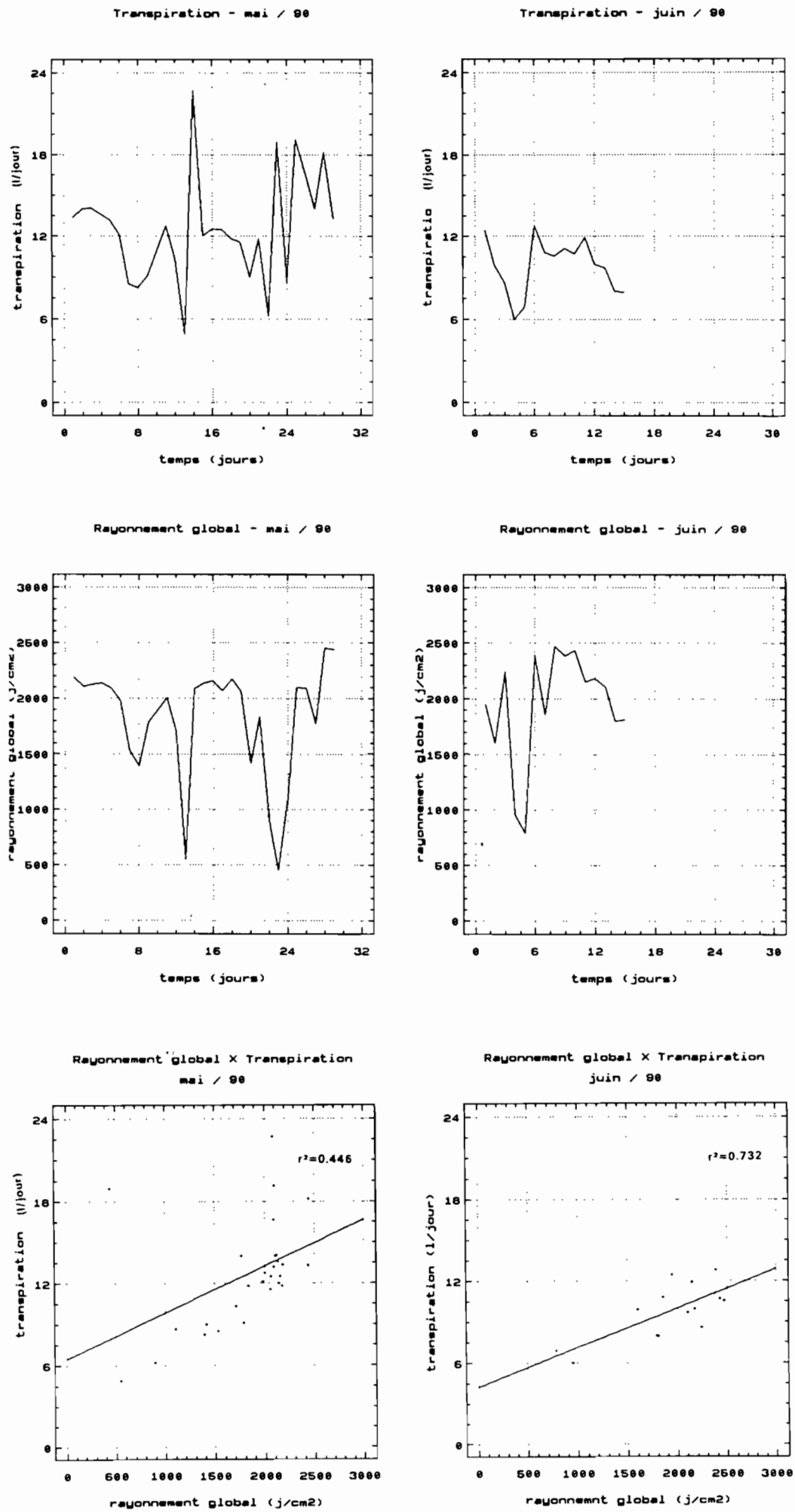


figure C32 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière
mai/90 - juin/90.

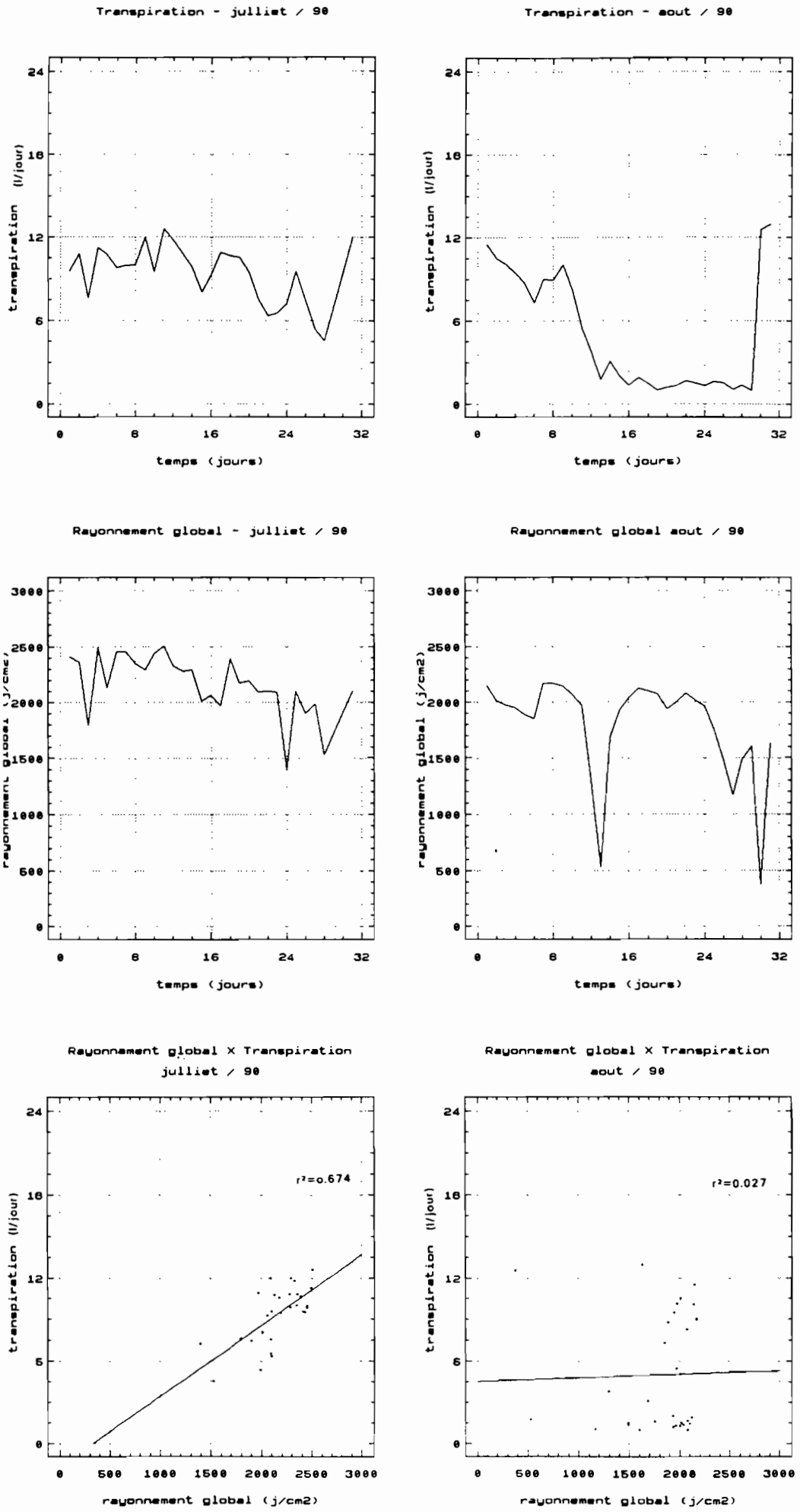


figure C33 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière juillet/90 - août/90.

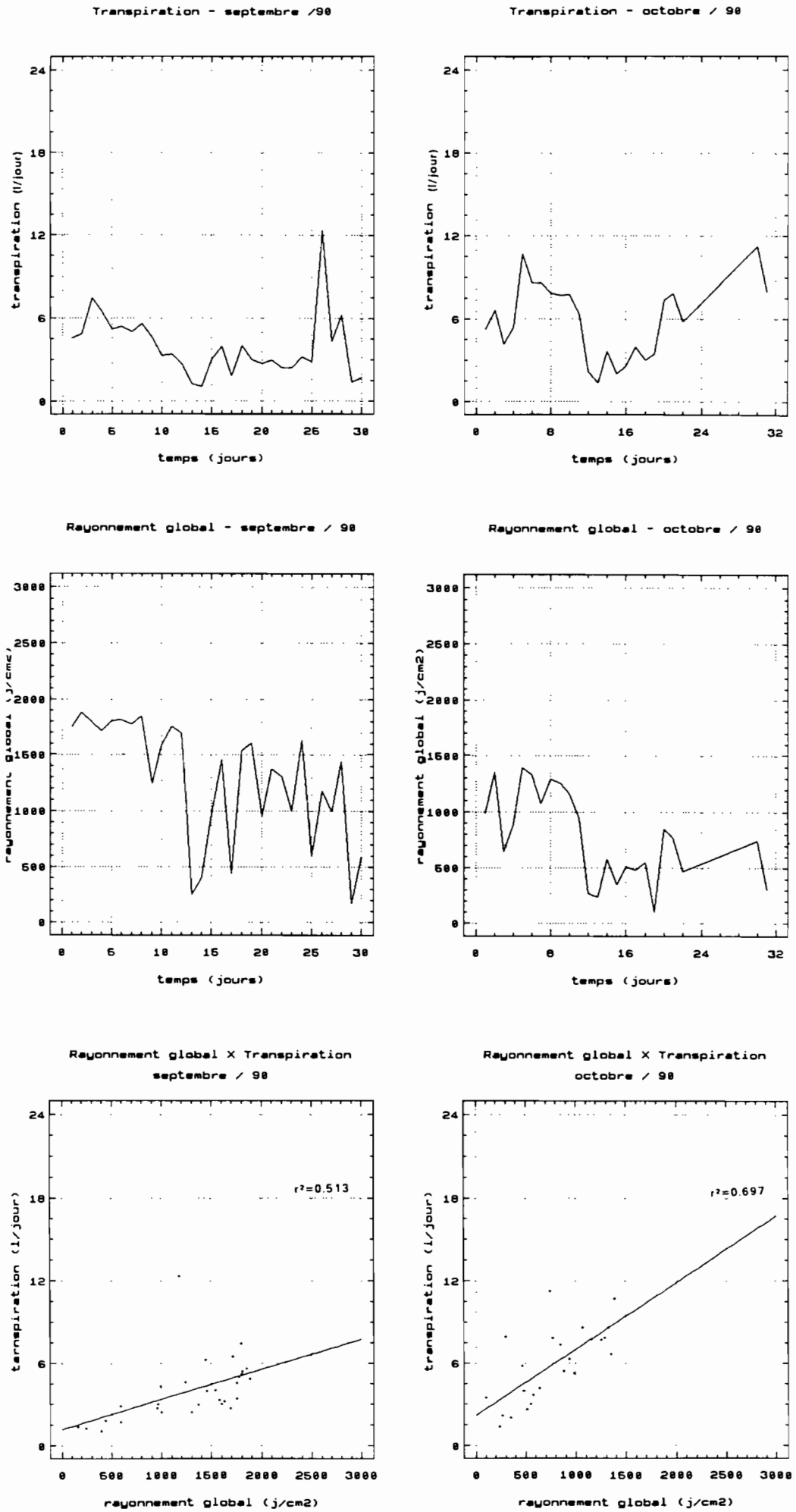


figure C34 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière septembre/90 - octobre/90.

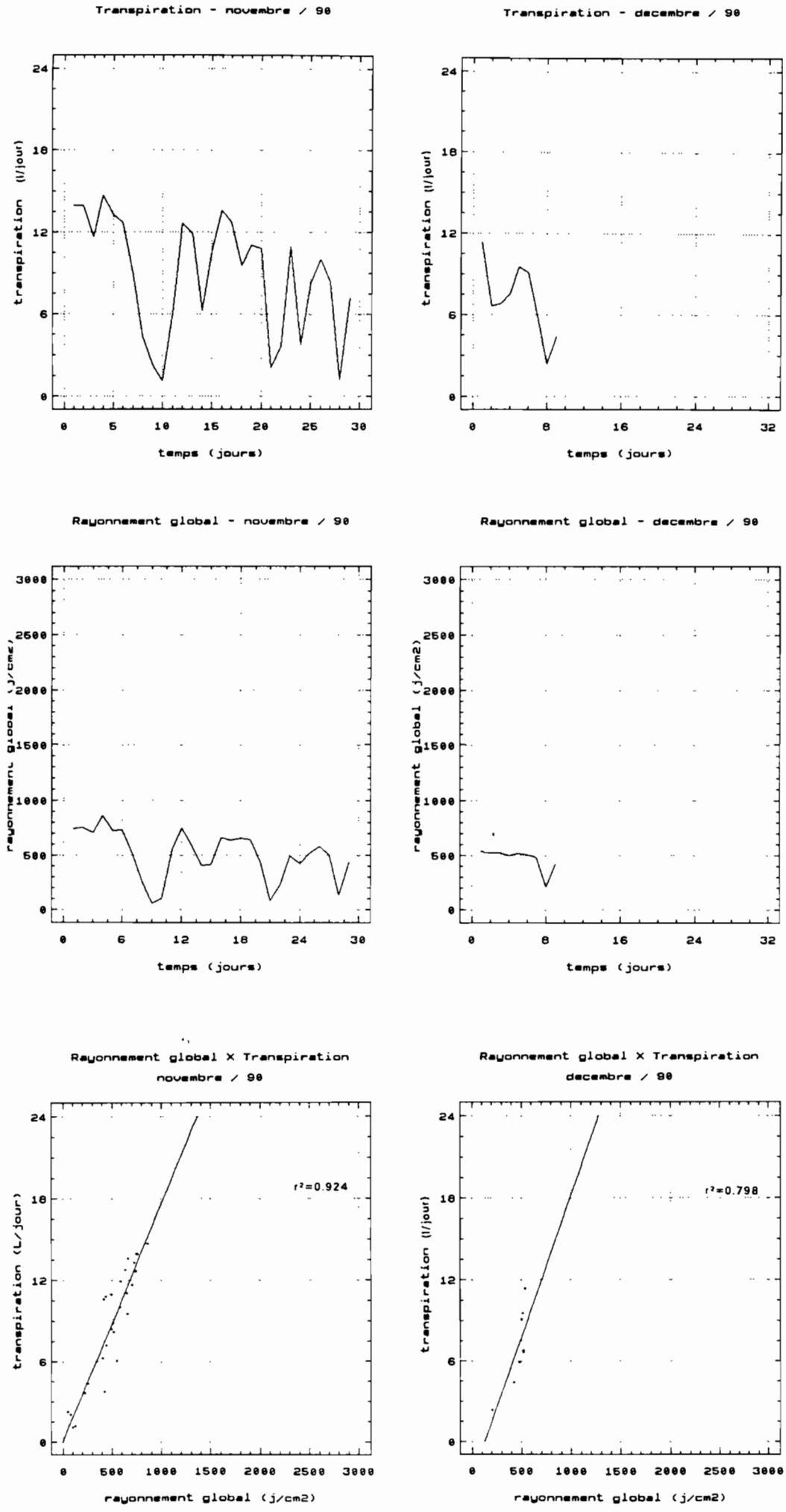


figure C35 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière novembre/90 - décembre/90.

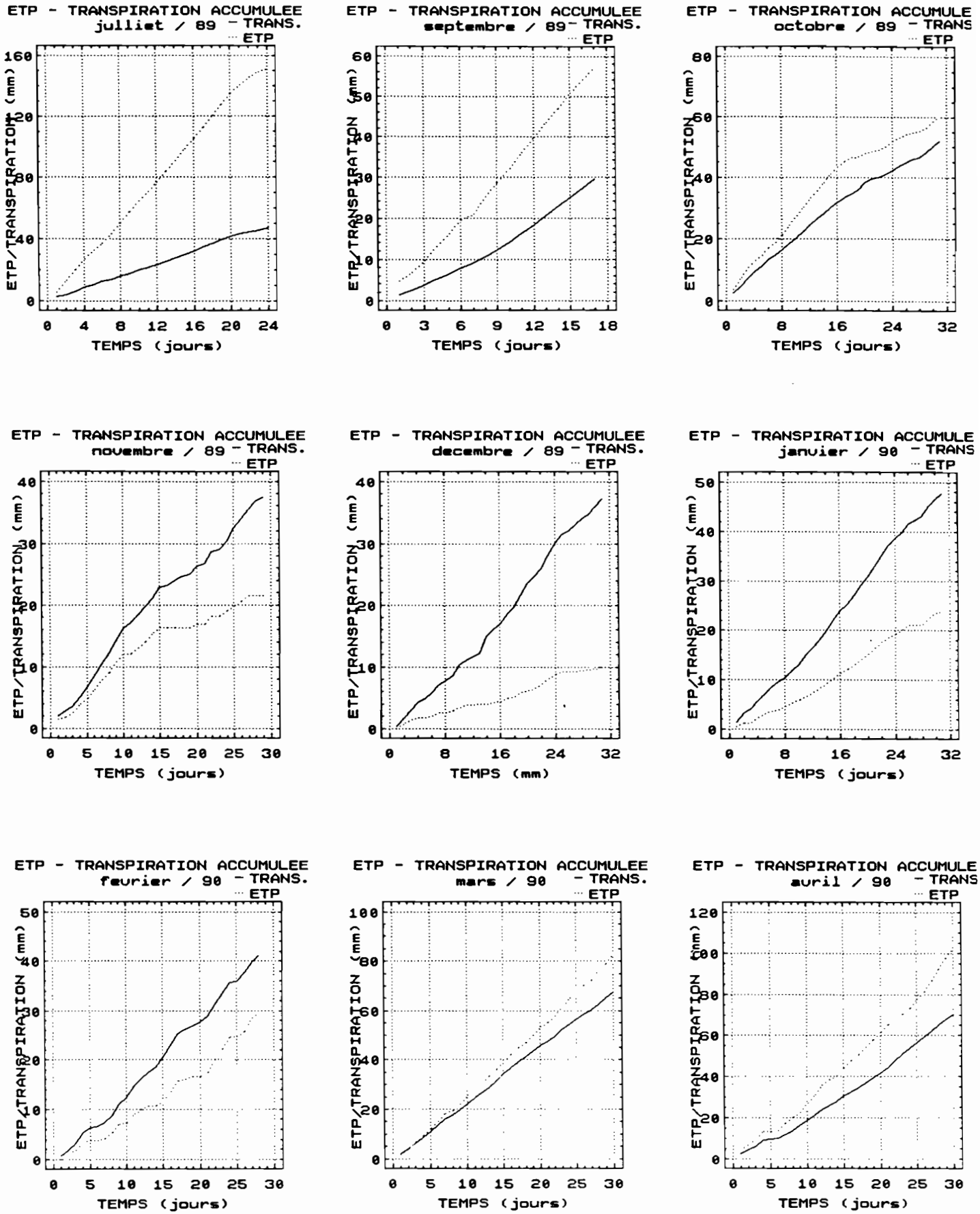


figure C36 - Evolution de l'evapotranspiration potentielle journalière accumulée et la transpiration journalière accumulée.

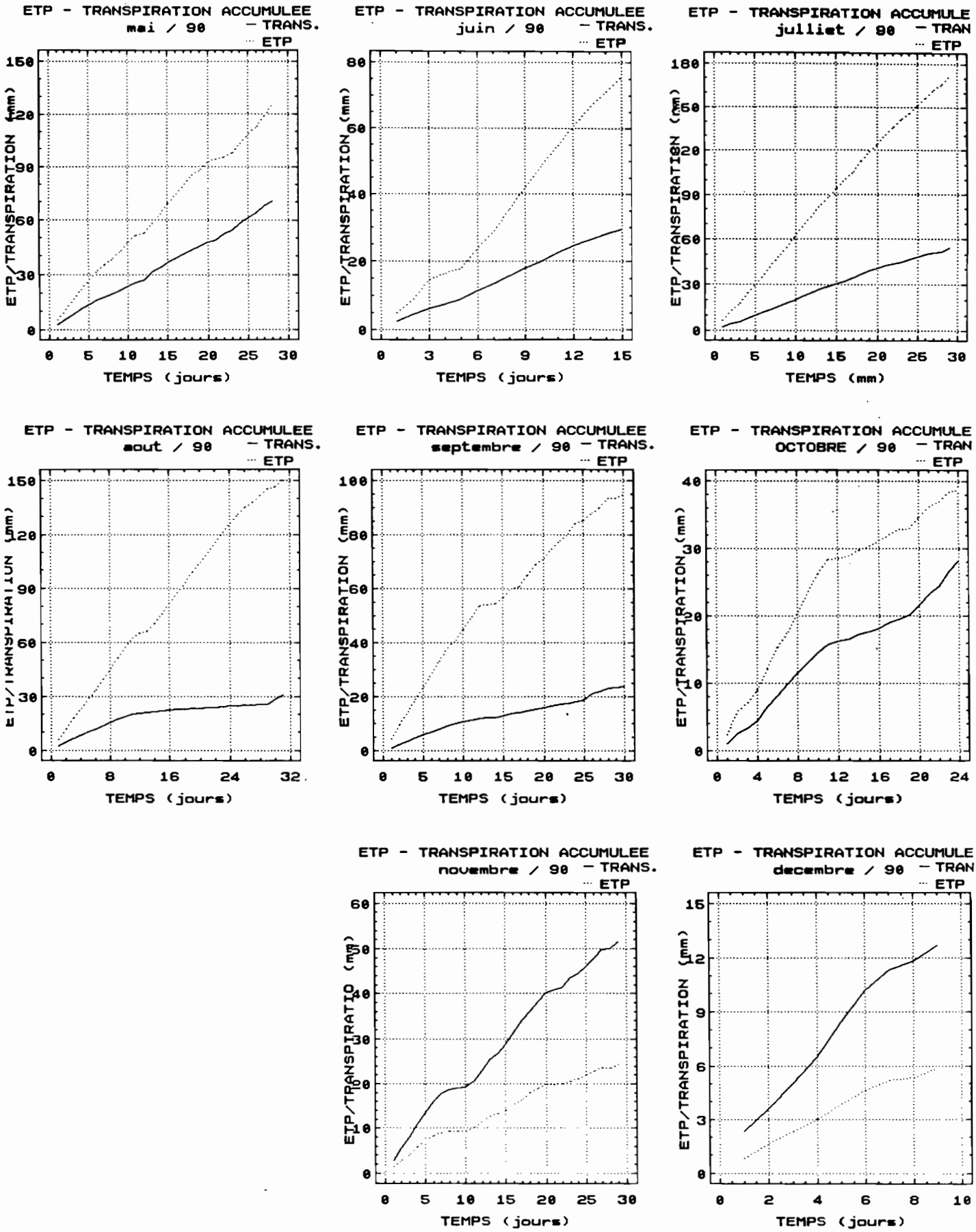


figure C37 - Evolution de l'evapotranspiration potentielle journalière accumulée et la transpiration journalière accumulée.

ANNEXE D

TABLEAU D1 - RAYONNEMENT GLOBAL OBSERVE (J/cm2) A MONTPELLIER (ENSAM)

ANNEE 1989

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	726.	802.	929.	1183.	2197.	2079.	2027.	1969.	921.	1459.	767.	111.
2	709.	794.	1132.	1732.	2003.	2240.	2551.	2274.	1918.	1463.	214.	518.
3	769.	853.	1377.	371.	2155.	1986.	2753.	2214.	1817.	1453.	427.	492.
4	684.	676.	1445.	1284.	2096.	1411.	2528.	2096.	1876.	957.	770.	247.
5	726.	938.	1437.	1530.	2070.	1834.	2110.	498.	1758.	847.	588.	157.
6	84.	997.	1056.	1149.	2112.	2282.	1696.	2011.	1724.	1100.	781.	160.
7	684.	955.	1166.	971.	2053.	2096.	2364.	1664.	1803.	880.	818.	492.
8	659.	1014.	1563.	1445.	2248.	2265.	2478.	2071.	887.	1117.	694.	84.
9	202.	1030.	1504.	1115.	583.	2147.	2510.	2104.	1150.	1342.	806.	239.
10	253.	583.	1470.	210.	1326.	1868.	2366.	1487.	1413.	1301.	759.	403.
11	202.	836.	1377.	1707.	574.	2341.	2233.	2096.	1312.	1314.	105.	362.
12	439.	997.	1005.	548.	1098.	2383.	2228.	2189.	1479.	1285.	536.	80.
13	718.	1107.	836.	1783.	2214.	2307.	2570.	2037.	690.	1126.	601.	160.
14	464.	1217.	1690.	1868.	2400.	1960.	2393.	1056.	1660.	1167.	726.	193.
15	743.	726.	1436.	2087.	2375.	2299.	2643.	1631.	1521.	1227.	654.	260.
16	481.	1199.	472.	1352.	2214.	2332.	2626.	1682.	1757.	1095.	168.	195.
17	540.	1141.	219.	1428.	2087.	2265.	2437.	1699.	515.	892.	44.	387.
18	591.	718.	853.	1123.	2181.	2257.	2577.	2045.	963.	788.	46.	136.
19	515.	1081.	1124.	2011.	2257.	2214.	2589.	2011.	236.	140.	68.	477.
20	134.	633.	1445.	1732.	2206.	2240.	2514.	2020.	1462.	703.	125.	296.
21	422.	430.	1513.	1622.	2104.	2299.	2195.	1741.	1420.	366.	369.	213.
22	870.	1183.	1639.	2070.	1648.	2257.	1874.	1783.	1373.	452.	70.	450.
23	895.	270.	1732.	2020.	1741.	2341.	1615.	1952.	1385.	463.	663.	494.
24	870.	549.	1783.	354.	1546.	2324.	904.	2003.	1606.	997.	53.	482.
25	870.	354.	1808.	151.	971.	2349.	1817.	1893.	1511.	496.	584.	317.
26	862.	1090.	1817.	1090.	2273.	1656.	2087.	1978.	1525.	730.	447.	127.
27	845.	1233.	887.	1868.	2197.	2223.	2037.	1961.	1394.	476.	605.	142.
28	862.	1301.	1724.	1868.	2273.	2417.	2079.	2079.	1550.	215.	581.	251.
29	946.		1783.	1301.	2224.	2054.	2096.	1921.	1401.	579.	98.	152.
30	963.		1259.	2214.	1749.	2333.	2028.	1952.	1405.	916.	73.	231.
31	971.		566.		1428.		2147.	1199.		934.		368.

TABLEAU D2 - RAYONNEMENT GLOBAL OBSERVE (J/cm2) A MONTPELLIER (ENSAM)

ANNEE 1990

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
01	368.	148.	812.	1846.	2182.	2223.	2413.	2148.	1749.	986.	743.	536.
02	483.	687.	1217.	1292.	2104.	1183.	2357.	2012.	1881.	1355.	755.	520.
03	87.	298.	1447.	1108.	2119.	2451.	1794.	1972.	1793.	638.	704.	519.
04	517.	882.	1388.	1995.	2134.	2155.	2492.	1949.	1708.	884.	862.	496.
05	525.	351.	1387.	228.	2092.	828.	2129.	1887.	1802.	1300.	723.	517.
06	507.	123.	1385.	109.	1979.	2510.	2452.	1847.	1810.	1326.	730.	503.
07	188.	287.	1513.	1655.	1532.	1944.	2452.	2169.	1770.	1071.	507.	480.
08	517.	678.	685.	1486.	1300.	2079.	2348.	2168.	1850.	1292.	262.	202.
09	533.	937.	1170.	1016.	1787.	2519.	2293.	2139.	1239.	1255.	54.	424.
10	361.	127.	1475.	2046.	2003.	2485.	2432.	2069.	1582.	1160.	97.	506.
11	540.	954.	1544.	1942.	2003.	1225.	2506.	1967.	1754.	939.	547.	354.
12	519.	581.	913.	1965.	1712.	1800.	2326.	1299.	1689.	268.	744.	329.
13	552.	486.	1434.	1291.	546.	2316.	2279.	530.	244.	235.	587.	456.
14	580.	204.	1157.	1095.	2087.	1014.	2288.	1681.	398.	581.	404.	506.
15	604.	506.	1296.	1605.	2137.	2392.	2009.	1930.	963.	346.	410.	278.
16	628.	961.	1458.	1761.	2151.	1944.	2057.	2036.	1456.	512.	660.	574.
17	529.	1028.	1404.	1434.	2063.	1598.	1968.	2120.	436.	479.	635.	523.
18	526.	262.	985.	1626.	2173.	2243.	2300.	2099.	1536.	549.	652.	58.
19	623.	362.	1439.	1867.	2059.	953.	2175.	2075.	1600.	99.	643.	278.
20	666.	212.	1174.	1737.	1416.	786.	2189.	1936.	954.	847.	432.	566.
21	658.	553.	1395.	1919.	1836.	2386.	2088.	2000.	1370.	769.	81.	549.
22	670.	1097.	1126.	866.	894.	1856.	2100.	2078.	1300.	464.	226.	489.
23	620.	1100.	1052.	1921.	447.	2469.	2092.	2016.	1000.	134.	488.	566.
24	516.	1139.	1727.	1384.	1105.	2381.	1393.	1962.	1626.	320.	423.	261.
25	544.	143.	1604.	1768.	2098.	2429.	2098.	1752.	591.	971.	518.	515.
26	565.	655.	1556.	1744.	2089.	2147.	1897.	1487.	1180.	752.	579.	549.
27	115.	1199.	1238.	2165.	1769.	2176.	1987.	1166.	989.	752.	497.	303.
28	145.	625.	1080.	2181.	2446.	2103.	1526.	1487.	1444.	439.	128.	388.
29	782.		1701.	2169.	2435.	1796.	1166.	1601.	163.	422.	436.	261.
30	648.		1534.	2079.	1318.	1809.	2113.	374.	594.	743.	600.	117.
31	179.		1730.		2358.		2094.	1630.		300.		134.

TABLEAU D3 - PRECIPITATIONS OBSERVEES (mm) A CAMP REDON

ANNEE 1989

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	.0	.0	1.5	5.0	.0	2.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2	.0	.0	2.5	3.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
3	.0	.0	.5	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
4	.0	.0	.0	8.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5	.0
5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.5	.0	.0	2.0	.0
6	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0	.0	.0	.0	15.0
7	5.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.2
8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0	.0	3.0
10	.0	.0	.0	4.5	.0	.0	1.5	.0	7.5	.0	.0	.0
11	.0	.0	.0	16.5	.2	.0	.0	.0	17.5	.0	.0	.0
12	1.0	.0	.0	.0	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
13	1.0	.0	.0	5.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
14	.0	.0	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.0
15	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0	.0	.0	.0	.0
16	.0	.0	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
17	.0	.0	.0	1.0	.0	.0	.0	17.5	.0	.0	4.0	.0
18	.0	.0	12.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	23.0	.0
19	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	14.0	.0
20	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	79.0	18.5	1.8	.0
21	24.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	15.0	.0
22	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	20.0	.0
23	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	9.5	.0
24	.0	8.5	.0	5.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25	.0	1.0	.0	11.0	2.5	.0	4.5	.0	.0	.0	1.3	.0
26	.0	2.5	.0	90.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
27	.0	.0	.0	3.5	.0	11.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
28	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
29	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	19.5	.0	.0
30	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	21.0	.0	.0
31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

TABLEAU D4 - PRECIPITATIONS OBSERVEES (°C) A CAMP REDON

ANNEE 1990

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	.0	21.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	2.5	.0
2	.0	4.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
3	.0	.0	.0	6.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
4	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.0	.0
5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
6	.0	.0	.0	11.0	.0	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0
7	.0	11.5	.0	26.5	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
8	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
9	.0	.0	15.0	2.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.5	17.0
10	.5	.0	.0	4.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.0	.0
11	.0	18.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.5	.5
12	.0	1.0	.0	.0	.0	5.5	.0	.0	.0	3.5	.1	.0
13	.0	10.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.5	.0	.0
14	.0	.0	.0	1.0	3.5	.0	.0	1.5	8.5	2.5	1.2	.0
15	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0	3.3	.0	.0	.0
16	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0	.0	.0
17	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
18	.0	.0	.0	1.5	.5	.0	.0	.0	.0	2.0	.0	.0
19	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.5	.0	27.0
20	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	58.0	.0	.0
21	.0	.0	.0	.0	.7	12.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0
22	.0	.0	.0	9.5	1.0	.0	.0	.0	.0	.2	1.0	.0
23	.0	.0	.0	5.0	10.0	.0	.0	.0	.0	20.0	.0	10.5
24	.5	.0	.0	.0	7.0	.0	.0	.0	.0	4.5	2.5	.0
25	.0	.0	.0	4.2	8.0	.0	4.0	1.7	.0	18.0	3.0	.0
26	.0	1.5	.0	1.3	.0	.0	.0	.0	34.0	.0	5.5	2.0
27	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	1.0	.0	4.5
28	3.5	.0	.0	.0	1.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
29	2.5	.0	.0	.0	.0	.0	21.0	.0	.0	8.0	.0	.0
30	4.5	.0	.0	.0	.0	.0	2.0	18.5	1.4	.0	.0	.0
31	.0	.0	.0	.0	14.0	.0	.0	12.0	.0	.0	.0	.5

TABLEAU D5 - TEMPERATURES MINIMALES OBSERVEES (°C) A CAMP REDON

ANNEE 1989

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-3.5	0.0	4.0	10.0	4.5	17.0	17.0	20.0	17.0	7.0	8.0	8.0
2	-4.5	0.5	2.5	6.0	9.5	12.0	22.0	11.5	17.0	6.0	10.5	2.0
3	-3.5	-1.0	4.5	8.0	7.5	13.5	17.0	13.5	10.5	7.0	15.0	-1.0
4	0.5	-1.0	7.0	9.5	8.5	10.5	14.5	14.5	12.5	11.0	9.0	0.0
5	0.0	0.0	4.0	5.5	9.5	13.5	17.0	19.5	12.5	11.0	8.5	3.5
6	5.0	-1.0	9.5	5.0	12.0	10.0	17.0	18.5	13.5	9.0	6.5	5.5
7	1.0	-1.5	6.0	5.0	11.5	9.5	18.0	19.0	14.0	11.0	3.0	5.5
8	0.5	-1.5	7.0	6.0	9.5	12.0	13.0	18.5	15.0	15.0	3.5	2.0
9	2.0	0.5	6.0	11.0	13.0	11.0	22.0	19.0	16.5	7.0	5.5	5.0
10	6.0	2.0	2.5	11.5	15.0	13.5	20.0	18.5	15.0	7.0	2.0	2.5
11	8.5	2.0	4.0	10.5	14.5	13.5	20.0	16.5	15.5	4.5	5.0	4.0
12	9.0	1.0	5.5	10.5	13.0	13.5	19.0	22.0	12.5	4.0	10.0	6.0
13	3.0	4.0	7.0	7.5	12.0	16.0	18.0	20.0	13.5	7.0	8.0	8.0
14	2.5	8.0	6.0	9.0	10.0	15.5	21.0	23.0	13.5	7.5	5.0	5.0
15	1.0	3.0	5.0	6.5	11.5	14.5	15.5	21.5	12.0	8.5	2.0	8.5
16	0.0	-1.0	6.5	7.0	8.5	16.5	15.0	20.0	13.5	8.0	3.0	10.0
17	0.5	0.0	10.0	8.0	12.5	17.5	16.5	19.5	14.5	9.5	10.0	9.0
18	0.0	0.0	3.0	5.0	12.5	15.0	17.0	19.0	19.0	10.5	6.5	7.0
19	1.0	4.5	0.0	5.0	10.5	15.0	17.5	16.0	19.0	9.5	9.5	12.0
20	4.0	5.5	6.0	8.5	13.0	16.5	17.0	19.5	15.5	8.0	13.0	5.0
21	5.0	7.5	7.0	9.5	12.0	16.0	19.0	20.0	15.0	10.0	14.5	5.0
22	4.0	10.0	9.0	1.0	15.0	17.5	21.0	18.5	16.0	12.0	12.0	13.0
23	-2.5	9.0	12.0	1.0	16.0	17.0	20.5	21.0	16.0	15.0	6.0	3.5
24	-3.0	6.0	4.0	4.0	15.0	14.0	20.0	17.0	10.0	14.0	6.5	1.0
25	-1.0	1.0	4.5	10.0	15.5	15.5	17.0	17.0	11.0	10.0	6.0	2.5
26	1.0	2.0	4.5	7.0	12.0	19.0	23.0	16.0	12.5	10.0	2.0	6.5
27	-1.5	4.0	6.0	4.5	12.0	17.0	23.5	23.0	10.0	10.0	0.0	6.5
28	0.0	2.0	7.5	6.0	11.0	17.5	18.0	17.0	14.0	10.5	-1.0	6.5
29	-2.0		7.0	8.5	10.5	12.0	16.5	14.0	9.5	10.0	-1.0	5.0
30	-2.5		7.0	5.5	11.5	14.0	19.0	11.0	7.0	9.5	0.0	4.0
31	-1.5		8.5		12.0		19.0	12.0		10.0		0.0

TABLEAU D6 - TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES (°C) A CAMP REDON

ANNEE 1989

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	13.0	14.5	13.0	19.0	18.5	25.0	29.5	31.0	25.0	23.0	27.0	10.0
2	10.5	14.5	12.0	17.0	21.0	22.5	30.0	28.5	27.5	24.0	19.5	10.0
3	8.5	13.0	15.0	20.0	23.0	23.5	29.0	30.5	27.5	25.0	18.5	13.0
4	11.5	11.0	16.0	13.5	22.5	21.0	28.5	31.5	24.5	27.0	19.5	12.0
5	12.5	11.5	18.5	14.0	22.5	20.5	26.5	29.0	25.5	22.0	14.0	12.0
6	13.0	15.5	16.5	15.0	24.5	21.0	26.0	24.0	25.0	21.0	12.0	7.0
7	7.0	15.0	14.5	14.0	29.0	22.0	27.5	27.0	27.5	25.0	12.0	9.0
8	15.5	14.0	15.5	15.5	26.0	21.5	28.0	28.5	26.0	19.5	15.5	10.5
9	14.5	14.0	15.5	17.5	21.5	21.0	31.5	32.5	24.0	19.0	15.5	9.5
10	10.0	12.0	17.0	18.0	17.0	22.0	32.0	31.0	28.5	18.5	16.5	11.0
11	13.0	14.0	17.0	15.0	19.5	23.0	31.0	31.0	24.5	19.0	15.0	10.0
12	12.0	15.0	17.0	22.5	17.5	28.0	30.0	31.5	25.0	19.0	16.0	11.5
13	14.0	18.0	14.0	14.0	20.5	31.5	32.0	34.0	25.0	22.0	16.0	11.0
14	18.0	17.0	18.0	15.0	22.5	26.5	34.0	29.0	24.5	18.5	17.0	13.0
15	13.5	17.0	18.5	17.0	22.5	29.5	33.0	26.5	27.0	19.0	16.0	14.0
16	13.5	15.0	18.5	19.5	24.5	28.5	32.0	28.0	27.5	20.5	15.0	15.0
17	11.0	18.0	16.0	15.0	25.0	34.0	34.0	28.0	28.5	20.5	11.5	17.0
18	12.5	18.0	7.0	14.0	26.5	27.0	34.5	31.0	23.0	19.0	15.0	18.0
19	11.0	17.0	13.0	18.5	23.5	27.5	34.0	31.0	24.0	19.0	13.5	17.0
20	15.5	22.5	16.0	17.5	24.0	27.0	34.0	31.0	21.5	13.5	14.5	15.0
21	7.0	14.0	18.0	17.0	21.0	28.5	29.5	29.5	25.5	18.0	16.0	17.0
22	11.5	14.0	17.0	17.0	24.0	31.5	29.0	31.0	25.5	18.0	17.0	17.0
23	13.0	15.5	19.0	17.0	26.0	33.5	27.5	33.5	25.5	18.0	13.5	18.0
24	13.0	13.0	18.0	17.0	25.0	29.0	28.0	35.0	25.0	18.0	12.5	18.0
25	11.0	12.0	18.0	14.0	23.0	30.5	28.0	33.0	23.5	21.0	8.0	14.5
26	12.0	10.5	23.0	14.0	23.5	30.0	32.0	35.0	24.5	18.0	14.5	14.0
27	12.5	10.5	20.5	13.5	25.0	28.0	36.0	33.0	25.0	19.0	8.0	13.0
28	13.5	11.0	15.0	15.0	25.5	30.5	35.0	30.0	25.0	17.0	10.5	10.5
29	14.0		20.0	15.0	25.0	27.0	34.0	25.0	24.0	17.5	13.5	10.5
30	15.0		20.5	15.0	24.0	29.5	32.0	28.0	21.0	19.0	10.0	7.5
31	14.0		20.0		24.0		31.5	29.0		24.5		9.5

TABLEAU D7 - TEMPERATURES MINIMALES OBSERVEES (°C) A CAMP REDON

ANNEE 1990

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.5	8.0	12.5	6.0	9.0	12.5	19.0	20.0	10.5	17.0	10.5	0.5
2	0.5	8.0	5.5	7.5	9.5	14.0	16.0	21.0	11.0	19.5	5.0	-4.0
3	2.0	3.0	3.5	9.0	9.0	10.5	18.0	21.0	13.0	11.0	3.5	-4.0
4	2.0	2.0	0.0	0.5	9.5	15.5	14.0	20.0	14.0	15.0	2.0	-2.5
5	-2.0	3.0	-2.5	4.0	14.5	18.0	19.0	20.5	15.5	5.0	2.0	-4.0
6	-1.5	9.5	0.0	5.5	11.0	14.5	17.5	20.5	11.5	8.0	0.5	-1.0
7	2.0	9.0	1.5	8.5	11.5	15.0	16.5	20.5	12.5	11.5	2.0	-5.0
8	4.0	8.5	3.5	8.5	13.0	18.0	18.0	16.0	11.5	10.0	8.5	-4.0
9	3.0	3.5	3.5	6.5	12.5	13.5	20.5	17.0	13.0	6.5	9.5	1.0
10	6.0	3.0	5.5	6.0	10.5	12.5	19.5	14.5	14.0	9.0	10.0	-1.0
11	1.0	5.0	3.5	5.5	9.5	10.0	15.5	17.0	13.0	12.5	10.5	-2.0
12	1.0	6.0	7.0	7.5	13.0	12.0	14.0	17.5	14.5	16.0	5.5	1.5
13	-0.5	2.0	6.0	6.0	13.0	11.0	14.5	21.5	16.0	18.0	8.0	3.5
14	-1.0	8.0	3.5	9.5	10.0	13.5	15.0	19.5	16.5	17.5	10.0	-6.0
15	-1.0	12.0	4.5	6.0	12.0	12.0	16.5	17.0	17.5	18.0	4.0	-3.5
16	1.0	7.0	7.0	8.0	14.5	13.5	20.5	16.5	15.0	18.0	6.5	-3.0
17	0.5	10.0	5.5	7.0	13.5	12.0	20.5	18.0	16.5	13.5	13.0	1.5
18	-2.0	5.5	6.5	6.5	13.5	16.5	21.5	12.0	12.5	13.0	11.0	2.0
19	-3.0	10.5	6.0	6.0	14.5	15.0	18.5	14.5	11.5	13.5	10.5	-3.0
20	-3.0	10.0	4.0	6.5	16.5	18.5	17.0	16.5	13.5	11.0	8.0	-5.5
21	-4.0	11.0	5.5	0.5	13.5	11.5	18.0	16.5	15.5	9.0	5.5	-1.0
22	-4.0	5.5	10.5	6.0	15.0	15.0	20.5	15.0	15.5	13.5	1.5	1.0
23	-3.0	5.0	10.0	2.5	15.5	15.0	21.0	17.5	20.0	14.0	3.0	-1.0
24	-1.0	2.0	3.5	5.0	15.0	17.0	22.5	16.5	15.5	12.5	2.5	-1.0
25	5.0	3.0	9.0	5.0	14.5	20.0	18.5	18.0	9.0	10.0	2.5	5.0
26	7.0	3.5	5.5	7.5	12.0	17.5	19.0	20.0	9.0	9.0	2.5	7.0
27	1.0	8.5	5.5	10.5	12.5	19.0	20.5	20.5	12.5	6.5	2.5	2.0
28	1.5	12.0	6.0	7.0	13.0	20.0	21.0	17.5	9.5	8.0	3.0	4.0
29	0.0		4.5	7.5	10.5	18.5	17.0	17.5	10.5	12.0	-0.5	10.5
30	0.0		0.5	11.0	12.0	19.0	17.0	19.0	14.5	15.0	-1.5	10.0
31	4.0		3.0		11.0		19.0	14.0		12.0		9.0

TABLEAU D8 - TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES (°C) A CAMP REDON

ANNEE 1990

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	10.5	13.5	17.5	18.0	20.5	21.0	28.0	34.0	24.5	26.0	16.0	7.5
2	10.5	9.5	16.0	17.5	22.5	21.5	26.5	34.5	24.0	26.5	16.0	9.0
3	15.0	15.5	12.5	16.5	23.0	22.5	26.5	33.0	27.0	23.0	13.5	9.0
4	9.0	12.5	11.5	17.0	24.5	28.5	27.0	34.5	29.0	22.0	13.5	9.5
5	13.0	15.0	13.0	14.5	24.0	28.5	29.0	35.5	29.5	23.5	13.0	12.5
6	10.5	13.5	15.5	18.5	23.5	20.0	30.5	33.0	27.5	23.0	13.0	8.0
7	10.0	12.5	15.0	12.5	21.5	24.5	28.0	32.0	29.5	20.5	12.0	8.0
8	10.0	13.0	19.5	17.5	20.0	24.5	31.0	30.0	25.0	21.0	11.0	10.0
9	12.5	17.0	14.5	17.0	20.5	24.5	32.5	30.0	26.5	23.0	11.0	8.0
10	12.5	17.0	19.5	14.5	21.5	21.5	32.5	30.5	25.5	25.0	11.0	7.0
11	12.0	10.0	21.0	16.5	21.5	24.0	31.0	28.5	28.5	25.5	17.0	6.5
12	12.5	12.0	20.0	18.0	24.5	23.5	30.5	27.5	29.5	20.0	18.0	10.0
13	13.5	11.0	17.5	20.0	21.5	25.0	29.0	28.0	25.0	21.0	15.5	12.0
14	13.0	16.0	18.5	17.5	19.0	24.5	28.5	25.5	20.5	23.5	18.0	7.0
15	15.0	15.0	21.5	15.0	23.0	23.0	27.5	27.5	21.0	21.0	17.0	5.0
16	14.0	17.0	20.5	16.5	24.5	28.0	32.5	30.5	25.0	21.5	19.5	5.5
17	14.5	18.5	20.0	16.5	27.5	25.5	35.5	31.5	26.5	20.5	20.0	5.5
18	11.5	19.5	17.0	15.5	25.0	23.0	36.5	28.5	22.0	19.0	19.0	3.5
19	14.5	13.5	15.0	13.5	26.0	26.5	35.0	30.5	27.0	16.5	16.5	7.0
20	15.0	14.0	16.5	16.5	25.5	22.5	30.0	31.0	25.0	21.5	17.5	6.5
21	14.5	14.0	20.5	14.5	24.5	22.0	31.0	29.5	23.0	19.5	12.0	10.5
22	15.0	17.5	26.5	14.5	25.0	24.0	29.5	34.5	23.5	20.0	10.5	10.0
23	16.5	19.5	16.5	12.0	21.0	25.0	30.0	33.0	28.5	16.0	9.0	11.0
24	14.0	21.0	21.0	16.5	20.0	25.5	32.5	27.5	27.0	16.5	12.0	6.5
25	15.0	15.5	20.5	16.5	21.0	31.0	32.0	28.0	23.0	18.5	13.5	10.5
26	16.5	10.5	17.0	19.5	27.0	32.0	32.0	31.0	20.0	18.0	11.5	11.5
27	13.5	16.0	12.5	21.0	24.5	30.5	29.5	30.0	22.0	15.0	11.0	12.0
28	13.5	19.5	13.0	23.5	24.5	28.5	30.0	30.0	24.5	15.5	7.0	10.5
29	13.5		12.5	24.5	27.0	30.5	28.0	28.0	23.0	21.0	9.0	11.0
30	13.5.		15.5	21.0	26.0	25.5	27.0	28.0	20.5	19.0	10.5	12.0
31	13.5		18.0		22.5		31.5	22.0		19.0		10.5

ANNEXE E

Tableau E1 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins
premier découpage: **bassin-1**

N° B. V.	Rive	Surface (m»)	Pente (degrés)	Exposition (degrés)	Indice foliaire
1	gauche	1203750.0	12.65	108.28	2.92
1	droite	1749375.0	11.99	244.64	2.63
2	gauche	337500.0	12.94	75.27	3.56
2	droite	236250.0	15.54	217.90	2.83
3	gauche	1321875.0	13.93	104.00	3.47
3	droite	1940625.0	13.72	192.75	3.43
4	gauche	1181250.0	16.63	86.92	3.60
4	droite	1164375.0	14.68	208.61	3.41
5	gauche	2649375.0	11.64	169.25	3.69
5	droite	1563750.0	12.44	154.99	3.42
6	gauche	146250.0	13.98	136.50	3.46
6	droite	180000.0	14.13	295.34	3.05
7	gauche	2379375.0	12.22	137.44	3.27
7	droite	2311875.0	19.58	202.09	2.98
8	gauche	1417500.0	9.56	100.81	3.28
8	droite	3150000.0	9.47	209.41	2.91
9	gauche	500625.0	15.43	118.29	3.96
9	droite	905625.0	15.62	253.55	3.60
10	gauche	1186875.0	8.05	111.48	2.64
10	droite	1091250.0	8.07	223.43	2.89
11	gauche	613125.0	11.16	203.15	3.39
11	droite	652500.0	11.11	168.04	3.80
12	gauche	849375.0	16.96	166.62	3.85
12	droite	770625.0	15.47	258.51	3.84
13	gauche	922500.0	13.57	184.49	3.83
13	droite	736875.0	15.59	247.69	3.65

Tableau E2 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins
seconde découpage: **bassin-2**

N° B. V.	Rive	Surface (m»)	Pente (degrès)	Exposition (degrès)	Indice foliaire
1	gauche	1203750.0	12.65	108.28	2.92
1	droite	1749375.0	12.00	244.64	2.63
2	gauche	337500.0	12.93	75.27	3.56
2	droite	236250.0	15.54	217.90	2.83
3	gauche	427500.0	13.39	92.88	3.47
3	droite	635625.0	13.30	194.06	3.42
4	gauche	894375.0	14.18	109.48	3.47
4	droite	410625.0	17.77	203.37	3.68
5	gauche	1181250.0	16.63	86.92	3.60
5	droite	1164375.0	14.68	208.61	3.41
6	gauche	2649375.0	11.64	169.25	3.69
6	droite	1530000.0	12.58	155.85	3.41
7	gauche	149250.0	13.98	136.50	3.46
7	droite	180000.0	14.13	295.34	3.05
8	gauche	900000.0	17.17	112.96	3.18
8	droite	1800000.0	11.76	190.01	2.98
9	gauche	360000.0	12.29	98.69	3.20
9	droite	337500.0	9.22	163.43	3.16
10	gauche	776250.0	7.81	159.54	3.48
10	droite	461250.0	6.39	251.95	2.97
11	gauche	56250.0	14.19	154.30	3.51
11	droite	168750.0	11.53	294.26	3.10
12	gauche	1389375.0	9.40	100.50	3.27
12	droite	1749375.0	8.76	205.65	2.78
13	gauche	213750.0	11.49	136.32	3.04
13	droite	916875.0	10.25	224.00	3.07
14	gauche	500625.0	15.43	118.29	3.96
14	droite	905625.0	15.62	253.55	3.60
15	gauche	1186875.0	8.05	111.48	2.64
15	droite	1046250.0	7.98	226.93	2.84

Tableau E2 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins
seconde découpage: **bassin-2**

N° B. V.	Rive	Surface (m»)	Pente (degrès)	Exposition (degrès)	Indice foliaire
16	**gauche**	613125.0	11.16	203.15	3.39
16	**droite**	601875.0	11.62	164.21	3.80
17	**gauche**	506250.0	10.91	161.67	3.35
17	**droite**	354375.0	14.40	228.10	3.26
18	**gauche**	849375.0	16.96	166.62	3.85
18	**droite**	753750.0	15.67	259.24	3.84
19	**gauche**	922500.0	13.57	184.49	3.83
19	**droite**	686250.0	16.06	248.83	3.69

Tableau E3 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins
troisième découpage: **bassin-3**

N° B. V.	Rive	Surface (m»)	Pente (degrès)	Exposition (degrès)	Indice foliaire
1	gauche	1203750.0	12.65	108.28	2.92
1	droite	1749375.0	12.00	244.64	2.63
2	gauche	337500.0	12.94	75.27	3.56
2	droite	236250.0	15.54	217.90	2.83
3	gauche	427500.0	13.39	92.88	3.47
3	droite	635625.0	13.30	194.06	3.42
4	gauche	894375.0	14.18	109.48	3.47
4	droite	410625.0	17.77	203.37	3.68
5	gauche	1181250.0	16.63	86.92	3.60
5	droite	1164375.0	14.68	208.61	3.41
6	gauche	2649375.0	11.64	169.25	3.69
6	droite	1513125.0	12.67	155.85	3.41
7	gauche	146250.0	13.98	136.50	3.46
7	droite	180000.0	14.13	295.34	3.05
8	gauche	450000.0	21.04	162.00	3.51
8	droite	911250.0	13.08	184.01	3.16
9	gauche	450000.0	13.30	63.93	2.85
9	droite	213750.0	11.87	242.66	2.23
10	gauche	360000.0	12.29	98.69	3.20
10	droite	315000.0	9.39	195.73	3.26
11	gauche	776250.0	7.81	159.54	3.48
11	droite	455625.0	6.38	292.72	2.98
12	gauche	292500.0	8.76	95.31	2.87
12	droite	444375.0	10.31	226.11	2.98
13	gauche	56350.0	14.19	154.30	3.51
13	droite	168750.0	11.53	294.26	3.10
14	gauche	1389375.0	9.40	100.50	3.27
14	droite	1749375.0	8.76	205.65	2.78
15	gauche	213750.0	11.49	136.32	3.04
15	droite	900000.0	10.27	225.17	3.06

Tableau E3 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins troisième découpage: **bassin-3**

N° B. V.	Rive	Surface (m»)	Pente (degrès)	Exposition (degrès)	Indice foliaire
16	**gauche**	500625.0	15.43	118.29	3.96
16	**droite**	905625.0	15.62	253.55	3.60
17	**gauche**	1186875.0	8.04	111.48	2.64
17	**droite**	1035000.0	7.94	228.31	2.83
18	**gauche**	613125.0	11.16	203.15	3.39
18	**droite**	585000.0	11.77	163.33	3.80
19	**gauche**	506250.0	10.91	161.67	3.35
19	**droite**	354375.0	14.40	228.10	3.26
20	**gauche**	849375.0	16.96	166.62	3.85
20	**droite**	753750.0	15.67	259.24	3.84
21	**gauche**	0.0	-----	------	----
21	**droite**	16875.0	17.63	279.00	1.81
22	**gauche**	298125.0	15.14	160.51	3.96
22	**droite**	275625.0	12.31	239.16	3.65
23	**gauche**	343125.0	13.28	161.34	3.89
23	**droite**	658125.0	16.24	248.89	3.74

Tableau E 4 - Simulation sous bassin Rive 1 droite

Rive 1 droite:

Pente = 11.99°
Orientation = 244.64°
Indice foliaire = 2.63

ANNEE 1985

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	9.5	16.3	347.4	11.1	1.7	.0
F	64.8	25.7	370.5	16.4	2.7	.0
M	22.5	50.0	391.6	30.1	5.3	.0
A	71.3	94.1	408.1	49.6	10.0	.0
M	61.0	111.0	401.6	57.7	11.8	.0
J	30.5	137.5	363.9	67.5	14.6	.0
J	7.5	159.8	290.7	65.2	14.3	.0
A	28.2	138.5	248.9	35.2	13.7	.0
S	.3	102.9	224.4	13.9	10.9	.0
O	109.8	45.3	237.9	8.3	4.8	.0
N	15.3	19.9	313.7	12.8	2.1	.0
D	25.5	12.4	321.6	8.2	1.3	.0
TOTAL	446.2	913.2	326.3	376.1	93.1	.1

ANNEE 1986

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	120.0	17.6	333.8	11.6	1.9	.0
F	247.0	20.3	538.0	13.3	2.2	70.2
M	34.5	56.5	590.7	33.4	6.0	10.0
A	59.5	56.1	586.5	33.2	5.9	20.8
M	17.5	120.2	555.1	61.9	12.7	1.9
J	5.5	143.0	482.2	71.4	11.5	.3
J	.0	159.7	399.1	76.7	6.4	.0
A	27.5	130.3	336.0	63.3	9.8	.0
S	43.0	92.7	301.1	45.1	9.8	.0
O	322.0	41.7	479.1	24.6	4.4	13.8
N	37.0	23.0	587.4	15.1	2.4	9.6
D	22.5	15.5	591.0	10.7	1.6	15.7
TOTAL	936.0	876.6	481.1	460.2	74.7	142.4

PLUIE - precipitation
ETP - évapotranspiration potentielle
STOCK - stock d'eau du sol
TRANS - transpiration
EVA - evaporation du sol
PERCO - percolation

Tableau E 5 - Simulation sous bassin Rive 2 gauche

Rive 2 gauche:

Pente = 12.94°
Orientation = 75.27°
Indice foliaire = 3.56

ANNEE 1985

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	9.5	26.3	343.6	18.5	1.6	.0
F	64.8	36.5	359.6	23.7	2.2	.0
M	22.5	62.2	374.1	38.4	3.8	.0
A	71.3	108.8	384.2	58.6	6.7	.0
M	61.0	123.7	372.7	66.3	7.6	.0
J	30.5	150.8	331.6	74.9	9.2	.0
J	7.5	176.1	262.8	56.8	10.8	.0
A	28.2	157.1	235.1	26.8	9.6	.0
S	.3	123.7	218.6	12.6	7.6	.0
O	109.8	60.7	234.2	10.1	3.7	.0
N	15.3	31.1	305.5	20.2	1.9	.0
D	25.5	22.0	306.7	14.5	1.3	.0
TOTAL	446.2	1079.2	310.3	421.3	66.1	.0

ANNEE 1986

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	120.0	28.7	311.6	18.9	1.8	.0
F	247.0	28.5	512.9	19.2	1.7	35.2
M	34.5	70.6	588.1	42.6	4.3	9.8
A	59.5	65.3	585.4	40.2	4.0	15.1
M	17.5	133.9	550.4	71.3	8.2	1.7
J	5.5	157.0	471.9	81.0	9.6	.2
J	.0	176.1	378.0	86.7	8.4	.0
A	27.5	147.9	306.1	70.0	7.5	.0
S	43.0	111.4	272.1	45.2	6.8	.0
O	322.0	55.8	455.4	31.6	3.4	1.5
N	37.0	35.5	563.9	23.7	2.2	2.1
D	22.5	27.0	573.1	19.2	1.7	2.7
TOTAL	936.0	1037.7	463.6	549.5	59.5	68.3

PLUIE - precipitation
ETP - évapotranspiration potentielle
STOCK - stock d'eau du sol
TRANS - transpiration
EVA - evaporation du sol
PERCO - percolation

Tableau E 6 - Simulation sous bassin Rive 9 gauche

Rive 9 gauche:

Pente = 15.43°
Orientation = 118.29°
Indice foliaire = 3.96

ANNEE 1985

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	23.2	14.4	352.4	11.2	.7	.0
F	69.1	23.8	391.0	17.1	1.1	.0
M	29.1	47.4	415.0	31.9	2.3	.0
A	66.9	90.6	425.3	52.9	4.4	.0
M	85.1	107.7	445.4	61.9	5.2	.1
J	38.6	133.6	422.9	73.0	6.5	.0
J	24.3	154.9	361.9	80.4	7.5	.0
A	22.6	133.6	304.2	65.7	6.5	.0
S	.0	98.1	257.2	34.9	4.7	.0
O	110.8	42.2	267.0	16.8	2.0	.0
N	18.5	17.8	338.7	13.3	.9	.0
D	53.0	10.8	367.3	8.3	.5	.0
TOTAL	541.2	874.9	362.1	467.4	42.3	.2

ANNEE 1986

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	101.8	15.3	397.4	11.8	.7	.0
F	241.0	18.7	562.0	13.8	.9	99.5
M	37.1	53.8	586.5	35.3	2.6	26.7
A	66.4	53.8	590.0	35.3	2.6	9.8
M	33.0	116.6	570.5	66.1	5.6	2.7
J	3.9	139.1	508.6	76.3	6.7	.6
J	.5	154.9	420.8	81.8	7.5	.0
A	45.1	125.6	361.4	68.1	6.1	.0
S	83.8	88.3	359.0	50.9	4.3	.0
O	252.4	38.6	507.0	26.1	1.9	19.6
N	45.9	20.6	587.6	15.3	1.0	21.0
D	27.4	13.4	593.6	10.5	.6	16.0
TOTAL	938.3	838.6	503.1	491.3	40.5	195.9

PLUIE - precipitation
ETP - évapotranspiration potentielle
STOCK - stock d'eau du sol
TRANS - transpiration
EVA - evaporation du sol
PERCO - percolation

Tableau E7 - Simulation sous bassin Rive 13 gauche

Rive 13 gauche:

Pente = 13.56°
Orientation = 184.49°
Indice foliaire = 3.83

ANNEE 1985

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	9.5	6.9	351.0	5.4	.4	.0
F	64.8	15.6	381.2	11.7	.8	.0
M	22.5	38.2	408.6	26.6	2.0	.0
A	71.3	79.6	432.3	48.0	4.2	.0
M	61.0	98.2	432.6	57.7	5.1	.0
J	30.5	123.8	401.8	69.0	6.5	.0
J	7.5	142.8	332.7	74.4	7.5	.0
A	28.2	119.7	281.1	54.5	6.2	.0
S	.3	82.4	247.6	26.0	4.3	.0
O	109.8	30.5	258.8	10.9	1.6	.0
N	15.3	9.3	339.2	7.1	.5	.0
D	25.5	3.9	353.9	3.0	.2	.0
TOTAL	446.2	750.9	351.5	394.4	39.2	.1

ANNEE 1986

	PLUIE (mm)	ETP (mm)	STOCK (mm)	TRANS (mm)	EVA (mm)	PERCO (mm)
J	120.0	7.0	373.5	5.4	.4	.0
F	247.0	12.5	565.1	9.6	.7	116.7
M	34.5	43.2	591.0	29.5	2.3	15.7
A	59.5	46.9	588.1	31.5	2.4	26.7
M	17.5	106.4	561.6	61.8	5.6	2.2
J	5.5	128.7	494.7	72.2	6.7	.4
J	.0	142.7	412.3	77.3	7.4	.0
A	27.5	112.5	349.4	62.6	5.9	.0
S	43.0	74.2	321.6	43.5	3.9	.0
O	322.0	27.8	490.7	19.5	1.5	42.4
N	37.0	11.2	591.3	8.6	.6	15.6
D	22.5	5.0	596.1	3.8	.3	22.0
TOTAL	936.0	718.0	494.0	425.6	37.5	241.7

PLUIE - precipitation
ETP - évapotranspiration potentielle
STOCK - stock d'eau du sol
TRANS - transpiration
EVA - evaporation du sol
PERCO - percolation

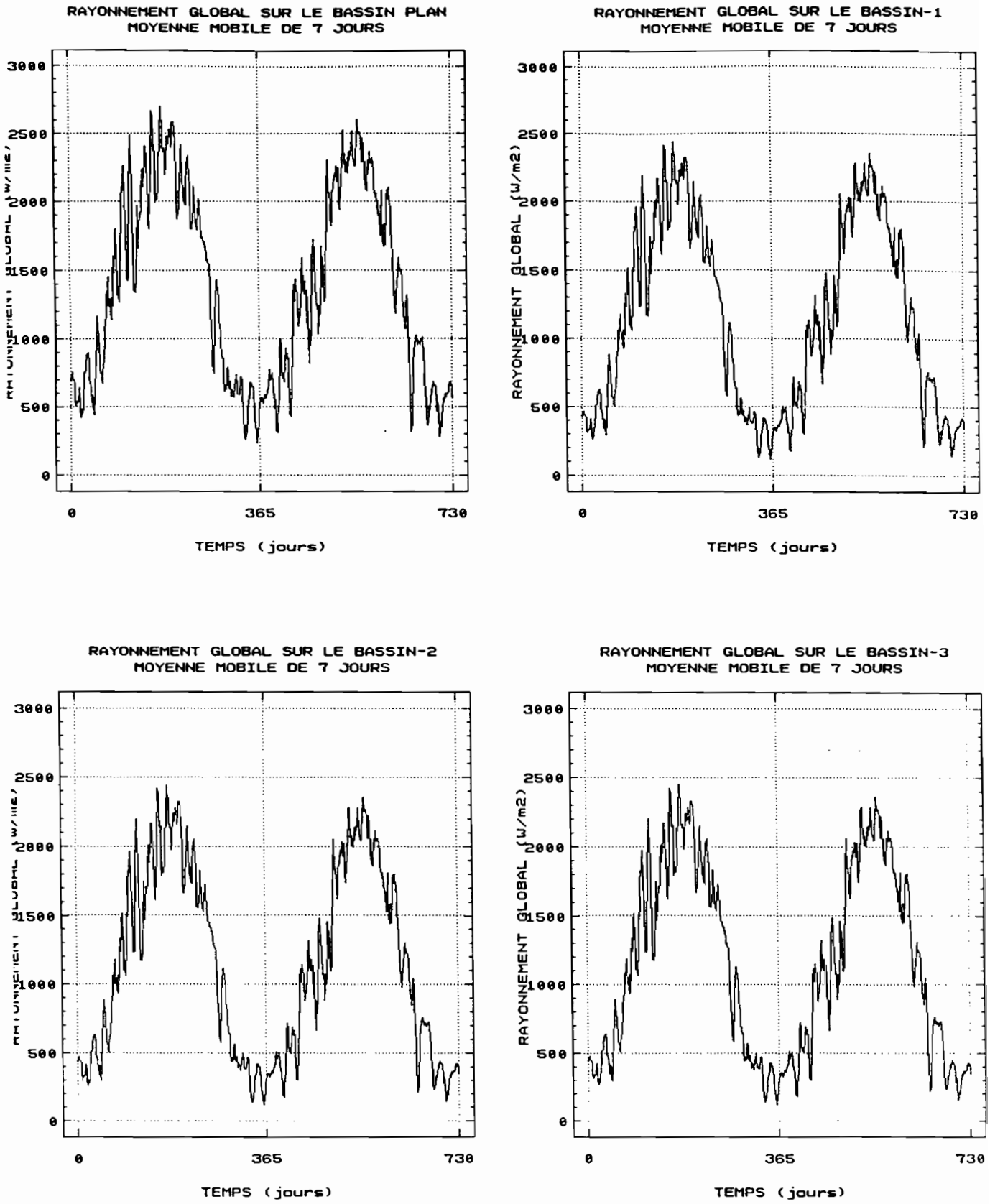


figure E1 - Moyenne mobile de 7 jours du Rayonnement global pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3)

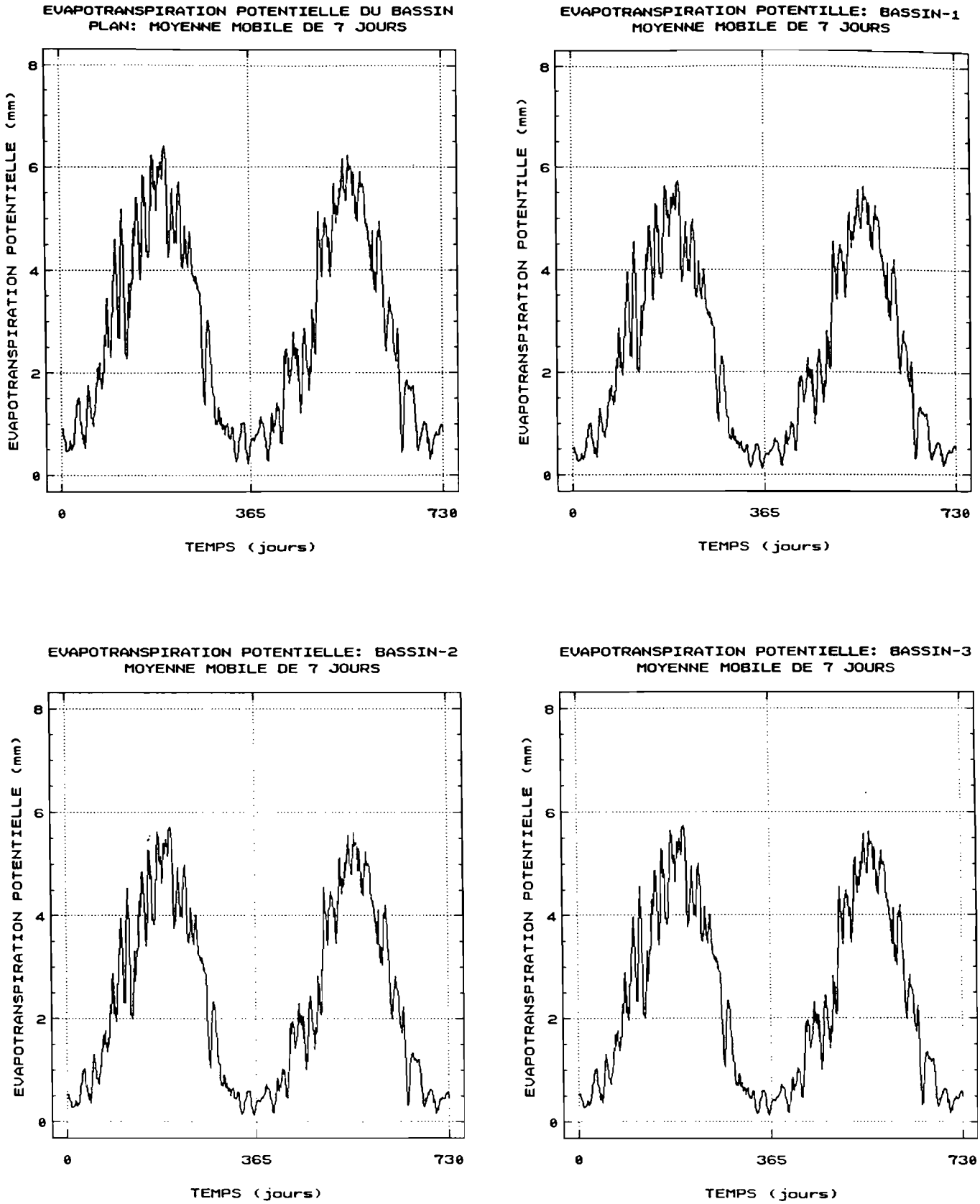


figure E2 - Moyenne mobile de 7 jours de l'ETP pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3)

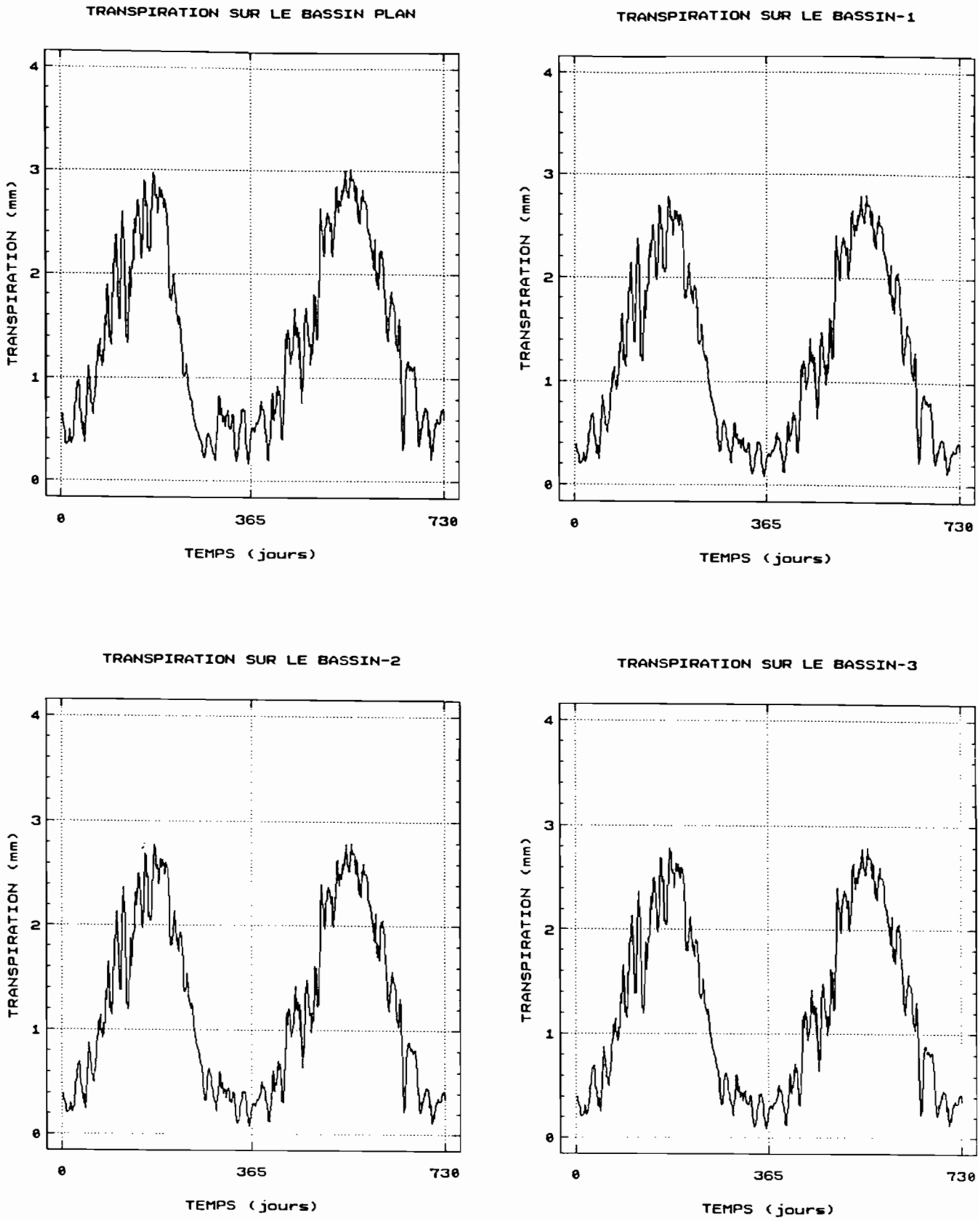


figure E3 - Moyenne mobile de 7 jours de la Transpiration pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3)

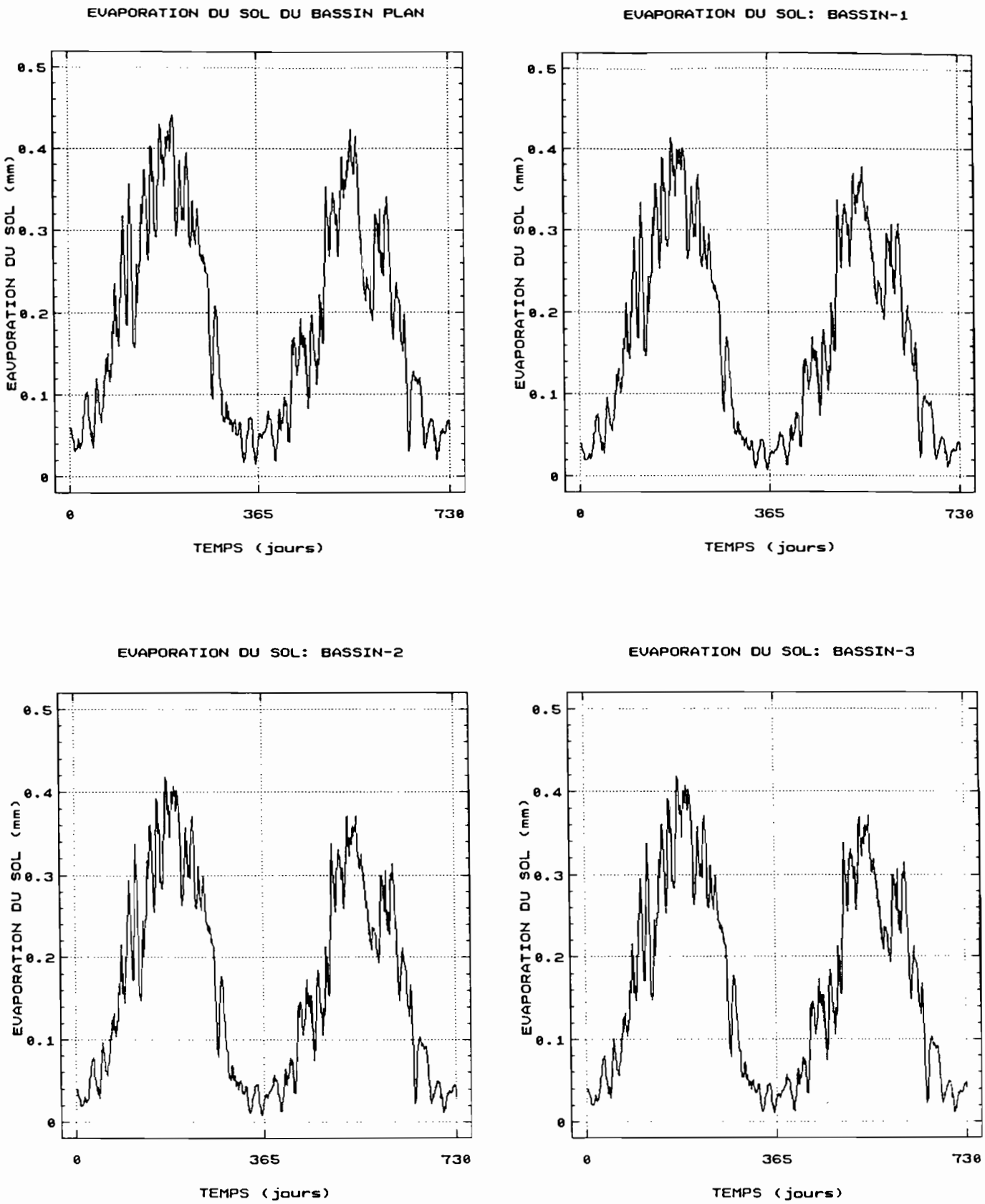


figure E4 - Moyenne mobile de 7 jours de l'Evaporation du sol pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3)

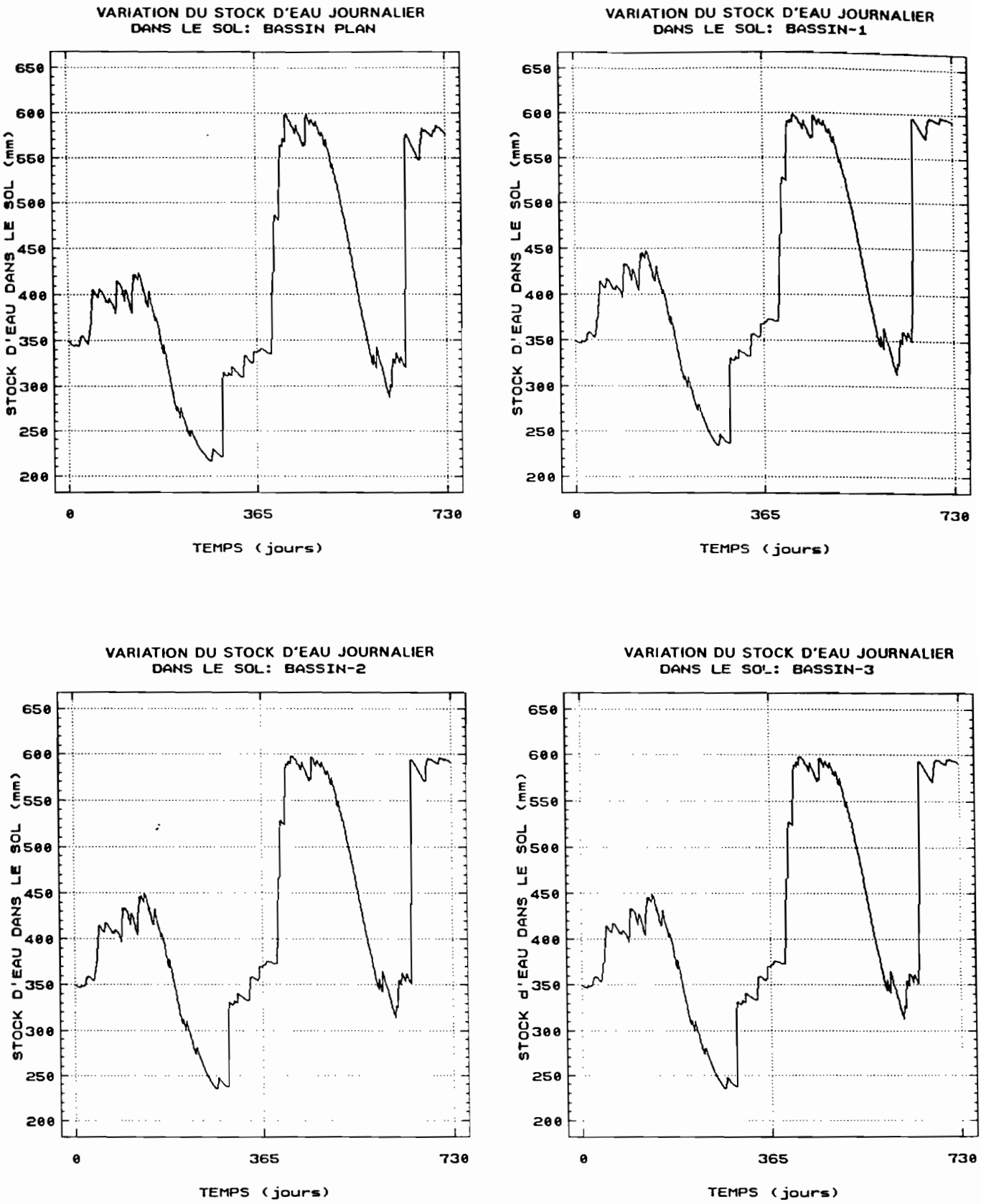
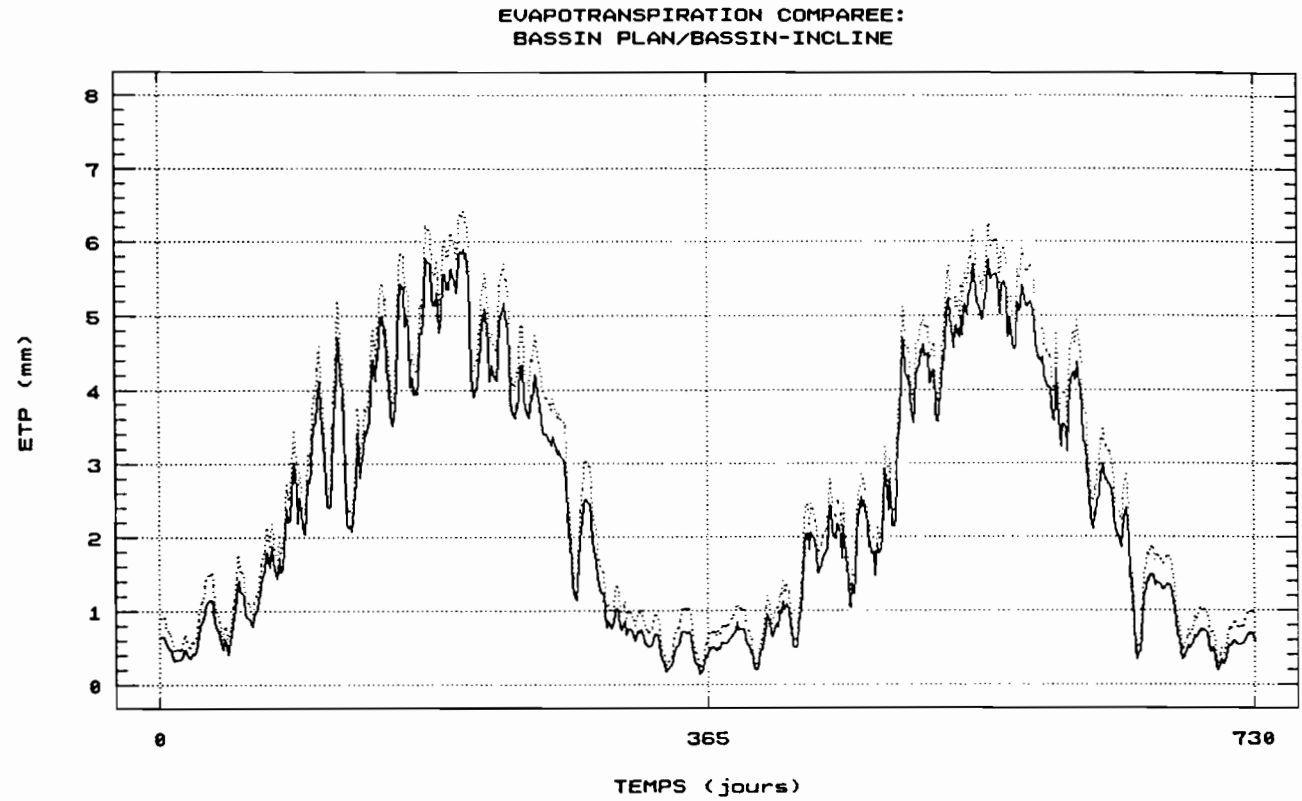
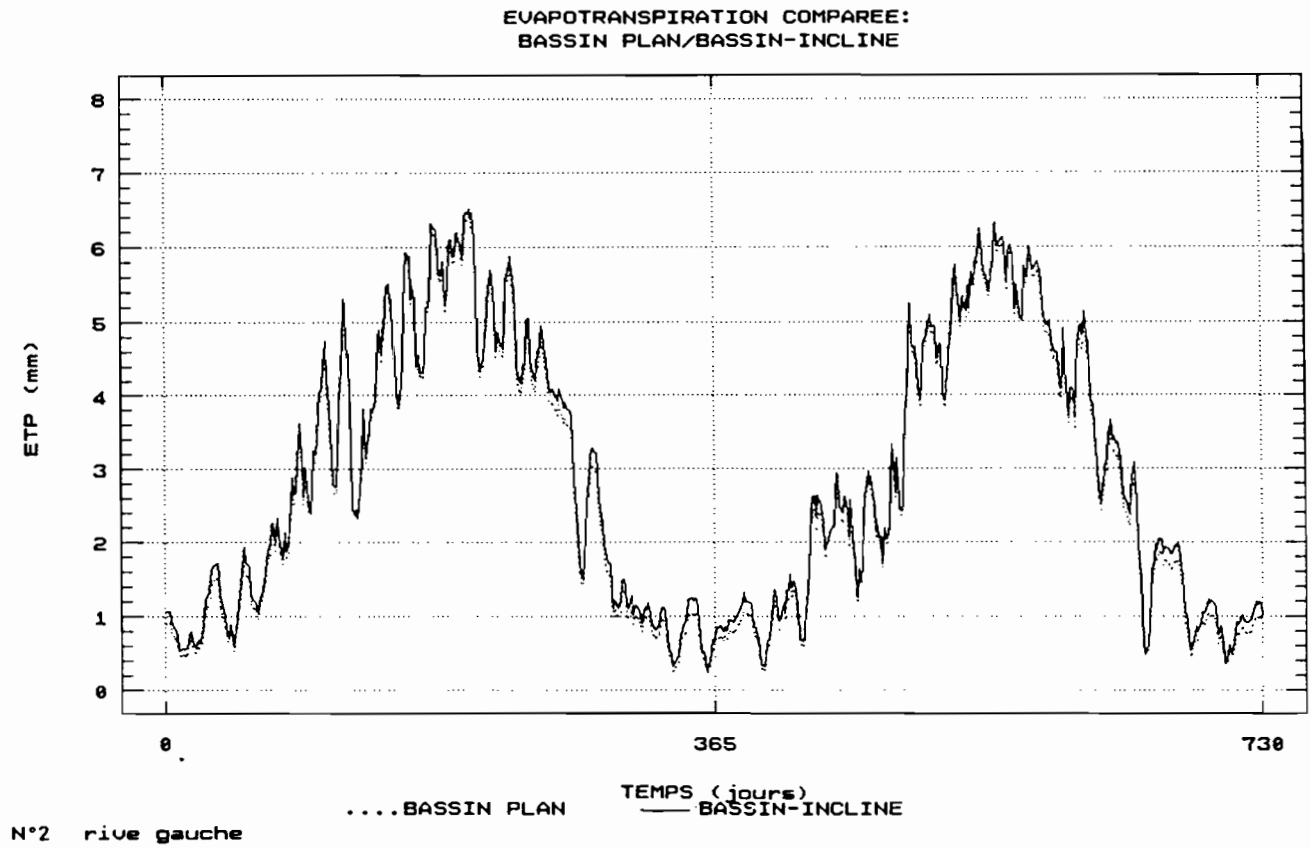


figure E5 - Moyenne mobile de 7 jours du Stock d'eau pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3)

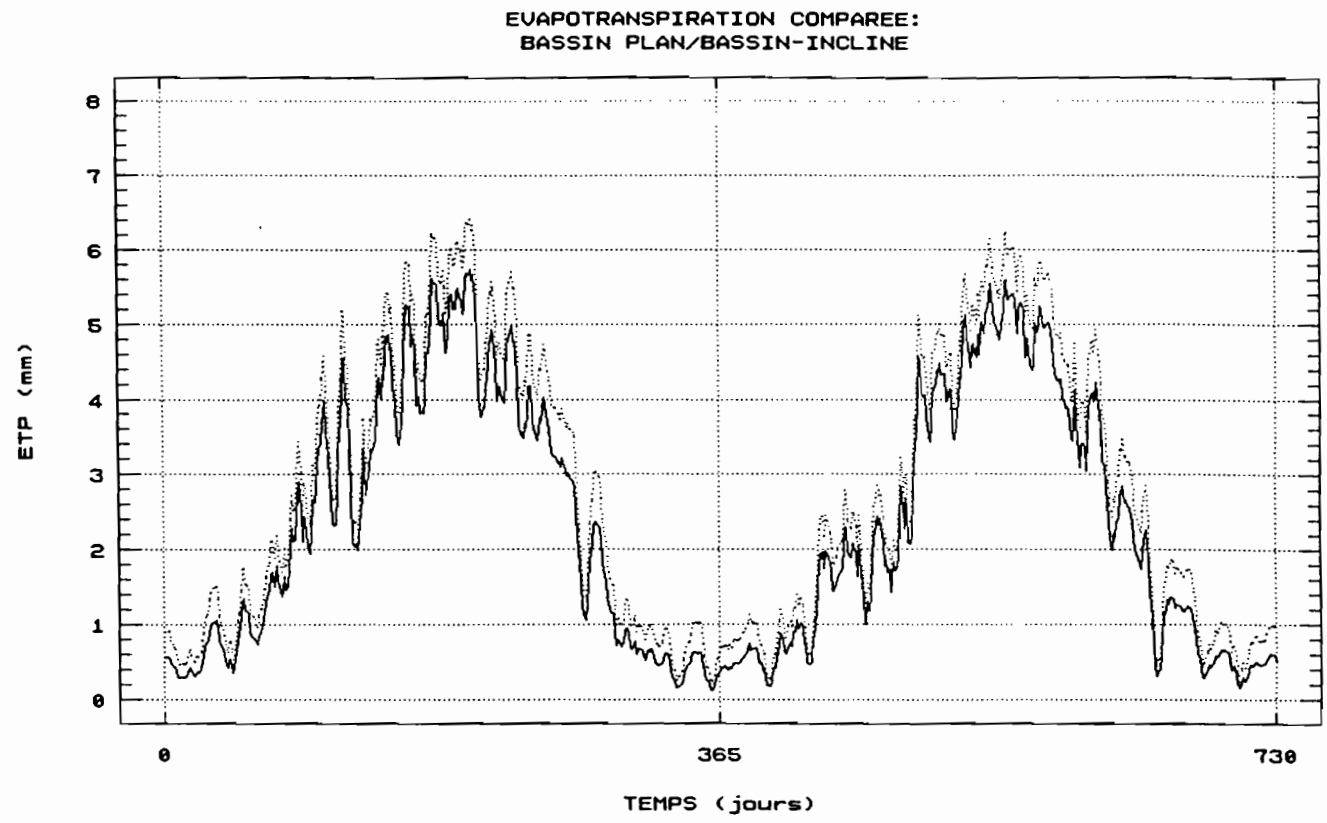


N°1 rive gauche



N°2 rive gauche

figure E6 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'ETP pour les sous-bassin N° 1 rive droite et N° 2 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986).



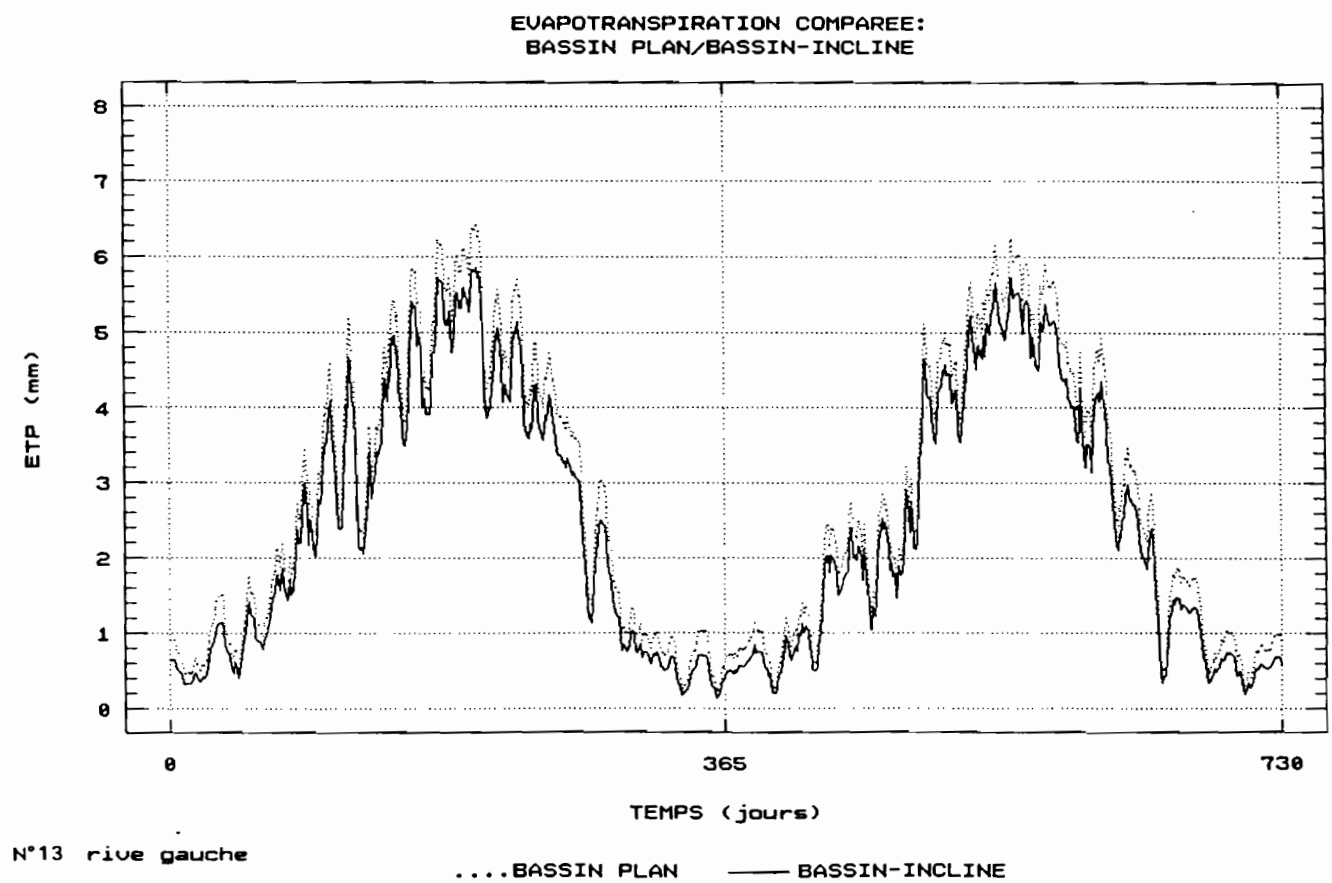
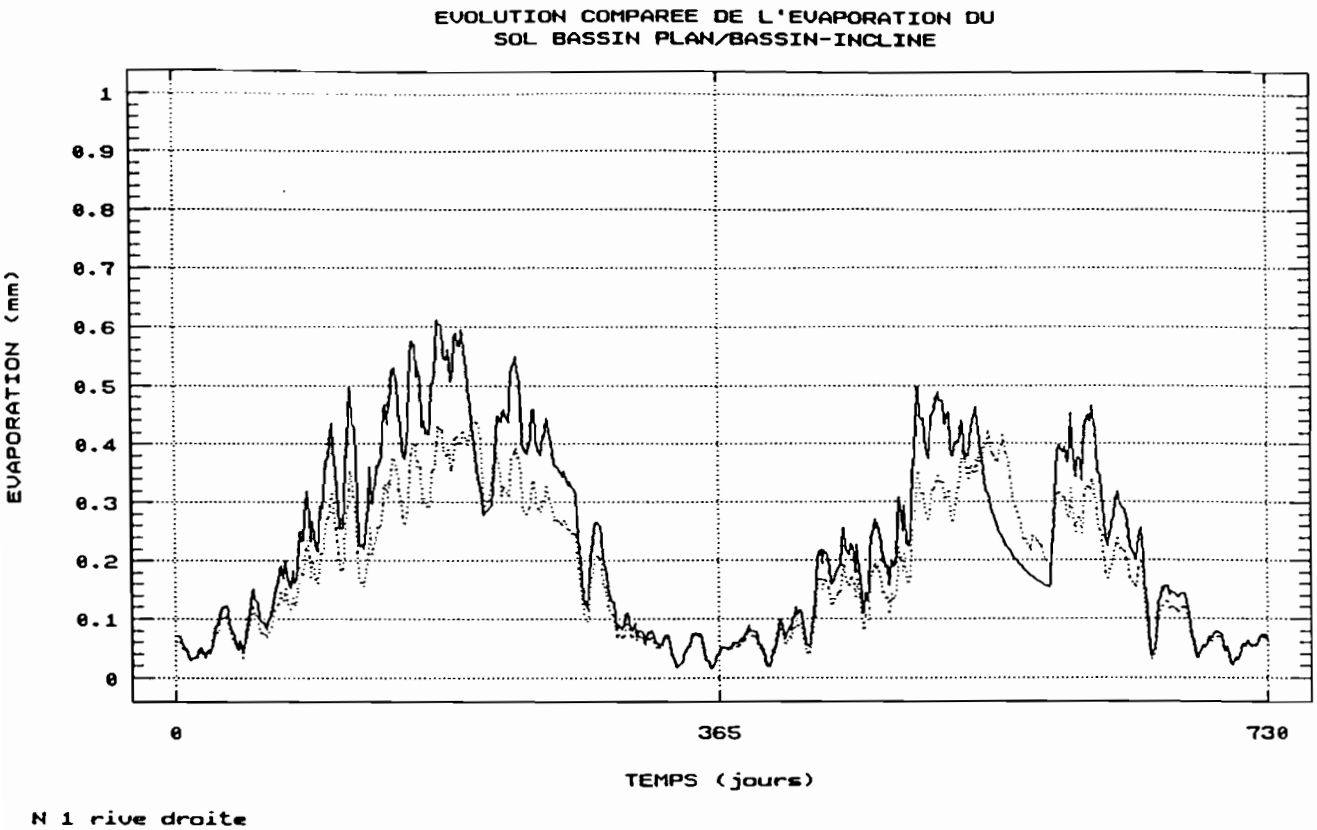
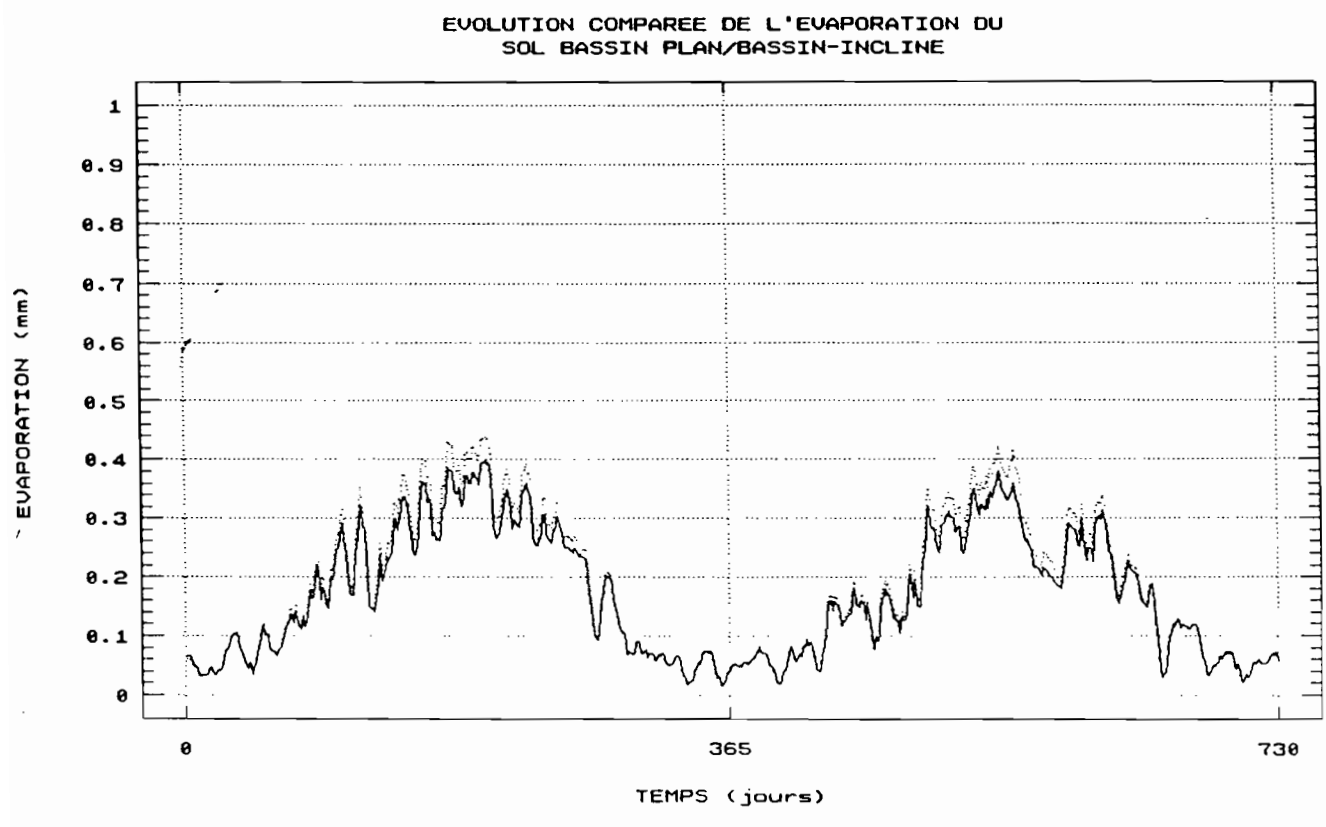


figure E7 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'ETP pour les sous-bassin N° 9 rive gauche et N° 13 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986).



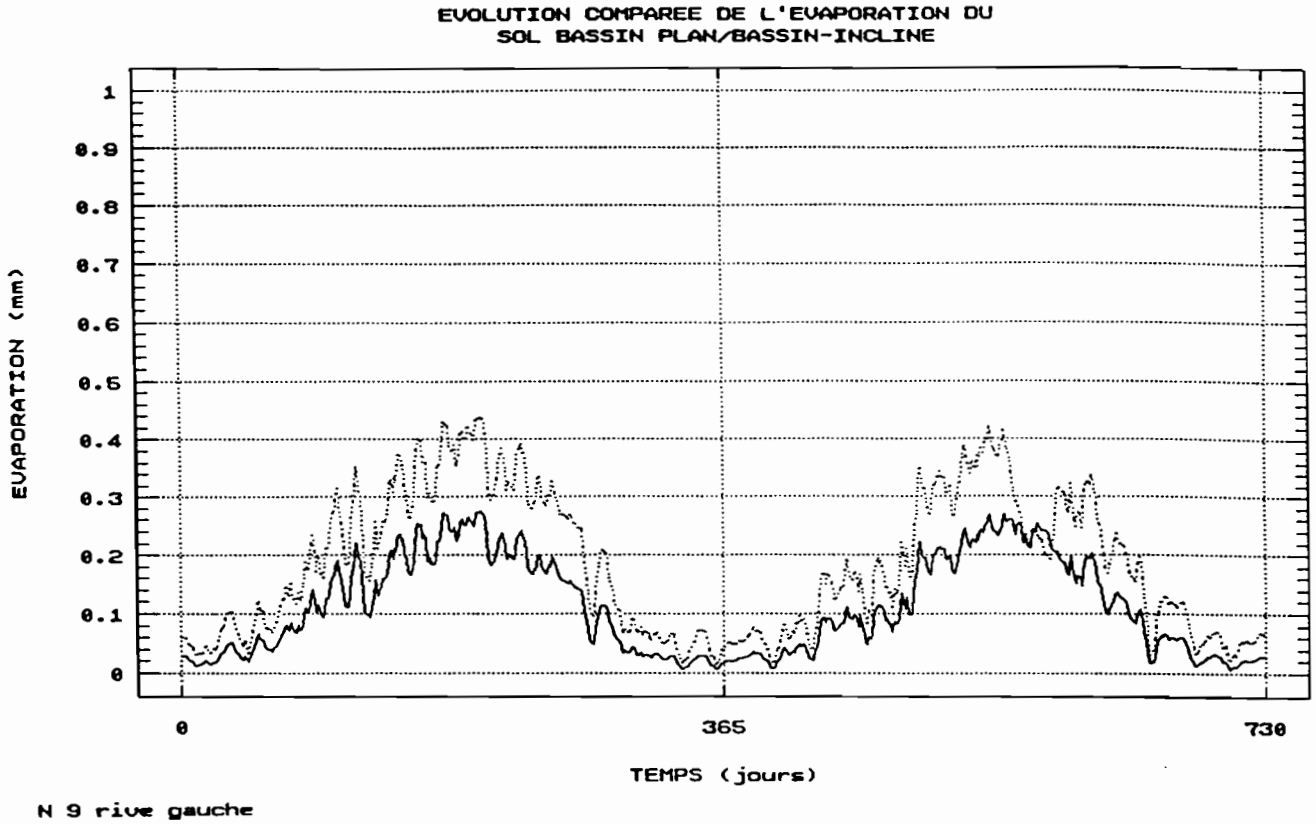
N 1 rive droite



N 2 rive gauche

••••••• BASSIN PLAN ———— BASSIN-INCLINE

figure E8 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'évaporation du sol pour les sous-bassin N° 1 rive droite et N° 2 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986).



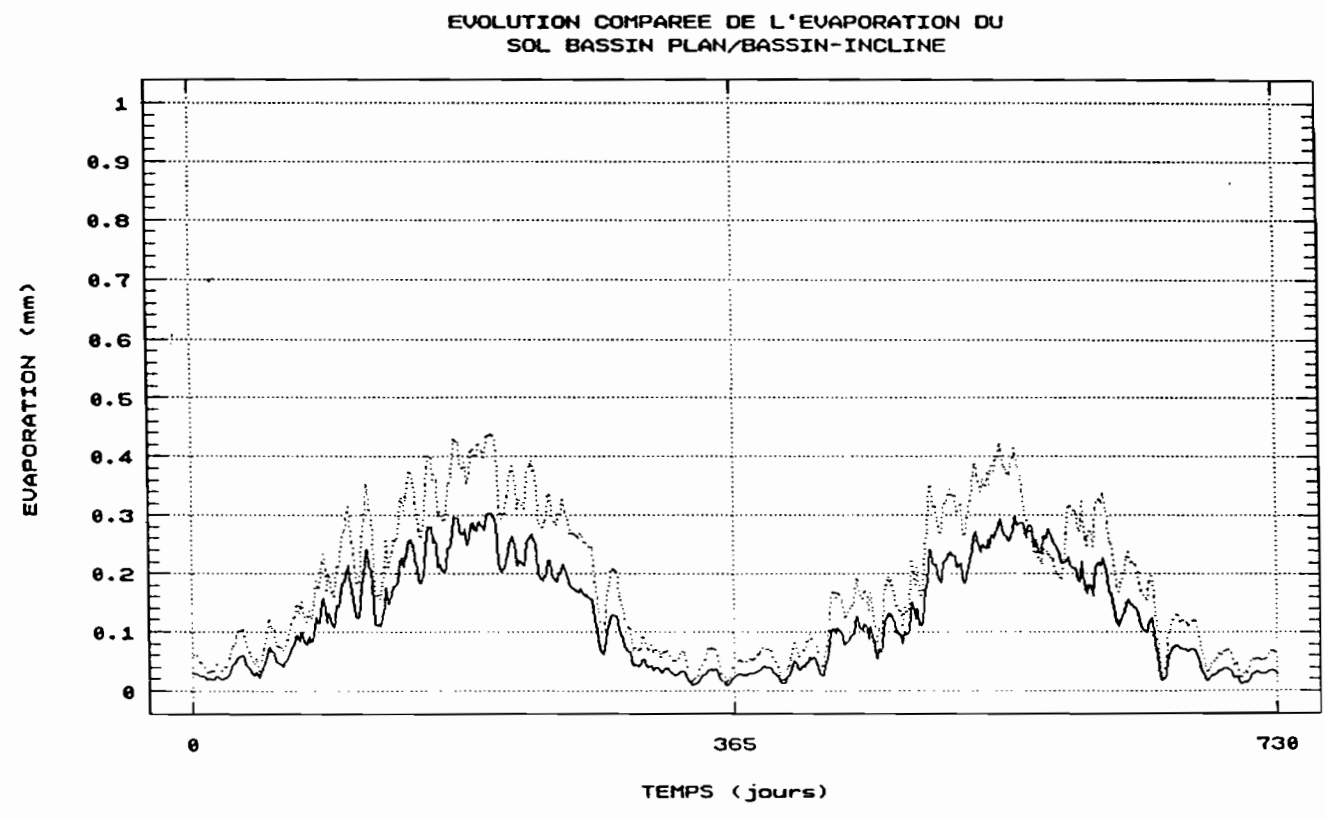
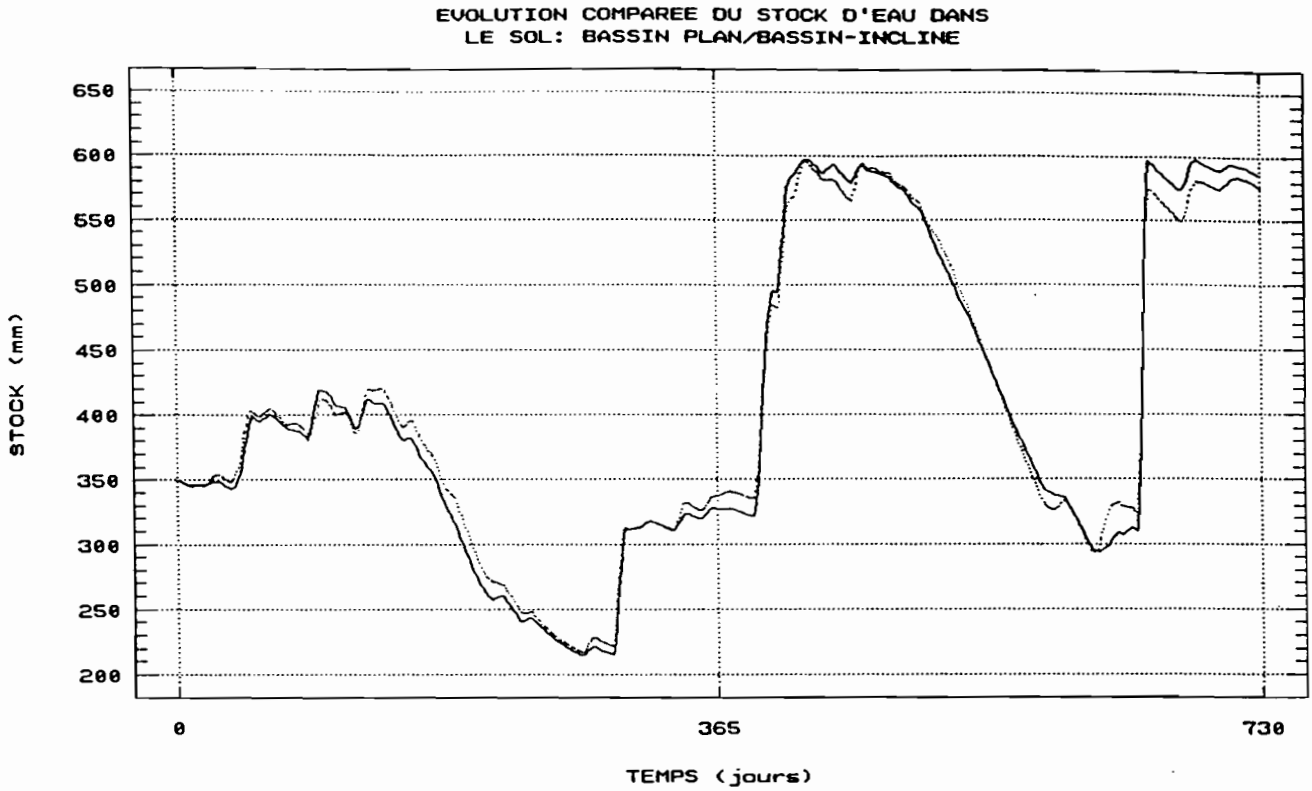


figure E9 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'évaporation du sol pour les sous-bassin N° 9 rive gauche et N° 13 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986).



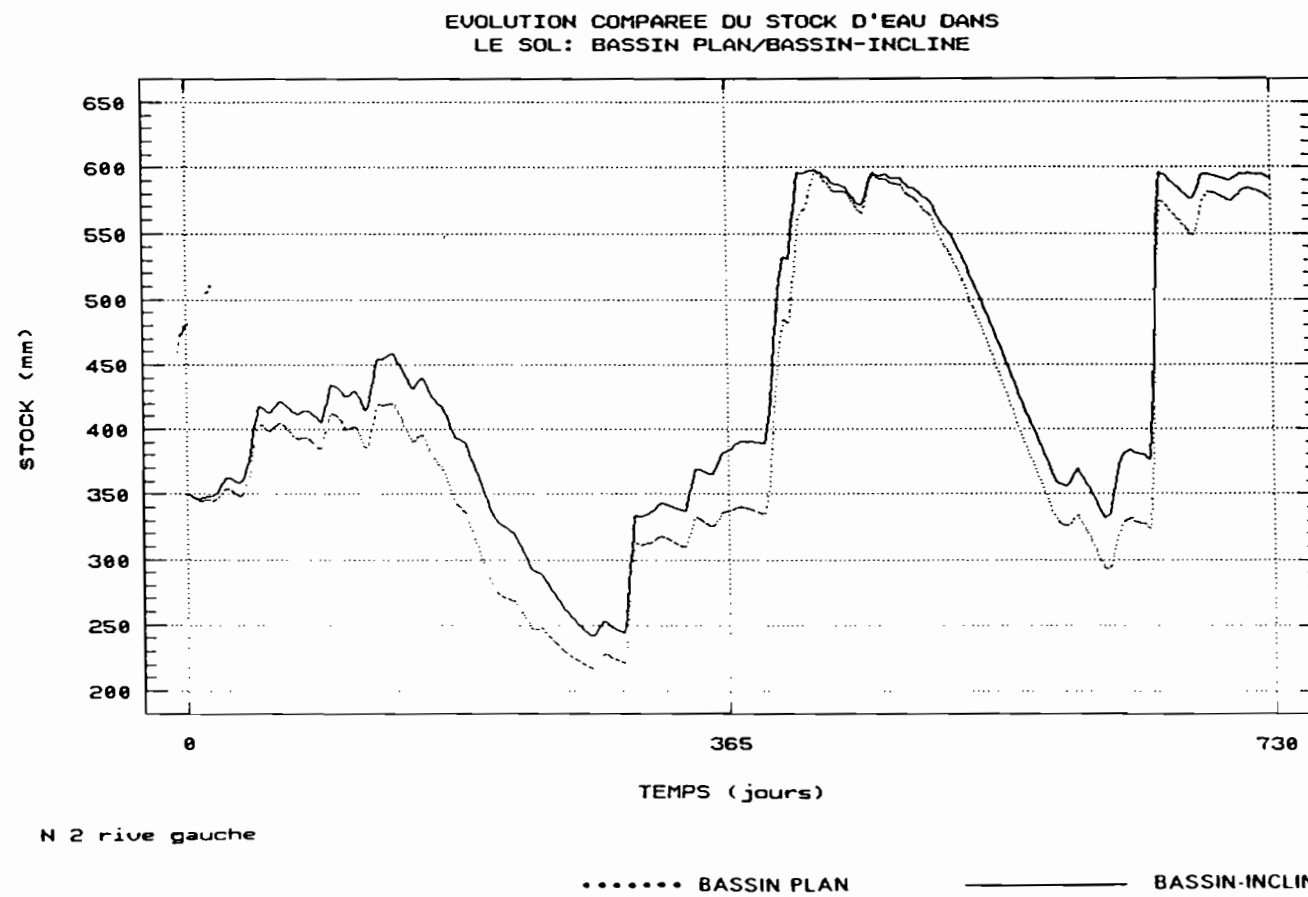
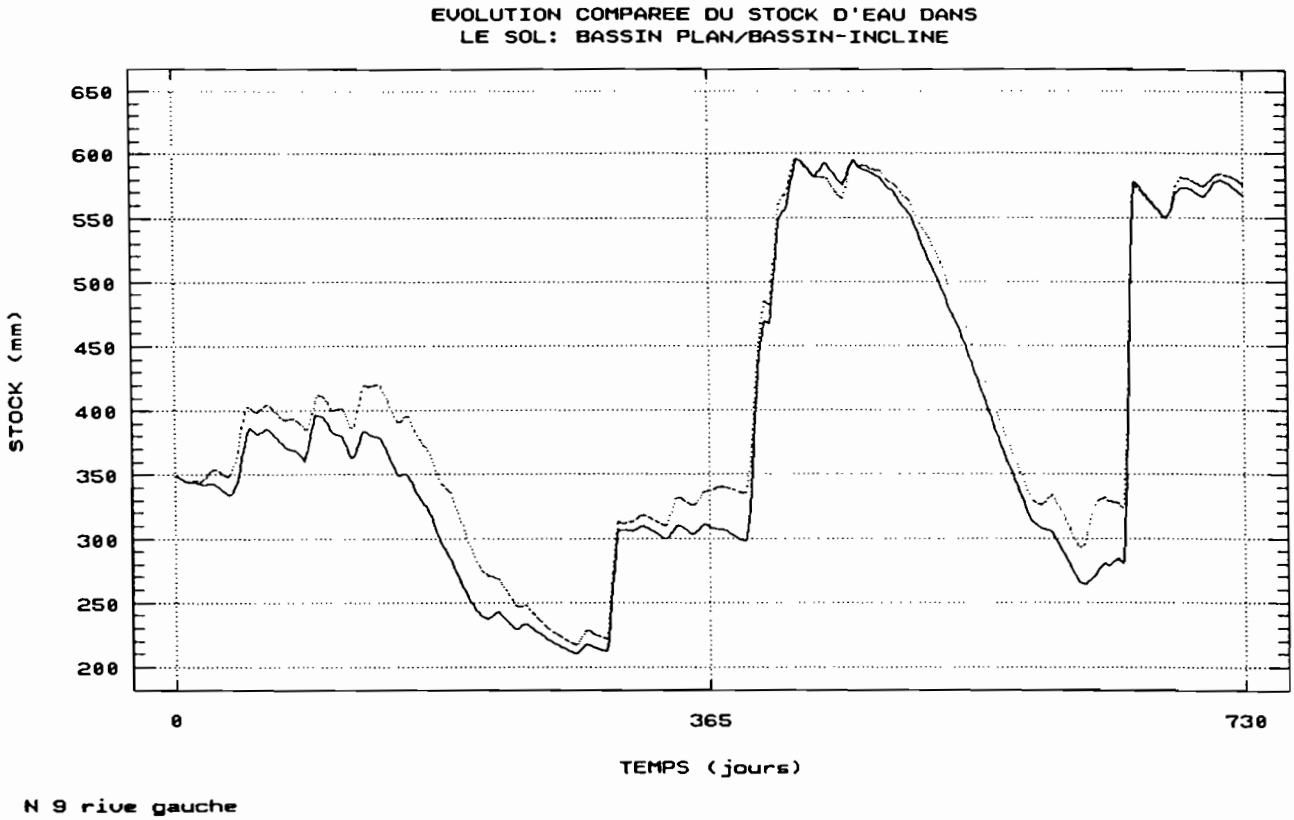


figure E10 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée du stock d'eau pour les sous-bassin N° 1 rive droite et N° 2 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986).



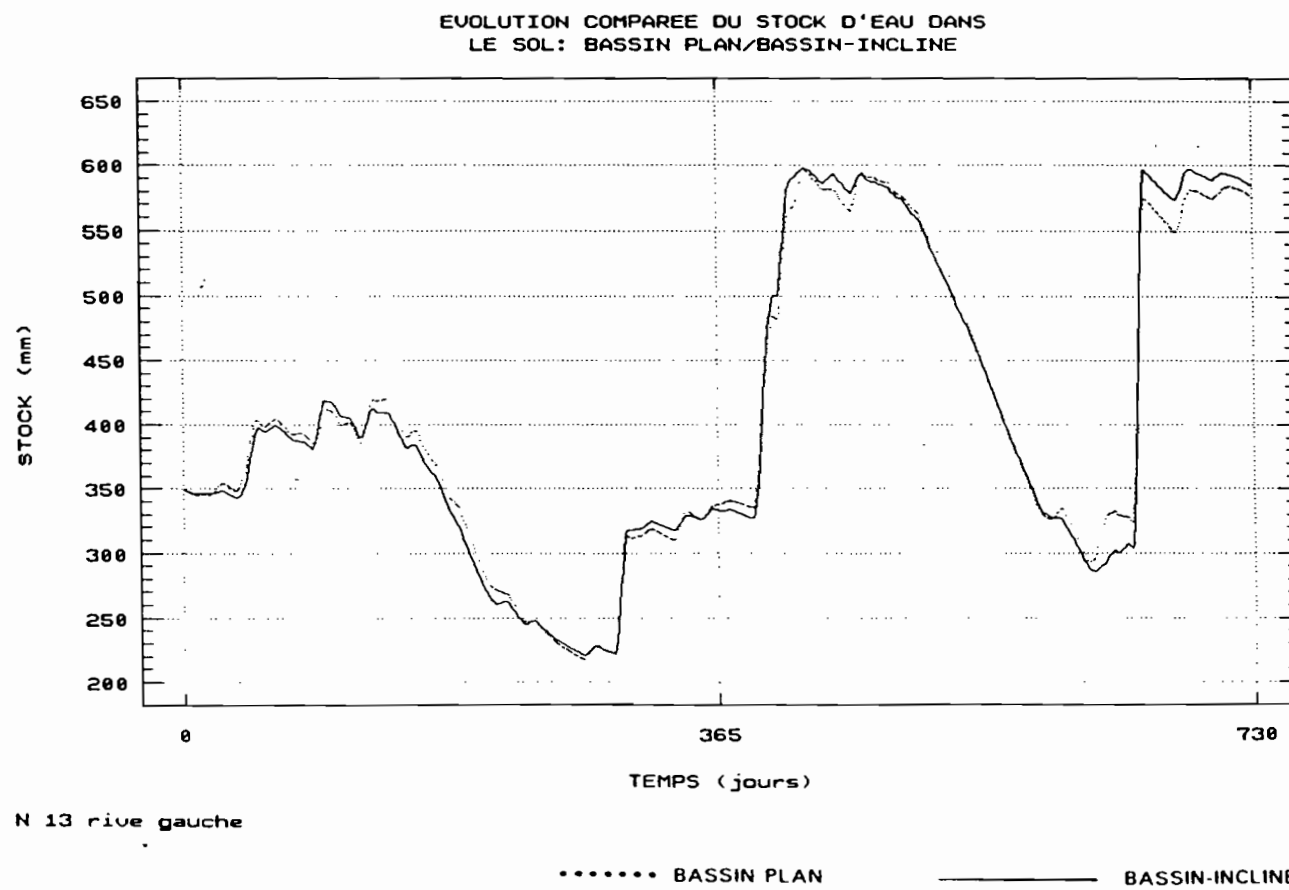


figure E11 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée du stock d'eau pour les sous-bassin N° 9 rive gauche et N° 13 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986).

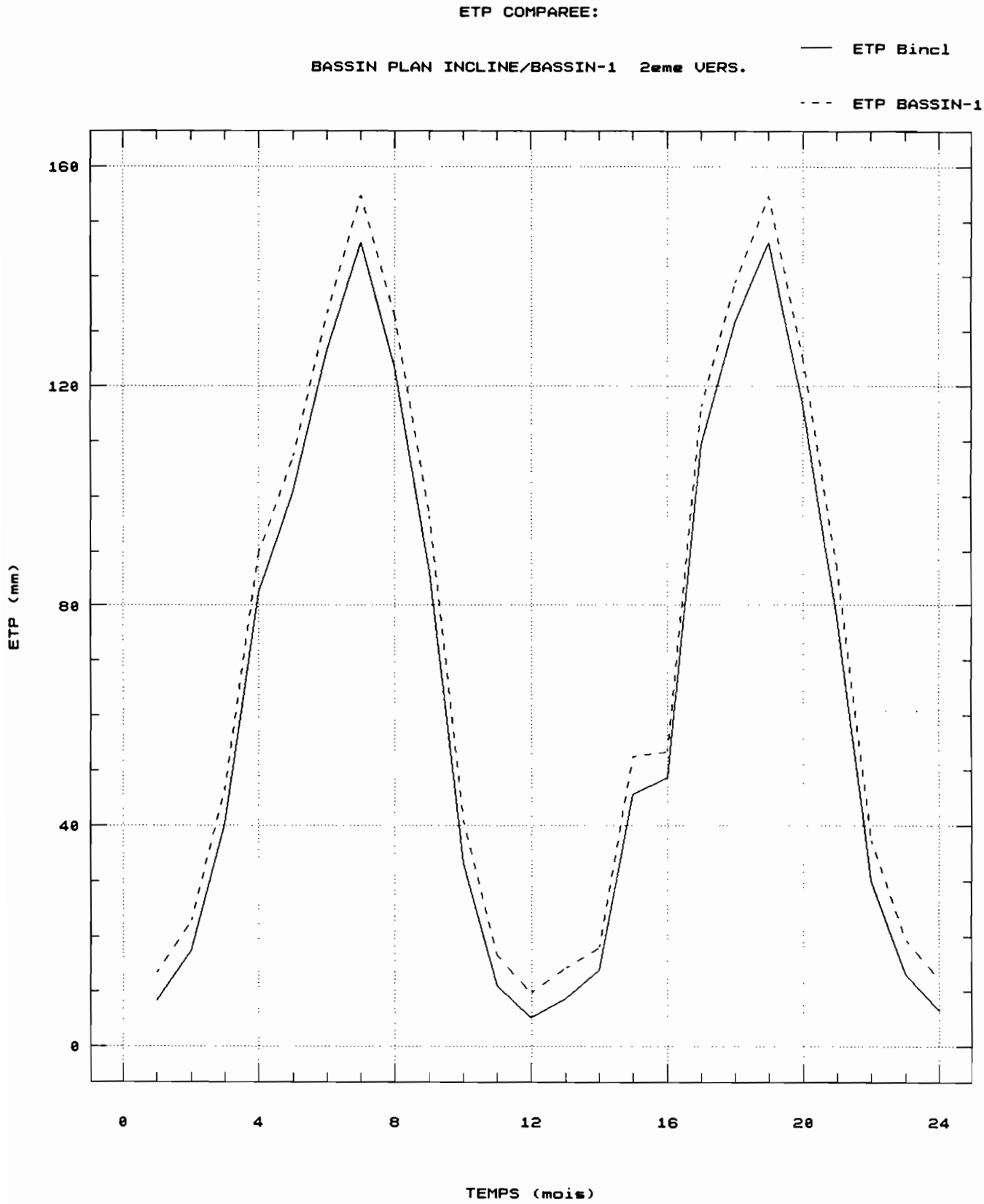


figure E12 - ETP comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin plan incliné (1985/1986).

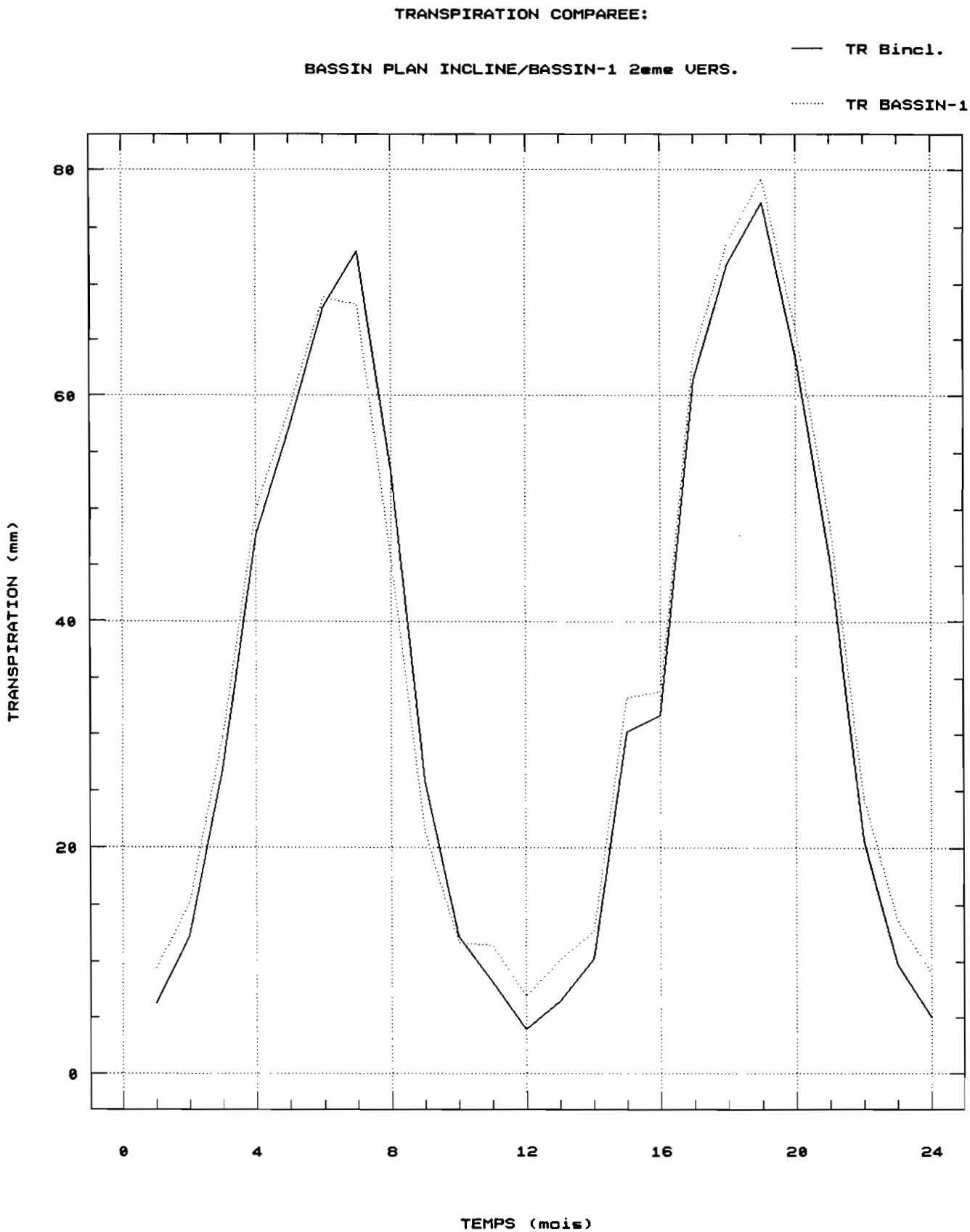


figure E13 - Transpiration comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin plan incliné (1985/1986).

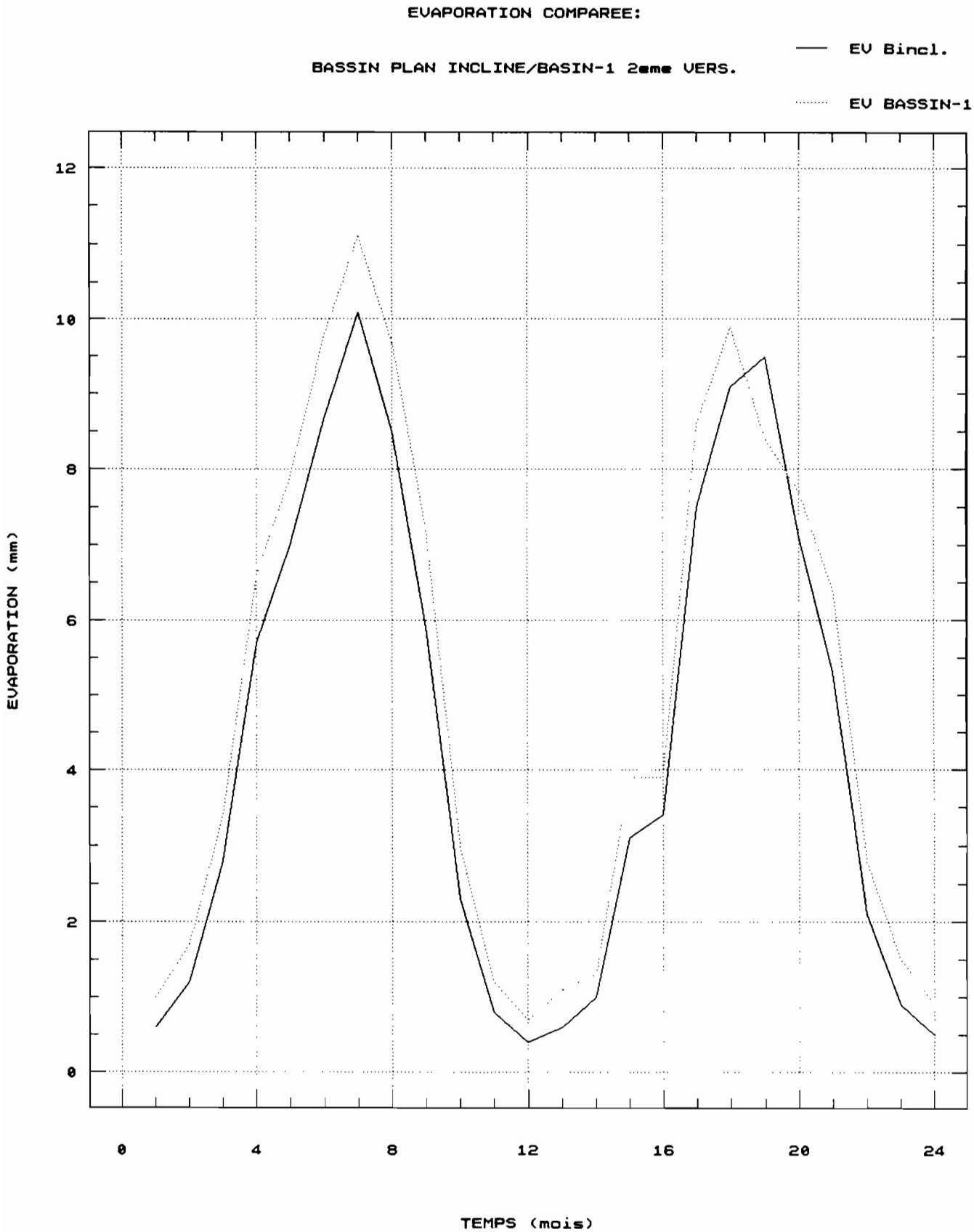


figure E14 - Evaporation du sol comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin plan incliné (1985/1986).

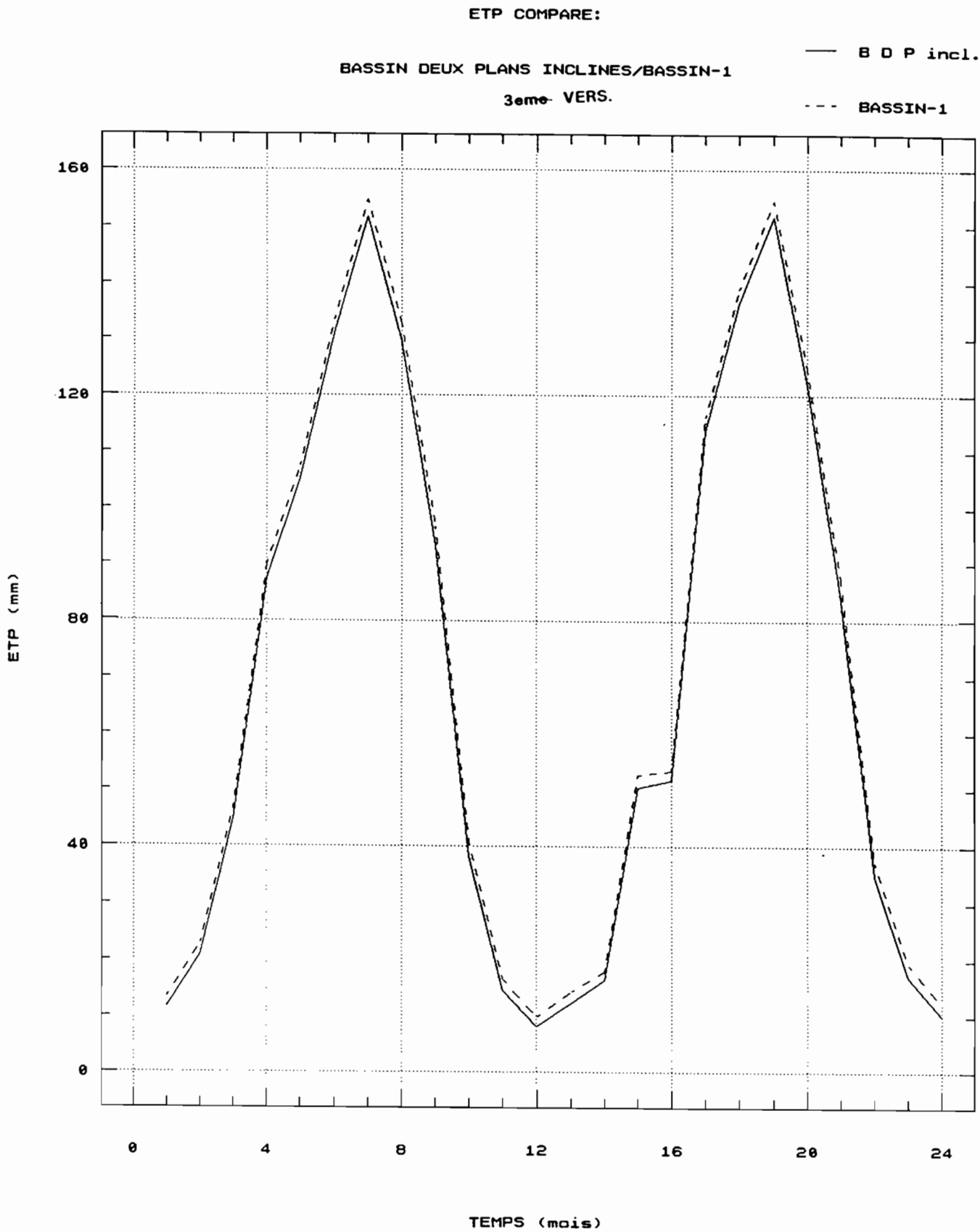


figure E15 - ETP comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin deux plans inclinés (1985/1986).

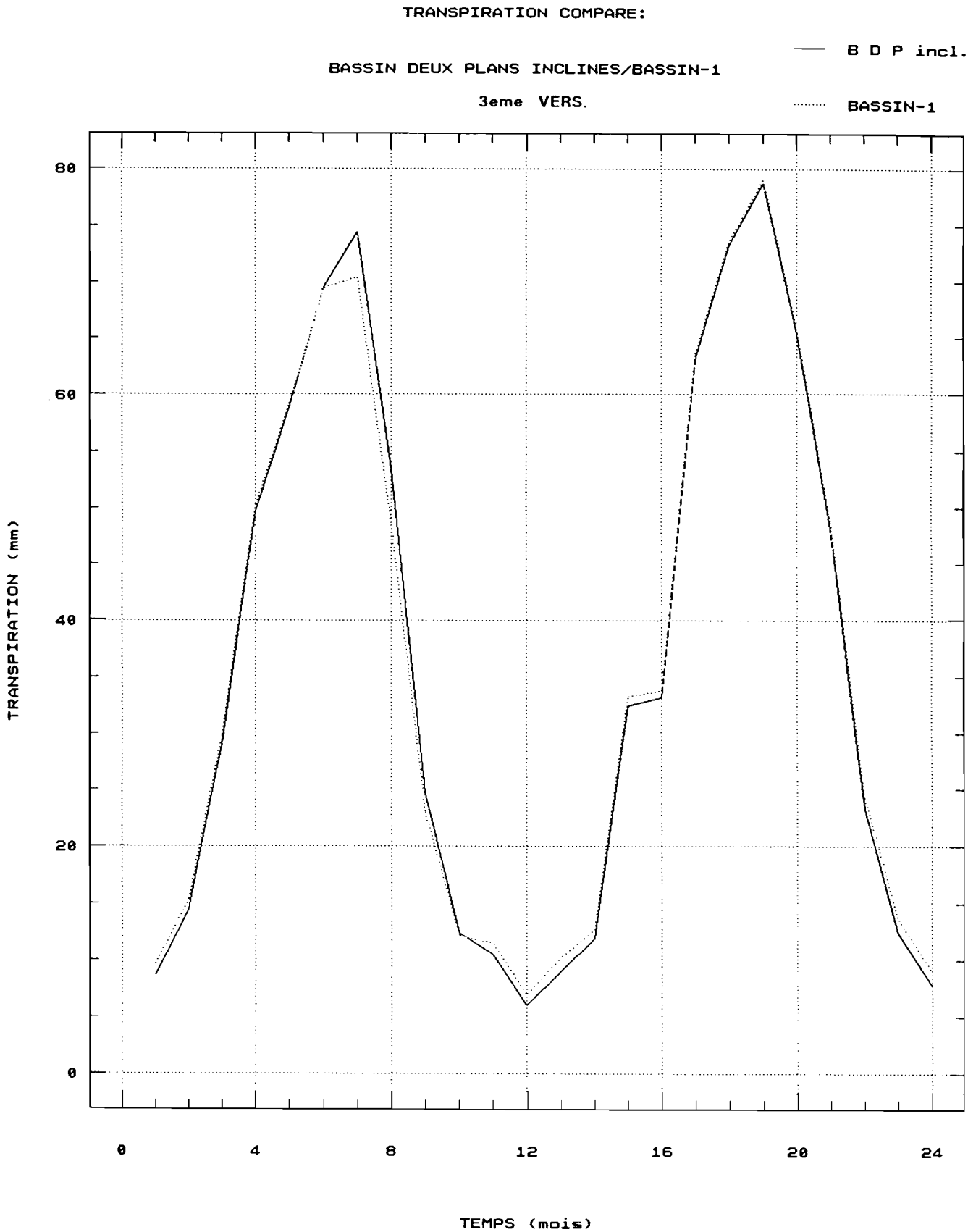


figure E16 - Transpiration comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin deux plans inclinés (1985/1986).

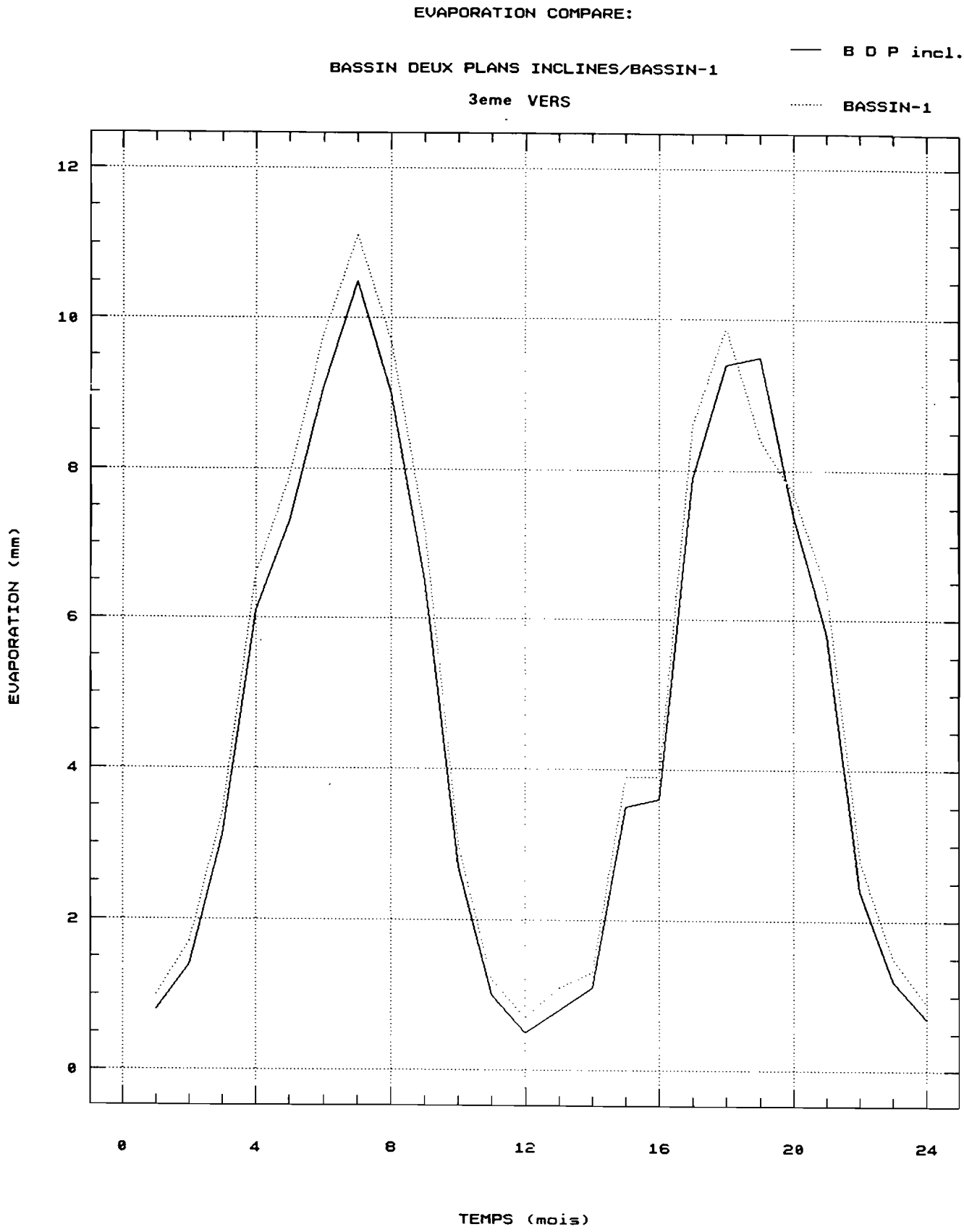


figure E17 - Evaporation du sol comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin deux plans inclinés (1985/1986).

ANNEXE F

TABLEAU F1 - DEBITS MESURES A LA STATION DE VAILHAN en mm

ANNEE 1985

SURFACE DU BASSIN VERSANT: 31 Km2
ALTITUDE DU ZERO DE L' ECHELLE: 125,23m

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
01	0,014	0,000	0,053	0,014	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
02	0,014	0,000	0,053	0,014	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
03	0,014	0,000	0,053	0,014	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
04	0,014	0,000	0,053	0,569	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05	0,014	0,000	0,053	0,658	0,025	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
06	0,014	0,000	0,053	0,287	0,039	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
07	0,014	0,000	0,053	0,173	0,042	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
08	0,014	0,000	0,053	0,109	0,045	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
09	0,014	0,000	0,053	0,095	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,014	0,000	0,053	0,084	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,014	0,000	0,053	0,078	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,014	0,000	0,053	0,075	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,014	0,000	0,050	0,070	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,014	0,000	0,050	0,067	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,014	0,000	0,047	0,064	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,014	0,000	0,045	0,061	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,014	0,000	0,045	0,059	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,014	0,981	0,042	0,056	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,014	0,903	0,039	0,053	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,008	0,399	0,036	0,045	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	0,003	0,237	0,033	0,050	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,003	0,139	0,031	0,050	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,000	0,106	0,025	0,045	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	0,000	0,084	0,020	0,042	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,000	0,067	0,017	0,042	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	0,000	0,056	0,014	0,042	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	1,065	0,000	0,000
27	0,000	0,053	0,014	0,039	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000
28	0,000	0,053	0,014	0,039	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,000	0.000	0,014	0,039	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0.000	0,014	0,036	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
31	0,000	0.000	0,014	0.000	0,020	0.000	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0,000
total	0,279	3,077	1,198	3,066	1,034	0,081	0,000	0,000	0,000	1,070	0,000	0,000

TABLEAU F2 - DEBITS MESURES A LA STATION DE VAILHAN en mm

ANNEE 1986

SURFACE DU BASSIN VERSANT: 31 Km2
ALTITUDE DU ZERO DE L' ECHELLE: 125,23m

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.000	0.532	13.685	0.067	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.008
2	0.000	0.223	5.073	0.067	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.008
3	0.000	0.103	2.425	0.067	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.006
4	0.000	5.937	1.380	0.064	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.000
5	0.000	2.090	0.858	0.053	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000
6	0.000	0.875	0.622	0.056	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.000
7	0.000	0.449	0.412	0.117	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000
8	0.000	0.223	0.323	0.098	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000
9	0.000	0.100	0.270	0.131	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.014
10	0.000	0.067	0.220	0.125	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.006
11	0.000	0.059	0.176	0.117	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000
12	0.000	0.047	0.142	0.109	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.003
13	0.000	0.036	0.117	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.376	0.045	0.003
14	0.000	0.524	0.103	0.095	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	4.320	0.036	0.011
15	0.000	14.075	0.089	0.089	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	66.333	0.031	0.008
16	0.000	1.826	0.081	0.081	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	3.066	0.031	0.008
17	0.000	2.007	0.081	0.081	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.967	0.031	0.008
18	0.000	1.076	0.081	0.081	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.387	0.031	0.008
19	0.000	0.641	0.081	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.220	0.028	0.008
20	0.000	0.332	0.081	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.178	0.025	0.000
21	0.000	0.190	0.081	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.022	0.000
22	0.000	0.312	0.078	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.022	0.000
23	0.000	0.223	0.078	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.022	0.000
24	0.000	0.148	0.078	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.064	0.022	0.000
25	0.000	0.103	0.075	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.014	0.000
26	0.000	0.089	0.075	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.014	0.006
27	0.000	7.943	0.072	0.053	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.008	0.000
28	0.000	6.828	0.072	0.053	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.003	0.000
29	0.000	0.000	0.070	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.003	0.000
30	0.006	0.000	0.070	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.008	0.000
31	1.093	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000
total	1.098	47.057	27.118	2.310	0.488	0.000	0.000	0.000	0.000	76.453	0.808	0.106

TABLEAU F4 - RAYONNEMENT GLOBAL OBSERVE (J/cm^2) A FREJORGUES

ANNEE 1986

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	630	900	70	1560	2290	1670	2150	2240	1374	710	690	730
2	410	80	410	1080	2150	2430	2190	2310	2285	770	1060	720
3	660	260	1050	250	1040	1850	1620	2330	2224	440	1110	550
4	620	120	1540	2100	1020	1810	2520	2000	2335	1360	1110	270
5	290	300	1420	750	1750	780	2350	2590	2190	1390	1020	140
6	750	830	290	310	220	2310	2410	2490	1795	1420	1010	540
7	570	1060	1630	990	390	2680	2700	2270	1921	1410	990	510
8	340	1030	1660	240	2310	2720	2740	2260	1998	1440	820	170
9	710	1210	1630	1210	2560	2700	2730	1970	1335	1250	920	90
10	480	800	1600	1790	2580	2700	2730	1910	2048	990	210	220
11	600	980	1570	1620	2290	1670	2590	1190	1596	660	660	650
12	700	1060	530	2090	2510	2630	1560	2370	961	610	350	590
13	690	300	1400	2280	1870	2570	2540	2230	1630	40	240	300
14	440	70	1330	2010	2030	2670	2710	2370	1175	10	620	420
15	310	660	1610	400	2070	1740	2730	2180	1390	200	50	710
16	810	1100	1090	1890	1160	2350	2670	2160	740	150	400	600
17	760	1040	1190	1050	2370	1870	2390	1190	1256	520	220	690
18	710	970	470	1910	2460	2280	1400	910	1113	960	900	520
19	750	640	620	1310	1730	2580	2670	2250	1637	700	710	560
20	810	1310	1570	1380	1390	2170	2710	2330	1449	1150	650	720
21	800	110	1760	810	1520	2470	2660	2310	1865	1110	400	410
22	780	1380	1840	770	2620	2580	2350	1080	1577	1210	340	510
23	240	490	1130	1240	2330	1480	920	2220	1690	600	610	710
24	830	1100	1230	1110	2550	2590	2670	2070	1282	1140	800	720
25	800	1250	1910	610	2540	2710	2070	2300	1616	740	770	620
26	940	130	1720	2040	2180	2080	1540	760	961	1140	700	580
27	880	10	1380	2130	1300	2670	2430	1290	1681	1260	840	700
28	210	60	390	270	1850	2520	2540	1940	1684	1080	760	730
29	360		1550	910	2510	2530	2500	2220	1667	700	80	740
30	190		1080	1920	2730	2540	2350	2300	1640	900	760	750
31	280		1910		2720		2200	1880		1110		450

TABLEAU F3 - RAYONNEMENT GLOBAL OBSERVE (J/cm²) A MONTPELLIER (ENSAM)

ANNEE 1985

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	690	780	80	1960	2560	2610	2450	2250	1650	540	520	50
2	730	1040	1100	2020	2530	1750	2640	2640	2120	460	1020	110
3	760	1060	1190	2070	1940	1350	2060	2440	900	360	380	120
4	760	900	340	400	1060	1030	1450	2620	2100	560	640	290
5	840	670	280	330	1940	1780	2660	1450	2120	670	190	200
6	790	970	810	2200	700	1780	2710	2500	1880	1270	910	550
7	420	890	1430	1340	680	2260	2800	2680	2130	1360	1000	610
8	630	230	560	760	560	2800	1830	2580	2100	1500	730	390
9	750	280	1240	1740	2670	2890	1830	2300	1990	1430	180	160
10	670	710	1630	2260	2160	2470	2680	1400	1860	1430	640	730
11	490	800	710	1640	650	2910	2760	1260	1810	1440	730	670
12	100	370	950	2210	2440	2820	2760	2000	1620	1390	100	710
13	510	640	1500	2010	1340	2550	2720	2390	1590	1440	890	670
14	620	440	1500	2300	1830	2020	2350	2140	1910	1360	920	650
15	670	880	1650	1930	2660	2700	1830	2320	1330	1240	510	680
16	690	160	1470	2400	1660	1090	2610	2250	1970	1300	860	670
17	660	280	900	2160	990	2840	2690	2410	1890	680	800	670
18	480	290	1720	2380	1690	2240	2390	2390	1820	500	660	670
19	820	1370	1450	2250	2400	460	2590	2220	1400	1140	530	520
20	560	1180	550	2410	2210	2890	2310	2420	1610	1020	340	680
21	30	1220	1160	670	1620	2440	2750	2350	1610	640	480	680
22	120	1340	950	590	2750	2070	2740	1650	1610	1070	490	240
23	280	1320	1730	1390	1900	1140	2640	2230	1620	1110	800	200
24	920	1320	1570	1420	2010	2850	2550	1110	1590	490	800	80
25	680	450	550	1260	2620	2910	2530	570	1520	540	780	20
26	570	530	1580	2220	2560	2180	2190	2330	1510	120	690	460
27	870	1000	1700	2610	1210	2730	2400	2350	1420	310	740	500
28	740	880	2030	2330	2610	2940	1690	2320	1550	940	780	130
29	590		2060	2620	2400	2790	1320	2280	1520	1000	470	300
30	930		960	2540	2840	2490	750	2150	1540	990	560	670
31	900		1480		2620		2460	1710		720		690

TABLEAU F5 - TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES (°C) A PEZENES LES MINES

ANNEE 1985

JOUR/MOIS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6.0	14.0	9.0	20.0	25.5	28.0	32.0	25.0	27.0	25.0	16.5	12.0
2	4.6	17.5	10.0	20.0	24.0	28.0	34.0	29.0	29.3	23.5	17.0	13.0
3	4.0	17.0	14.7	25.0	16.0	24.0	28.0	31.0	26.5	23.0	12.0	12.0
4	5.2	12.2	10.0	11.3	14.0	21.5	27.0	28.5	25.0	25.0	15.0	12.5
5	0.0	13.5	9.0	11.7	15.0	22.0	24.5	29.0	29.0	21.0	17.0	13.0
6	-3.0	17.4	11.0	16.0	8.6	23.0	30.0	19.0	25.5	24.0	15.0	13.0
7	0.0	16.3	12.0	18.0	10.7	23.5	33.0	22.0	31.0	24.0	17.2	13.0
8	-7.5	12.5	9.0	13.0	12.6	19.0	32.0	30.0	33.0	18.5	18.3	10.5
9	-1.0	13.5	13.5	18.0	15.5	19.0	30.0	32.0	30.0	19.4	16.5	10.0
10	2.0	12.0	15.3	15.5	15.0	20.0	29.0	25.0	28.3	24.0	19.0	11.8
11	2.0	9.2	10.0	12.2	13.0	23.5	30.0	24.8	27.0	25.3	13.0	9.5
12	-1.0	9.0	8.0	10.0	16.8	27.0	31.2	24.0	29.0	29.0	6.0	9.0
13	-1.0	11.0	10.3	16.0	19.0	28.0	30.0	29.0	29.0	30.0	6.0	10.0
14	-4.0	10.0	10.0	13.0	18.0	26.0	28.0	28.0	25.0	27.0	11.0	14.5
15	-6.0	14.0	9.0	15.0	20.0	23.0	31.5	30.0	23.0	26.0	8.0	18.0
16	-2.0	8.0	8.5	19.5	16.0	20.0	28.5	29.0	23.5	25.0	13.5	18.3
17	5.5	6.2	5.0	23.5	12.0	24.0	32.0	28.0	30.0	19.0	12.0	19.0
18	8.5	6.0	5.0	20.3	16.0	29.0	32.0	34.0	29.0	21.0	8.0	14.0
19	5.3	9.0	9.0	21.5	21.0	18.0	31.0	33.0	26.0	23.0	3.5	10.3
20	10.2	9.0	9.0	21.0	21.0	20.0	25.0	31.0	30.0	21.0	0.5	16.5
21	8.0	7.0	12.0	14.0	19.0	24.0	28.4	34.0	31.0	16.0	2.0	15.0
22	10.0	12.0	13.0	14.5	22.0	20.0	35.5	31.0	32.8	23.0	7.0	11.0
23	11.0	12.0	12.5	17.8	23.0	18.0	36.0	31.0	33.0	21.0	7.0	9.3
24	6.0	13.0	12.5	20.0	25.0	23.0	35.0	27.0	30.0	15.3	9.0	6.2
25	7.0	9.5	12.0	17.2	25.0	26.5	34.0	20.3	31.0	12.5	8.0	9.0
26	11.0	9.0	15.0	19.0	25.0	29.5	32.3	20.0	30.0	12.0	6.5	11.0
27	9.0	13.0	11.0	18.2	19.0	24.0	32.0	26.0	28.0	14.0	4.0	8.0
28	10.0	11.0	10.0	15.0	23.5	27.0	28.6	31.0	30.0	21.0	11.0	12.2
29	10.0		16.0	16.0	26.0	29.0	27.0	30.0	32.0	13.0	12.0	9.4
30	15.0		14.0	23.0	27.0	26.0	21.0	30.0	30.5	19.0	13.0	3.0
31	13.0		18.0		27.5		26.0	28.0		17.0		7.0

TABLEAU F6 - TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES (°C) A VAILHAN

ANNEE 1985

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6.0	14.0	9.0	20.0	25.5	28.0	32.0	25.0	27.0	25.0	16.5	12.0
2	4.6	17.5	10.0	20.0	24.0	28.0	34.0	29.0	29.3	23.5	17.0	13.0
3	4.0	17.0	14.7	25.0	16.0	24.0	28.0	31.0	26.5	23.0	12.0	12.0
4	5.2	12.2	10.0	11.3	14.0	21.5	27.0	28.5	25.0	25.0	15.0	12.5
5	0.0	13.5	9.0	11.7	15.0	22.0	24.5	29.0	29.0	21.0	17.0	13.0
6	-3.0	17.4	11.0	16.0	8.6	23.0	30.0	19.0	25.5	24.0	15.0	13.0
7	0.0	16.3	12.0	18.0	10.7	23.5	33.0	22.0	31.0	24.0	17.2	13.0
8	-7.5	12.5	9.0	13.0	12.6	19.0	32.0	30.0	33.0	18.5	18.3	10.5
9	-1.0	13.5	13.5	18.0	15.5	19.0	30.0	32.0	30.0	19.4	16.5	10.0
10	2.0	12.0	15.3	15.5	15.0	20.0	29.0	25.0	28.3	24.0	19.0	11.8
11	2.0	9.2	10.0	12.2	13.0	23.5	30.0	24.8	27.0	25.3	13.0	9.5
12	-1.0	9.0	8.0	10.0	16.8	27.0	31.2	24.0	29.0	29.0	6.0	9.0
13	-1.0	11.0	10.3	16.0	19.0	28.0	30.0	29.0	29.0	30.0	6.0	10.0
14	-4.0	10.0	10.0	13.0	18.0	26.0	28.0	28.0	25.0	27.0	11.0	14.5
15	-6.0	14.0	9.0	15.0	20.0	23.0	31.5	30.0	23.0	26.0	8.0	18.0
16	-2.0	8.0	8.5	19.5	16.0	20.0	28.5	29.0	23.5	25.0	13.5	18.3
17	5.5	6.2	5.0	23.5	12.0	24.0	32.0	28.0	30.0	19.0	12.0	19.0
18	8.5	6.0	5.0	20.3	16.0	29.0	32.0	34.0	29.0	21.0	8.0	14.0
19	5.3	9.0	9.0	21.5	21.0	18.0	31.0	33.0	26.0	23.0	3.5	10.3
20	10.2	9.0	9.0	21.0	21.0	20.0	25.0	31.0	30.0	21.0	0.5	16.5
21	8.0	7.0	12.0	14.0	19.0	24.0	28.4	34.0	31.0	16.0	2.0	15.0
22	10.0	12.0	13.0	14.5	22.0	20.0	35.5	31.0	32.8	23.0	7.0	11.0
23	11.0	12.0	12.5	17.8	23.0	18.0	36.0	31.0	33.0	21.0	7.0	9.3
24	6.0	13.0	12.5	20.0	25.0	23.0	35.0	27.0	30.0	15.3	9.0	6.2
25	7.0	9.5	12.0	17.2	25.0	26.5	34.0	20.3	31.0	12.5	8.0	9.0
26	11.0	9.0	15.0	19.0	25.0	29.5	32.3	20.0	30.0	12.0	6.5	11.0
27	9.0	13.0	11.0	18.2	19.0	24.0	32.0	26.0	28.0	14.0	4.0	8.0
28	10.0	11.0	10.0	15.0	23.5	27.0	28.6	31.0	30.0	21.0	11.0	12.2
29	10.0		16.0	16.0	26.0	29.0	27.0	30.0	32.0	13.0	12.0	9.4
30	15.0		14.0	23.0	27.0	26.0	21.0	30.0	30.5	19.0	13.0	3.0
31	13.0		18.0		27.5		26.0	28.0		17.0		7.0

TABLEAU F7 - TEMPERATURES MINIMALES OBSERVEES (°C) A PEZENES LES MINES

ANNEE 1985

JOUR/MOIS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.0	10.0	7.5	2.0	7.5	10.0	13.0	13.5	18.5	13.0	8.5	7.5
2	2.0	3.5	5.5	5.0	7.3	13.0	16.0	15.0	13.5	18.5	6.0	9.0
3	0.0	6.0	4.0	7.0	10.0	12.0	15.0	12.0	15.0	19.0	5.0	11.0
4	-5.0	-0.8	7.0	5.3	6.0	12.0	20.0	18.0	15.5	20.0	8.5	11.0
5	-7.0	6.5	5.0	6.0	5.8	12.0	18.0	11.5	15.5	15.0	10.0	11.0
6	-8.0	-0.5	4.0	8.0	1.6	17.0	16.5	14.0	15.0	14.0	9.7	8.0
7	-8.5	-0.5	0.0	1.0	6.0	15.0	16.0	13.0	11.5	11.6	6.7	0.0
8	-11.0	4.0	3.0	11.0	8.0	14.0	16.0	11.0	7.0	11.0	7.0	5.0
9	-11.1	8.0	2.0	7.5	9.0	8.0	17.5	11.0	10.0	12.0	9.0	6.5
10	-7.5	3.0	0.0	7.0	8.0	9.0	18.0	19.0	14.5	12.0	12.5	3.0
11	-9.0	4.0	5.0	6.5	2.4	14.0	14.5	16.0	15.0	6.0	9.0	1.0
12	-4.5	4.0	3.8	4.0	4.2	8.0	13.0	18.0	16.0	5.2	4.0	0.5
13	-4.0	6.0	0.5	7.5	1.5	14.0	13.0	13.0	13.0	10.0	3.0	-1.0
14	-7.0	6.0	5.0	7.0	9.0	15.0	15.5	19.0	16.5	6.0	-0.2	-3.0
15	-11.0	4.5	4.0	6.5	5.0	14.0	16.5	17.0	8.0	6.2	-3.5	-2.0
16	-10.8	4.5	-2.0	10.0	11.5	12.0	17.0	18.0	10.5	12.5	-1.0	6.0
17	-10.5	6.0	0.5	12.0	7.5	11.5	15.0	16.0	11.0	6.0	2.0	9.0
18	1.0	4.0	0.5	4.0	10.0	9.0	15.0	15.0	8.0	15.0	1.0	4.0
19	3.5	-2.5	-2.0	3.0	9.0	15.0	20.5	14.5	9.0	10.0	1.0	3.2
20	-1.0	-5.0	1.0	3.0	8.0	13.0	19.0	19.0	13.5	5.0	-2.0	1.0
21	1.0	-3.0	-3.0	3.5	11.0	9.0	16.0	14.0	11.0	8.5	-1.0	-6.5
22	3.0	-4.0	3.5	10.0	9.0	14.0	13.5	14.0	11.0	5.0	0.0	-2.5
23	2.0	-5.5	7.0	10.0	8.0	14.0	13.5	18.5	13.0	3.5	3.0	6.5
24	1.5	-5.0	0.5	8.0	12.5	11.0	15.0	14.0	12.0	4.0	-1.0	-0.2
25	-3.0	0.5	-1.0	7.5	9.0	10.5	16.0	14.0	13.0	11.0	-4.0	5.5
26	2.0	6.0	0.0	9.5	9.3	12.0	16.5	13.0	13.5	10.0	-4.0	2.0
27	6.0	5.0	4.0	4.3	12.2	17.5	18.0	9.0	10.0	10.0	-4.5	-2.0
28	0.0	1.0	3.0	7.5	11.5	14.0	16.5	9.0	11.0	5.0	-5.2	2.0
29	6.0		3.2	7.0	11.0	11.0	19.5	8.0	11.5	4.0	-1.5	7.0
30	7.0		2.5	9.0	10.0	13.0	17.0	8.5	13.0	0.5	0.0	-1.0
31	5.0		7.5		10.0		12.0	12.0		2.0		-4.0

TABLEAU F8 - TEMPERATURES MINIMALES OBSERVEES (°C) A VAILHAN

ANNEE 1985

JOUR/MOIS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.0	10.0	7.5	2.0	7.5	10.0	13.0	13.5	18.5	13.0	8.5	7.5
2	2.0	3.5	5.5	5.0	7.3	13.0	16.0	15.0	13.5	18.5	6.0	9.0
3	0.0	6.0	4.0	7.0	10.0	12.0	15.0	12.0	15.0	19.0	5.0	11.0
4	-5.0	-0.8	7.0	5.3	6.0	12.0	20.0	18.0	15.5	20.0	8.5	11.0
5	-7.0	6.5	5.0	6.0	5.8	12.0	18.0	11.5	15.5	15.0	10.0	11.0
6	-8.0	-0.5	4.0	8.0	1.6	17.0	16.5	14.0	15.0	14.0	9.7	8.0
7	-8.5	-0.5	0.0	1.0	6.0	15.0	16.0	13.0	11.5	11.6	6.7	0.0
8	-11.0	4.0	3.0	11.0	8.0	14.0	16.0	11.0	7.0	11.0	7.0	5.0
9	-11.1	8.0	2.0	7.5	9.0	8.0	17.5	11.0	10.0	12.0	9.0	6.5
10	-7.5	3.0	0.0	7.0	8.0	9.0	18.0	19.0	14.5	12.0	12.5	3.0
11	-9.0	4.0	5.0	6.5	2.4	14.0	14.5	16.0	15.0	6.0	9.0	1.0
12	-4.5	4.0	3.8	4.0	4.2	8.0	13.0	18.0	16.0	5.2	4.0	0.5
13	-4.0	6.0	0.5	7.5	1.5	14.0	13.0	13.0	13.0	10.0	3.0	-1.0
14	-7.0	6.0	5.0	7.0	9.0	15.0	15.5	19.0	16.5	6.0	-0.2	-3.0
15	-11.0	4.5	4.0	6.5	5.0	14.0	16.5	17.0	8.0	6.2	-3.5	-2.0
16	-10.8	4.5	-2.0	10.0	11.5	12.0	17.0	18.0	10.5	12.5	-1.0	6.0
17	-10.5	6.0	0.5	12.0	7.5	11.5	15.0	16.0	11.0	6.0	2.0	9.0
18	1.0	4.0	0.5	4.0	10.0	9.0	15.0	15.0	8.0	15.0	1.0	4.0
19	3.5	-2.5	-2.0	3.0	9.0	15.0	20.5	14.5	9.0	10.0	1.0	3.2
20	-1.0	-5.0	1.0	3.0	8.0	13.0	19.0	19.0	13.5	5.0	-2.0	1.0
21	1.0	-3.0	-3.0	3.5	11.0	9.0	16.0	14.0	11.0	8.5	-1.0	-6.5
22	3.0	-4.0	3.5	10.0	9.0	14.0	13.5	14.0	11.0	5.0	0.0	-2.5
23	2.0	-5.5	7.0	10.0	8.0	14.0	13.5	18.5	13.0	3.5	3.0	6.5
24	1.5	-5.0	0.5	8.0	12.5	11.0	15.0	14.0	12.0	4.0	-1.0	-0.2
25	-3.0	0.5	-1.0	7.5	9.0	10.5	16.0	14.0	13.0	11.0	-4.0	5.5
26	2.0	6.0	0.0	9.5	9.3	12.0	16.5	13.0	13.5	10.0	-4.0	2.0
27	6.0	5.0	4.0	4.3	12.2	17.5	18.0	9.0	10.0	10.0	-4.5	-2.0
28	0.0	1.0	3.0	7.5	11.5	14.0	16.5	9.0	11.0	5.0	-5.2	2.0
29	6.0		3.2	7.0	11.0	11.0	19.5	8.0	11.5	4.0	-1.5	7.0
30	7.0		2.5	9.0	10.0	13.0	17.0	8.5	13.0	0.5	0.0	-1.0
31	5.0		7.5		10.0		12.0	12.0		2.0		-4.0

TABLEAU F9 - TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES (°C) A PEZENES LES MINES

ANNEE 1986

JOUR/MOIS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	8.0	5.0	8.3	20.0	24.8	18.0	31.0	33.0	27.0	20.0	16.0	13.5
2	11.0	1.0	11.0	15.1	23.0	22.0	28.0	32.0	29.0	20.0	15.0	14.0
3	12.0	8.0	13.0	11.6	11.0	22.0	30.0	30.3	30.5	20.0	14.0	10.0
4	7.0	5.0	13.5	16.2	19.0	18.7	34.0	29.0	29.0	26.0	14.0	12.0
5	5.0	6.0	16.0	11.1	20.0	14.0	31.0	31.5	27.0	29.0	15.0	12.0
6	7.0	4.0	10.0	9.0	13.0	18.2	26.5	34.0	28.0	29.0	15.0	13.5
7	8.0	6.0	14.5	6.5	16.0	20.0	25.0	32.0	30.0	27.0	19.0	15.0
8	10.0	6.0	14.3	5.0	21.0	24.0	28.0	34.0	29.5	27.0	16.0	13.0
9	9.0	0.0	14.8	7.0	22.2	28.0	28.0	30.0	28.0	24.0	16.5	9.0
10	10.4	-2.0	15.7	8.2	27.0	28.0	32.0	30.5	28.0	23.0	14.0	9.0
11	14.0	4.0	15.0	11.0	28.7	20.0	33.0	30.0	27.0	22.0	15.0	13.5
12	9.5	6.0	9.0	7.0	29.0	22.5	29.0	26.5	21.0	20.0	14.0	13.0
13	11.0	2.5	12.5	11.0	23.5	25.0	28.0	31.0	26.0	15.0	15.0	7.5
14	13.5	5.2	16.0	15.0	24.0	28.0	27.0	33.0	24.0	14.0	16.0	10.5
15	10.0	10.0	17.2	12.0	23.5	26.0	30.0	30.0	23.0	16.5	14.2	12.0
16	8.0	11.5	12.0	16.0	21.5	26.5	32.0	32.5	21.5	16.0	15.2	11.0
17	8.0	12.0	13.0	12.5	26.5	25.0	33.0	28.0	26.0	17.5	14.0	10.0
18	11.5	11.0	13.0	13.0	26.0	31.0	30.0	32.0	22.0	18.3	13.0	13.0
19	17.0	6.0	12.8	12.0	24.0	29.0	26.5	25.0	26.0	18.0	14.0	11.0
20	11.6	9.0	17.0	13.0	22.0	25.0	28.0	28.5	28.0	19.0	13.0	9.0
21	11.0	4.0	12.0	15.5	20.0	28.0	32.5	31.5	27.0	18.0	10.0	8.0
22	10.0	12.0	13.5	11.0	31.0	30.0	30.0	29.0	27.5	21.0	14.0	6.0
23	14.0	14.0	14.5	18.0	28.0	28.0	29.0	24.0	27.0	15.0	10.0	3.0
24	8.0	12.0	18.0	18.0	24.0	32.0	26.7	23.0	23.5	16.0	11.2	4.0
25	5.5	13.0	11.0	14.0	31.2	32.0	30.0	29.0	18.0	18.0	16.5	12.0
26	5.0	5.0	12.0	15.0	28.0	30.0	30.3	30.0	20.0	14.0	14.1	14.0
27	8.0	2.5	18.0	15.0	23.6	35.5	34.0	19.5	21.0	16.0	11.4	10.0
28	3.0	4.0	14.0	11.5	21.2	34.0	34.0	22.7	23.5	18.0	15.0	9.0
29	6.0		15.0	13.7	18.0	35.0	36.0	21.5	25.0	19.0	6.0	12.0
30	3.5		14.0	19.0	19.0	25.0	35.0	24.0	26.0	14.0	14.0	15.0
31	6.0		20.0		20.0		30.2	26.0		17.0		14.0

TABLEAU F10 - TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES (°C) A VAILHAN

ANNEE 1986

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	8.0	5.0	8.3	20.0	24.8	18.0	31.0	33.0	27.0	20.0	16.0	13.5
2	11.0	1.0	11.0	15.1	23.0	22.0	28.0	32.0	29.0	20.0	15.0	14.0
3	12.0	8.0	13.0	11.6	11.0	22.0	30.0	30.3	30.5	20.0	14.0	10.0
4	7.0	5.0	13.5	16.2	19.0	18.7	34.0	29.0	29.0	26.0	14.0	12.0
5	5.0	6.0	16.0	11.1	20.0	14.0	31.0	31.5	27.0	29.0	15.0	12.0
6	7.0	4.0	10.0	9.0	13.0	18.2	26.5	34.0	28.0	29.0	15.0	13.5
7	8.0	6.0	14.5	6.5	16.0	20.0	25.0	32.0	30.0	27.0	19.0	15.0
8	10.0	6.0	14.3	5.0	21.0	24.0	28.0	34.0	29.5	27.0	16.0	13.0
9	9.0	0.0	14.8	7.0	22.2	28.0	28.0	30.0	28.0	24.0	16.5	9.0
10	10.4	-2.0	15.7	8.2	27.0	28.0	32.0	30.5	28.0	23.0	14.0	9.0
11	14.0	4.0	15.0	11.0	28.7	20.0	33.0	30.0	27.0	22.0	15.0	13.5
12	9.5	6.0	9.0	7.0	29.0	22.5	29.0	26.5	21.0	20.0	14.0	13.0
13	11.0	2.5	12.5	11.0	23.5	25.0	28.0	31.0	26.0	15.0	15.0	7.5
14	13.5	5.2	16.0	15.0	24.0	28.0	27.0	33.0	24.0	14.0	16.0	10.5
15	10.0	10.0	17.2	12.0	23.5	26.0	30.0	30.0	23.0	16.5	14.2	12.0
16	8.0	11.5	12.0	16.0	21.5	26.5	32.0	32.5	21.5	16.0	15.2	11.0
17	8.0	12.0	13.0	12.5	26.5	25.0	33.0	28.0	26.0	17.5	14.0	10.0
18	11.5	11.0	13.0	13.0	26.0	31.0	30.0	32.0	22.0	18.3	13.0	13.0
19	17.0	6.0	12.8	12.0	24.0	29.0	26.5	25.0	26.0	18.0	14.0	11.0
20	11.6	9.0	17.0	13.0	22.0	25.0	28.0	28.5	28.0	19.0	13.0	9.0
21	11.0	4.0	12.0	15.5	20.0	28.0	32.5	31.5	27.0	18.0	10.0	8.0
22	10.0	12.0	13.5	11.0	31.0	30.0	30.0	29.0	27.5	21.0	14.0	6.0
23	14.0	14.0	14.5	18.0	28.0	28.0	29.0	24.0	27.0	15.0	10.0	3.0
24	8.0	12.0	18.0	18.0	24.0	32.0	26.7	23.0	23.5	16.0	11.2	4.0
25	5.5	13.0	11.0	14.0	31.2	32.0	30.0	29.0	18.0	18.0	16.5	12.0
26	5.0	5.0	12.0	15.0	28.0	30.0	30.3	30.0	20.0	14.0	14.1	14.0
27	8.0	2.5	18.0	15.0	23.6	35.5	34.0	19.5	21.0	16.0	11.4	10.0
28	3.0	4.0	14.0	11.5	21.2	34.0	34.0	22.7	23.5	18.0	15.0	9.0
29	6.0		15.0	13.7	18.0	35.0	36.0	21.5	25.0	19.0	6.0	12.0
30	3.5		14.0	19.0	19.0	25.0	35.0	24.0	26.0	14.0	14.0	15.0
31	6.0		20.0		20.0		30.2	26.0		17.0		14.0

TABLEAU F11 - TEMPERATURES MINIMALES OBSERVEES (°C) A PEZENES LES MINES

ANNEE 1986

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.0	1.0	2.5	5.2	6.0	11.0	17.0	19.0	8.0	12.0	3.0	-2.0
2	4.5	-2.0	6.0	3.2	6.0	9.0	15.0	17.0	8.5	12.0	8.0	-3.2
3	3.0	1.0	6.0	10.0	7.5	15.0	16.0	15.0	10.0	15.0	5.0	-3.0
4	5.5	0.5	0.5	0.0	4.0	15.0	18.0	21.0	15.0	15.0	6.0	6.5
5	-4.0	3.0	1.0	7.0	7.0	10.5	16.0	14.0	7.5	12.0	3.0	9.0
6	2.0	1.0	5.0	5.5	12.3	6.0	21.0	10.0	8.0	12.0	4.0	8.0
7	1.0	-2.0	1.5	4.0	6.0	9.5	17.0	17.0	17.0	13.0	6.0	6.5
8	4.0	-4.0	-1.0	2.8	6.0	7.0	13.0	19.0	11.0	11.0	-1.0	6.0
9	5.0	-5.0	-1.0	3.0	8.5	9.0	15.0	17.0	15.0	9.0	-1.0	8.0
10	5.0	-7.7	-1.6	3.5	7.8	7.8	12.0	21.0	10.5	12.0	4.0	6.0
11	8.0	-7.0	2.0	0.5	9.0	15.5	16.0	16.0	9.0	12.0	11.5	-1.0
12	6.0	-5.0	4.5	1.0	11.0	13.0	16.5	15.0	19.0	15.0	11.0	-1.0
13	8.0	-7.0	-2.0	3.5	12.0	13.0	18.0	10.5	15.0	14.0	11.0	-2.0
14	9.0	-2.0	2.0	2.0	12.5	12.5	18.0	12.0	19.0	13.0	13.0	5.0
15	8.0	-1.0	0.0	8.0	11.0	15.5	13.0	13.0	20.0	13.0	14.0	1.0
16	5.0	3.0	1.0	7.0	10.0	12.0	11.0	17.5	20.0	13.0	14.0	6.0
17	3.5	3.0	7.0	5.7	15.0	15.0	12.0	21.0	18.5	11.5	13.0	8.0
18	6.0	2.0	8.5	5.5	13.0	15.5	21.0	21.5	14.0	11.0	6.5	7.0
19	2.0	3.0	8.0	5.0	12.5	13.0	16.7	16.0	14.0	11.0	3.0	8.5
20	6.5	0.0	1.6	5.5	13.0	17.0	18.0	11.5	14.0	11.5	2.0	5.0
21	-1.3	-4.2	6.5	6.5	13.5	12.0	14.0	10.0	14.0	12.0	2.0	4.0
22	4.0	0.5	5.7	8.0	10.0	13.0	14.0	13.0	12.0	15.5	5.0	3.0
23	5.0	3.0	8.5	4.0	12.0	19.0	18.0	15.0	10.0	11.5	8.0	-1.0
24	3.5	6.0	10.0	6.0	17.0	12.5	16.0	15.0	16.0	8.5	5.0	1.0
25	2.0	2.0	5.2	6.0	12.0	12.0	12.0	10.0	15.0	8.0	5.5	-1.0
26	-3.0	-1.5	4.0	6.0	14.0	14.0	18.0	15.0	14.0	10.0	2.0	1.5
27	-4.0	1.0	6.0	8.0	16.0	12.0	18.0	15.0	14.0	6.2	3.6	7.0
28	0.5	0.0	3.5	8.5	13.0	15.5	16.0	13.0	11.0	9.0	-2.0	5.0
29	0.0		0.0	9.5	11.5	15.0	15.0	8.0	9.0	10.5	-2.0	7.0
30	-0.5		7.0	9.5	9.0	18.0	18.0	7.0	7.0	6.0	0.0	0.0
31	1.5		7.5		9.0		18.0	6.5		7.5		3.0

TABLEAU F12 - TEMPERATURES MINIMALES OBSERVEES (°C) A VAILHAN

ANNEE 1986

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.0	1.0	2.5	5.2	6.0	11.0	17.0	19.0	8.0	12.0	3.0	-2.0
2	4.5	-2.0	6.0	3.2	6.0	9.0	15.0	17.0	8.5	12.0	8.0	-3.2
3	3.0	1.0	6.0	10.0	7.5	15.0	16.0	15.0	10.0	15.0	5.0	-3.0
4	5.5	0.5	0.5	0.0	4.0	15.0	18.0	21.0	15.0	15.0	6.0	6.5
5	-4.0	3.0	1.0	7.0	7.0	10.5	16.0	14.0	7.5	12.0	3.0	9.0
6	2.0	1.0	5.0	5.5	12.3	6.0	21.0	10.0	8.0	12.0	4.0	8.0
7	1.0	-2.0	1.5	4.0	6.0	9.5	17.0	17.0	17.0	13.0	6.0	6.5
8	4.0	-4.0	-1.0	2.8	6.0	7.0	13.0	19.0	11.0	11.0	-1.0	6.0
9	5.0	-5.0	-1.0	3.0	8.5	9.0	15.0	17.0	15.0	9.0	-1.0	8.0
10	5.0	-7.7	-1.6	3.5	7.8	7.8	12.0	21.0	10.5	12.0	4.0	6.0
11	8.0	-7.0	2.0	0.5	9.0	15.5	16.0	16.0	9.0	12.0	11.5	-1.0
12	6.0	-5.0	4.5	1.0	11.0	13.0	16.5	15.0	19.0	15.0	11.0	-1.0
13	8.0	-7.0	-2.0	3.5	12.0	13.0	18.0	10.5	15.0	14.0	11.0	-2.0
14	9.0	-2.0	2.0	2.0	12.5	12.5	18.0	12.0	19.0	13.0	13.0	5.0
15	8.0	-1.0	0.0	8.0	11.0	15.5	13.0	13.0	20.0	13.0	14.0	1.0
16	5.0	3.0	1.0	7.0	10.0	12.0	11.0	17.5	20.0	13.0	14.0	6.0
17	3.5	3.0	7.0	5.7	15.0	15.0	12.0	21.0	18.5	11.5	13.0	8.0
18	6.0	2.0	8.5	5.5	13.0	15.5	21.0	21.5	14.0	11.0	6.5	7.0
19	2.0	3.0	8.0	5.0	12.5	13.0	16.7	16.0	14.0	11.0	3.0	8.5
20	6.5	0.0	1.6	5.5	13.0	17.0	18.0	11.5	14.0	11.5	2.0	5.0
21	-1.3	-4.2	6.5	6.5	13.5	12.0	14.0	10.0	14.0	12.0	2.0	4.0
22	4.0	0.5	5.7	8.0	10.0	13.0	14.0	13.0	12.0	15.5	5.0	3.0
23	5.0	3.0	8.5	4.0	12.0	19.0	18.0	15.0	10.0	11.5	8.0	-1.0
24	3.5	6.0	10.0	6.0	17.0	12.5	16.0	15.0	16.0	8.5	5.0	1.0
25	2.0	2.0	5.2	6.0	12.0	12.0	12.0	10.0	15.0	8.0	5.5	-1.0
26	-3.0	-1.5	4.0	6.0	14.0	14.0	18.0	15.0	14.0	10.0	2.0	1.5
27	-4.0	1.0	6.0	8.0	16.0	12.0	18.0	15.0	14.0	6.2	3.6	7.0
28	0.5	0.0	3.5	8.5	13.0	15.5	16.0	13.0	11.0	9.0	-2.0	5.0
29	0.0		0.0	9.5	11.5	15.0	15.0	8.0	9.0	10.5	-2.0	7.0
30	-0.5		7.0	9.5	9.0	18.0	18.0	7.0	7.0	6.0	0.0	0.0
31	1.5		7.5		9.0		18.0	6.5		7.5		3.0

TABLEAU F13 - PRECIPITATIONS OBSERVEES (mm) A VAILHAN

ANNEE 1985

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1			10.0									
2						1.5						
3			1.0	48.0	2.5				0.3		2.8	
4						4.0	5.0			8.0		
5					20.0			16.0		1.8	2.5	11.5
6		1.5			1.0	15.0						
7					12.5							
8				2.0								1.5
9		1.0		6.0								1.5
10		9.0										
11				2.5	6.5							
12		6.5		0.5							10.0	
13	2.5	8.5				3.0						
14		0.8		2.3								
15												
16		4.5	2.5		2.3							
17		30.0			2.5							
18		3.0			8.5							
19	1.5					6.0						
20					2.5							
21			4.5	10.0		1.0						2.0
22												
23	2.0		1.5					2.6				
24								7.0				9.0
25	2.5		2.0					2.6		70.0		
26	1.0									28.0		
27			1.0		2.7							
28												
29												
30							2.5			2.0		
31												

TABLEAU F14 - PRECIPITATIONS OBSERVEES (°C) A PEZENES LES MINES

ANNEE 1985

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1			9.6									
2			2.4			1.0				1.8		
3					1.1						2.0	0.5
4		0.5		1.5		2.8	16.3			13.2		0.5
5				34.9	28.9	0.5		12.1		1.5	5.1	31.2
6					1.5	21.8						
7		1.0		1.4	20.6	1.0						
8		7.8		2.0								1.8
9		0.5		2.0								
10		7.7										
11		8.7		3.0	7.2			0.9			0.5	
12	3.5	0.5		0.7							10.9	
13					1.9	2.4						
14		4.5		3.4	1.0							
15		31.5										
16		4.2	1.0		2.2	1.0						
17			3.0		11.6							
18	2.0				1.2	0.5				0.2		
19			1.0			4.6						
20			4.1		3.6							
21	3.4		3.8	15.8		2.5				0.1		
22				0.7								3.1
23	9.3					0.5						
24								8.5		1.8		15.4
25	2.5			1.5				1.1		83.8		0.5
26	1.0									8.3		
27			4.2		4.3							
28	1.0	2.2										
29	0.5											
30							8.0					
31										0.1		

TABLEAU F15 - PRECIPITATIONS OBSERVEES (mm) A VAILHAN

ANNEE 1986

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1		4.0	2.0									
2			3.5							16.0		
3		43.0		3.0	3.5	1.0						
4		16.0										
5	2.5	2.0										
6			2.5	30.0	3.5							
7	1.5			2.5								
8				7.0						1.0		13.0
9												
10												
11								13.0			2.0	
12			2.0						8.0	28.0	11.0	
13										135.0	7.5	8.0
14		75.0		1.0	10.5					135.0	2.0	
15										7.0	2.0	
16		13.0		2.5		1.5			1.0		6.0	
17		5.0		6.5		3.0			8.0			
18			22.0					14.5	3.0			
19									3.5			1.5
20												
21		10.0									5.0	
22												
23									17.5			
24	3.0		2.5	3.0					1.5			
25				4.0					0.5		1.5	
26		32.0										
27	1.5	45.0										
28	28.0	2.0										
29	20.0											
30	58.0											
31	5.5											

TABLEAU F16 - PRECIPITATIONS OBSERVEES (mm) A PEZENES LES MINES

ANNEE 1986

JOUR/MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	5.6		23.6									
2	0.5	6.1	1.8	2.3						7.6		
3		46.8		5.2	2.5							
4		11.9										
5	4.5					1.9						
6			2.0	32.4	6.1							
7	1.5			3.2	1.0							1.5
8	0.5											10.6
9									0.5			
10												
11	0.5		3.0		2.1			14.6			2.8	
12	0.5								19.0	34.5	12.7	
13									1.6	102.1	7.3	9.8
14		70.1		0.5	11.0					95.4		
15	0.5			8.8					1.6	9.1	9.2	
16	2.0	16.4		1.5		1.5			22.4	2.2	9.0	
17		0.7		2.0					15.9			
18			6.7	0.5				30.0	5.9			
19												3.0
20												
21		10.6								1.5	2.6	
22	1.0					0.5						
23	1.5								15.0		0.6	
24				4.0					0.9			
25				6.0					1.0			2.5
26		29.1										
27	0.5	35.3			10.3			0.5				
28	39.5	14.0										
29	16.1										1.7	
30	21.8						0.5					
31	5.3											

LISTE DES FIGURES

Chapitre 2 - ESTIMATION DE LA TRANSPIRATION DES VEGETAUX

figure 2.1 - Schéma de principe de la technique de Granier.. 7
figure 2.2 - Schéma de l'écartement des arbres du Camp Redon..... 24
figure 2.3 - Comportement de l'activité stomatique..... 24

Chapitre 3 - LA MODELISATION DE LA TRANSPIRATION

figure 3.1 - Evolution du teneur en eau sur le Camp Redon entre 20/02 au 12/03/1979..... 34
figure 3.2 - Courbe du potentiel matriciel et du teneur en eau sur le Camp Redon..... 35
figure 3.3 - Evolution comparée de la transpiration observée et simulée d'un chêne vert sur la Camp Redon.. 36
figure 3.4 - Transpiration comparée calculée/simulée-période totale, juillet/1989, mars/1990 et avril/1990. 39
figure 3.5 - Transpiration comparée calculée/simulée mai/1990 à septembre/1990..... 40

Chapitre 4 - LA MODELISATION DE LA TRANSPIRATION

figure 4.1 - Influence de la pente sur l'angle d'incidence. 46
figure 4.2 - Effet de l'orientation d'une surface sur faisceau lumineux..... 48
figure 4.3 - Influence de la pente et de l'orientation..... 48
figure 4.4 - Influence du relief sur l'incidence des rayons solaires..... 48
figure 4.5 - Expositions/orientations et angle horaire..... 50
figure 4.6 - Zone de la bassin de la Peyne..... 52
figure 4.7 - Bassin versant de la Peyne..... 53
figure 4.8 - Trois découpage du bassin versant de la Peyne. 54
figure 4.9 - Débits mensuels comparés observés/calculés bassin plan horizontal - 1985/1986..... 58

figure 4.10 - Débits mensuels comparés selon trois découpages et débits observés..... 59
figure 4.11 - ETP, transpiration et évaporation du sol comparées selon trois découpages et la bassin plan horizontal (1986/1986)..... 60
figure 4.12 - Débits mensuels comparés selon 1° découpage (bassin-1) plan incliné et observés..... 64
figure 4.13 - Débits mensuels comparés selon 2° découpage (bassin-1) plan incliné et observés..... 66

ANNEXE A

figure A1 - Schéma de principe du bilan thermique..... 82

ANNEXE B

figure B1 - Faisceau du rayonnement solaire arrivant sur une surface..... 85
figure B2 - Hauteur du solaire et angle d'incidence..... 85
figure B3 - Hauteur du solaire..... 86
figure B4 - Angle horaire..... 86
figure B5 - Solstice d'été et d'hiver..... 88
figure B6 - Solstice d'été et d'hiver..... 88

ANNEXE C

figure C1 - Humidité relative de l'air maximale journalière et moyenne mobile de 7 jours période 30/06/89 à 10/04/90..... 91
figure C2 - Humidité relative de l'air maximale journalière 1° période..... 92
figure C3 - Humidité relative de l'air maximale journalière 2° période..... 93
figure C4 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air maximale et minimale (1989/1990)..... 94

figure C5 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air maximale en été/1989, automne/1989 et hiver/1990..... 95
figure C6 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air maximale au printemps/1990, été/1989 et automne/1990..... 96
figure C7 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air minimale en été/1989, automne/1989 et hiver/1990..... 97
figure C8 - Distribution de fréquence de l'humidité relative de l'air minimale au printemps/1990, été/1989 et automne/1990..... 98
figure C9 - Distribution de fréquence de la température maximale et minimale (1989/1990)..... 99
figure C10 - Distribution de fréquence comparée des valeurs minimales et maximales de la température et de l'humidité relative de l'air (1989/1990). 100
figure C11 - Températures observées et calculées dans les mois de juillet/1989 à septembre/1989... 101
figure C12 - Températures observées et calculées dans les mois de octobre/1989 à décembre/1989.... 102
figure C13 - Températures observées et calculées dans les mois de janvier/1990 à avril/1990..... 103
figure C14 - Températures observées et calculées dans les mois de mai/1990 à août/1990..... 104
figure C15 - Températures observées et calculées dans les mois de septembre/1990 à décembre/1990.. 105
figure C16 - Rayonnement global 1989 à 1990 INRA STFECE/CAMP REDON..... 106
figure C17 - Distribution de fréquence comparée du flux de sève minimale/maximale et en rapport à l'humidité minimale/maximale et la température minimale/maximale (1989/1990).... 107
figure C18 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 27/02/90..... 108

figure C19 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 05/03/90..... 109
figure C20 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 18/04/90..... 110
figure C21 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 03/07/90..... 111
figure C22 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 04/10/90..... 112
figure C23 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP - 06/10/90..... 113
figure C24 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP..... 114
figure C25 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP..... 115
figure C26 - Courbe d'évolution journalière du flux de sève rayonnement global, humidité relative de l'air, température et ETP..... 116
figure C27 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière juillet/89 - septembre/89..... 117
figure C28 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière octobre/89 - novembre/89..... 118
figure C29 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière décembre/89.... 119
figure C30 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière janvier/90 - févier/90..... 120
figure C31 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière mars/90 - avril/90..... 121

figure C32 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière mai/90 - juin/90..... 122
figure C33 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière juillet/90 à août/90..... 123
figure C34 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière septembre/90 à octobre/90..... 124
figure C35 - Relation entre la transpiration et rayonnement global au niveau journalière novembre/90 à décembre/90..... 125
figure C36 - Evolution de l'évapotranspiration potentielle journalière accumulée et la transpiration journalière accumulée..... 126
figure C37 - Evolution de l'évapotranspiration potentielle journalière accumulée et la transpiration journalière accumulée..... 127

ANNEXE E

figure E1 - Moyenne mobile de 7 jours du Rayonnement global pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3).. 148
figure E2 - Moyenne mobile de 7 jours de l'ETP pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3).. 149
figure E3 - Moyenne mobile de 7 jours de la Transpiration pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3).. 150
figure E4 - Moyenne mobile de 7 jours de l'Evaporation du sol pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3).. 151
figure E5 - Moyenne mobile de 7 jours du Stock d'eau pour le bassin horizontal et les trois découpages (bassin-1, bassin-2 et bassin-3).. 152

figure E6 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'ETP pour les sous-bassin N° 1 rive droite et N° 2 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986) 153
figure E7 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'ETP pour les sous-bassin N° 9 rive gauche et N° 13 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986) 154
figure E8 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'évaporation du sol pour les sous-bassin N° 1 rive droite et N° 2 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986). 155
figure E9 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée d'évaporation du sol pour les sous-bassin N° 9 rive gauche et N° 13 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal (1985/1986). 156
figure E10 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée du stock d'eau pour les sous-bassin N° 1 rive droite et N° 2 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal(1985/1986). 157
figure E11 - Moyenne mobile de 7 jours de la comparée du stock d'eau pour les sous-bassin N° 9 rive gauche et N° 13 rive gauche par rapport le bassin plan horizontal(1985/1986). 158
figure E12 - ETP comparée selon le premier découpage (bassin -1) et le bassin plan incliné (1985/1986) 159
figure E13 - Transpiration comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin plan incliné (1985/1986) 160
figure E14 - Evaporation du sol comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin plan incliné (1985/1986) 161
figure E15 - ETP comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin deux plans inclinés (1985/1986) 162

figure E16 - Transpiration comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin deux plans inclinés (1985/1986) 163
figure E17 - Evaporation du sol comparée selon le premier découpage (bassin-1) et le bassin deux plans inclinés (1985/1986) 164

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 2 - ESTIMATION DE LA TRANSPIRATION DES VEGETAUX

Tableau 2.1 - Précipitation totale mensuelle et annuelle sur la Camp Redon (CNRS) et l'ENSA Montpellier... 15
Tableau 2.2 - Transpiration moyenne journalière (l/jour) calculée et obtenu par Ogula (1987)..... 22

Chapitre 3 - LA MODELISATION DE LA TRANSPIRATION

Tableau 3.1 - Valeurs mensuelles simulée et calculée chêne vert..... 41

Tableau D1 - Rayonnemnet global observé-Montpellier(1989). 129
Tableau D2 - Rayonnemnet global observé-Montpellier(1990). 130
Tableau D3 - Précipitations observés-Camp Redon (1989).... 131
Tableau D4 - Précipitations observés-Camp Redon (1990).... 132
Tableau D5 - Températures Minimales observées Camp Redon (1989)..... 133
Tableau D6 - Températures Maximales observées Camp Redon (1989)..... 134
Tableau D7 - Températures Minimales observées Camp Redon (1990)..... 135
Tableau D8 - Températures Minimales observés Camp Redon (1990)..... 136

ANNEXE E

Tableau E1 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins premier découpage: bassin-1..... 139
Tableau E2 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins seconde découpage: bassin-2..... 140
Tableau E3 - Découpage de la Peyne dans sous-bassins troisième découpage: bassin-3..... 142
Tableau E4 - Simulation sous-bassin rive 1 droite..... 144

Tableau E5 - Simulation sous-bassin rive 2 gauche..... 145
Tableau E6 - Simulation sous-bassin rive 9 gauche..... 146
Tableau E7 - Simulation sous-bassin rive 13 gauche..... 147

ANNEXE F

Tableau F1 - Debit mesures a la station de Vailhan (1985). 167
Tableau F2 - Debit mesures a la station de Vailhan (1986). 168
Tableau F3 - Rayonnement global observé à Montpellier ENSAM (1985)..... 169
Tableau F4 - Rayonnement global observé à Frejorgues(1986) 170
Tableau F5 - Température maximales observées à Pezenes les Mines (1985)..... 171
Tableau F6 - Température maximales observées à Vailhan (1985)..... 172
Tableau F7 - Température minimales observées à Pezenes les Mines (1985)..... 173
Tableau F8 - Température minimales observées à Vailhan (1986)..... 174
Tableau F9 - Température maximales observées à Pezenes les Mines (1986)..... 175
Tableau F10 - Température maximales observées à Vailhan (1986)..... 176
Tableau F11 - Température minimales observées à Pezenes les Mines (1986)..... 177
Tableau F12 - Température minimales observées à Vailhan (1986)..... 178
Tableau F13 - Précipitations observées à Vailhan (1985)... 179
Tableau F14 - Précipitations observées à Pezenes les Mines (1985)..... 180
Tableau F15 - Précipitations observées à Vailhan (1986)... 181
Tableau F16 - Précipitations observées à Pezenes les Mines (1986)..... 182