

UNIVERSITE de PARIS-SUD

CENTRE d' ORSAY

**THESE**

Présentée  
pour obtenir

Le titre de Docteur en Sciences

par

Cécile LOUMAGNE

Sujet:

**PRISE EN COMPTE D'UN INDICE DE  
L'ETAT HYDRIQUE DU SOL DANS LA  
MODELISATION PLUIE - DEBIT**

Soutenue le

**17 octobre 1988**

**ANNEXES**

LISTE DES ANNEXES

	Pages
<u>Annexe I : Cadre physique</u>	1
I.1 - bassin versant de l'ORGEVAL	3
I.2 - parcelle expérimentale de BOISSY LE CHATEL	9
<u>Annexe II : Description des appareils de mesure, acquisition et traitement des données</u>	13
II.1 - L'humidimètre SOLO 40	15
a - Description de l'appareil de mesure	17
b - Programmation de la sonde SOLO 40	18
c - Traitement des données	18
II.2 - La chaîne de mesures tensiométriques	21
a - Description de l'appareil de mesure	23
b - Programmation de la chaîne de mesure	24
c - Traitement des données	24
<u>Annexe III - Programmes réalisés au cours de l'étude</u>	27
III.1 - programmes de traitement des données	29
a - programme de transfert : JMB.BAS	30
b - programme créant le fichier de données SOLO 40 : TRS.FOR	32
c - programmes créant les fichiers de comptage	34
c1 - à une profondeur donnée : TRH.FOR	
c2 - en cumulant les profondeurs : TRC.FOR	
d - programmes dessinant les chroniques de variation des humidités et des potentiels : CH.FOR	36
e - programmes de traitement des données tensiométriques	41
e1 - stockage des données lues par le lecteur de cassette : TRANS1.BAS	
e2 - création du fichier des données tensiométriques : TTRANS.FOR	
III.2 - programmes de simulation et de prévision des débits	43
a - enchaînements des programmes et sous-programmes	44
b - programme de lecture des données et de conversion pas de temps variable - pas de temps fixe	45
c - programme qui calcule le débit à partir d'un modèle et qui optimise les paramètres par la méthode de ROSEN BROCK	53
c1 - sous-programme d'exploration d'une grille de recherche	
d - programme de dessin des chroniques : de pluie, de débit (calculé et observé), des réserves et des potentiels hydriques	65
e - programmation du modèle de base A avec le module de MOREL-SEYTOUX	73
e1 - sous-programme de calcul du débit avec deux	

réervoirs (transfert et production)	
e2 - sous-programme de modélisation de l'infiltration	
f - programmes utilisés en prévision	77
f1 - sous-programmes GR3 et GR4 décalant de 2 $\Delta t$ le débit calculé Q	
f2 - rappels sur le filtre de KALMAN	
f3 - sous-programme de correction des débits	
g - sous-programme GR3' combinant les données d'évaporation et d'humidité pour réévaluer le niveau du réservoir S	87
<u>Annexe IV - Dessins des chroniques de variation des données</u>	89
IV.1 - chroniques des lames d'eau évaporées (10/85-10/87)	91
a - avec $E = (t/6)^{1.4}$	
b - avec ETP de PENMAN	
IV.2 - chroniques d'humidité (10/85-10/87)	93
a - à différentes profondeurs	94
b - en cumulant les profondeurs	99
IV.3 - chroniques de potentiel hydrique (5/86-5/88)	103
a - à différentes profondeurs	105
b - pour les références	105
c - exemples de profils de potentiel incohérents	105
IV.4 - chroniques des différences de potentiel à différentes profondeurs (5/86-5/88)	111
<u>Annexe V - Traitement des données</u>	115
V.1 - équation de PENMAN	121
V.2 - exemple de sortie imprimante de la sonde SOLO 40	123
V.3 - résultats de la régression pour la transposition d'étalonnage NEA-SOLO 40	125
V.4 - profils hydriques avec l'humidité volumique observée et calculée	127
<u>Annexe VI - Calage des paramètres de la fonction de transfert et de production</u>	131
VI.1 - étude du déphasage à adopter pour la fonction de transfert sur une période de simulation de 6 mois	131
a - avec 2 réservoirs quadratiques	
b - avec 2 réservoirs : 1 quadratique et 1 linéaire	
c - avec 1 réservoir quadratique sans décalage	
d - avec 1 réservoir quadratique décalé de 2 pas de temps	
e - avec 1 réservoir quadratique décalé de 3 pas de temps	
VI.2 - étude du domaine recherche des paramètres	131
a - pour la réserve hydrique à 55 cm = H55	
b - pour la réserve hydrologique = S	
c - pour le potentiel hydrique à 55 cm = P55	
d - pour le "gradient" d'humidité = H15/H55	
e - pour la différence de potentiel entre 25 et 55 cm = P25-55	

## VI.3 - méthode d'optimisation de ROSEN BROCK

<b>Annexe VII - Dessins des chroniques de pluie et de débit (observe et calcule)</b>	
<b>VII.1 - simulation des débits avec le modèle A sur une période de 2 ans (10/85-10/87)</b>	147
a - à partir des données d'ETP PENMAN	149
b - à partir des données de températures journalières	
<b>VII.2 - simulation des débits avec le modèle B sur une période de 2 ans (10/85-10/87)</b>	153
a - pour les variations d'humidité à différentes profondeurs (15-85 cm)	154
b - pour les variations d'humidité en cumulant les valeurs de plusieurs profondeurs	163
c - pour les variations du "gradient" d'humidité	169
<b>VII.3 - simulation des débits avec le modèle B sur une période de 2 ans (5/86-5/88)</b>	171
a - pour les variations d'humidité à 55 cm de profondeur	172
b - pour les variations de potentiel hydrique à différentes profondeurs (25-195 cm)	175
c - pour les variations des différences de potentiel à différentes profondeurs	183
<b>VII.4 - simulation des débits avec le modèle B en introdui- sant plusieurs variables</b>	193
a - variations d'humidité à 55 cm de profondeur asso- ciées à celles du "gradient" d'humidité (10/85-10/87)	194
b - variations d'humidité à 55 cm de profondeur asso- ciées à celles à 15 cm de profondeur (10/85-10/87)	197
c - variations d'humidité à 55 cm de profondeur asso- ciées à celles du potentiel hydrique aux différen- tes profondeurs (5/86-5/88)	199
d - variations d'humidité à 55 cm de profondeur asso- ciées aux essais de pondération du potentiel à 55 cm (5/86-5/88)	203
e - variations d'humidité à 55 cm de profondeur asso- ciées à celles des différences de potentiel aux différentes profondeurs (5/86-5/88)	207
<b>VII.5 - simulation avec le modèle A seul et associé au mo- dèle de MOREL-SEYTOUX</b>	211
a - de l'étiage de juin 87	
b - de la crue de septembre 87	
<b>VII.6 - prévision avec les modèles A et B avec correction des erreurs</b>	215
a - des crues de mars-avril 86	
b - de la crue de mai 86	
c - de la crue de février 87	
d - de la crue d'avril 87	

**A N N E X E I**

**Cadre physique**

### I.1 - Le bassin versant de l'ORGEVAL

La présentation du bassin de l'ORGEVAL a fait l'objet de plusieurs publications (HLAVEK, 1967, CAMBON et ZUMSTEIN 1968, BAILLEUX, 1974), nous ne présenterons ici que les points les plus importants.

Le bassin de l'ORGEVAL a été équipé à partir de 1962 en vue d'étudier la génèse des crues du Grand Morin et juger de l'efficacité de réservoirs d'écrêtement des crues.

Ce bassin est subdivisé en sous-bassins emboités, afin d'étudier le rôle de la surface du bassin sur les phénomènes hydrologiques.

#### Description du bassin (fig n° 76 et n° 77)

l'ORGEVAL, affluent secondaire de la Marne se jette en rive droite dans le Grand Morin, à 2 km en amont de Coulommiers.

Son bassin situé entre 3° et 3°15' de longitude et entre 48°47' et 48°55' latitude nord, représente une superficie de 104 km2.

L'ensemble du bassin de l'ORGEVAL est constitué par 4 sous-bassins emboités :

- sous-bassin de Mélarchez : 7 km2
- sous-bassin de la Gouge : 19,6 km2
- sous-bassin des Avenelles : 24,7 km2
- sous-bassin du Theil : 45,7 km2

A l'exutoire de chaque sous-bassin, une station de jaugeage a été aménagée, dont les principales sont :

- la station de Mélarchez est située sur le ru des Avenelles, à 3,7 km de la source.
- la station du Theil est située à 1 km en amont de la confluence avec le Grand Morin et contrôle l'ensemble du bassin.

#### Hydrographie

Le ru de l'ORGEVAL est formé par la réunion de 3 ruisseaux, le ru de Rognon, le ru de Bourgogne, le ru des Avenelles.

Le ru de Rognon :

Il constitue le formateur ouest et draine un bassin de 43.38 km2 sur une longueur de 15.1 km. Il prend sa source à la cote 170 dans une région peu marquée topographiquement, comprenant de nombreux étangs.

Le ru de Bourgogne :

--

## SITUATION REGIONALE DU BASSIN D'ORGEVAL

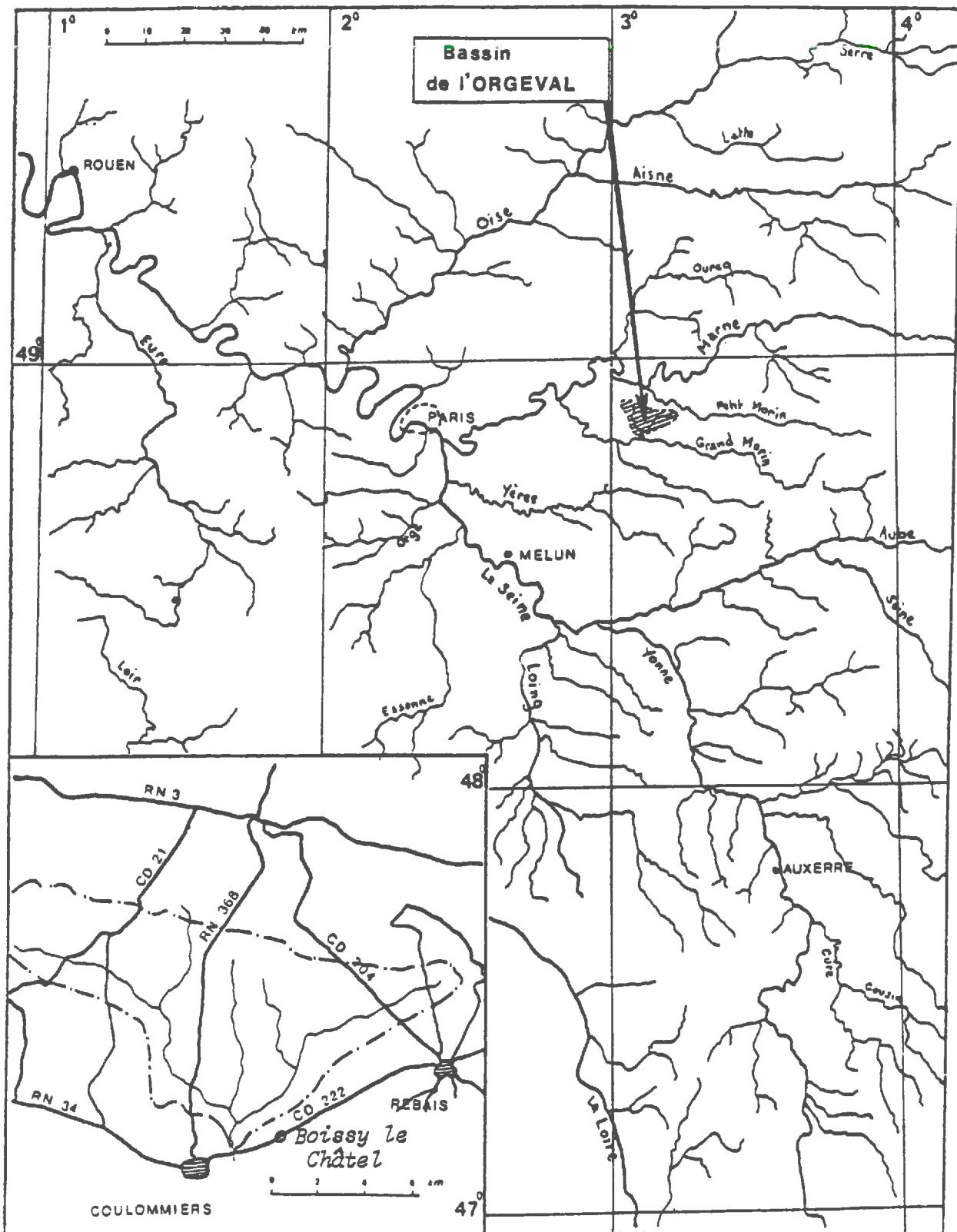
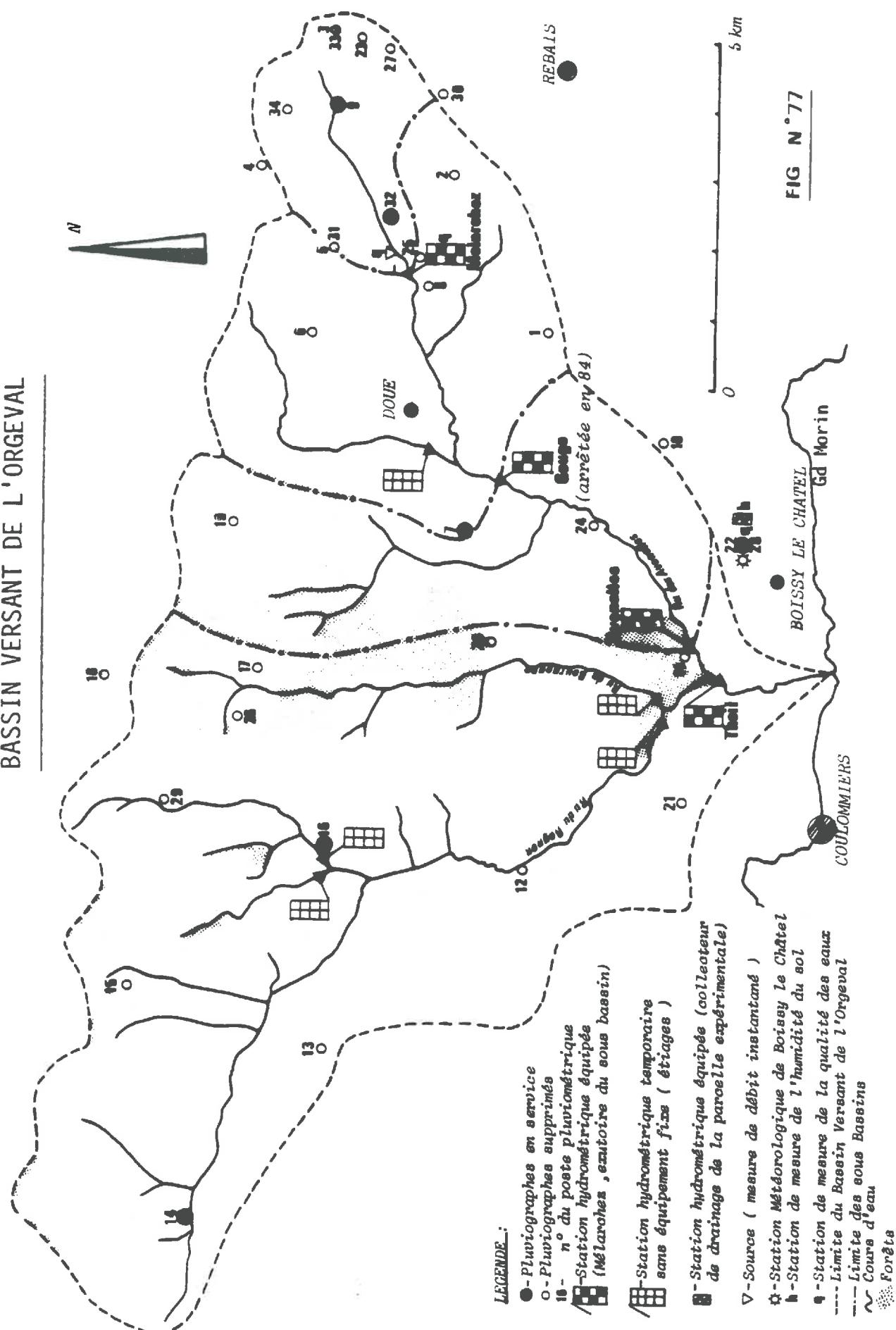


FIG N°76

BASSIN VERSANT DE L'ORGEVAL



Ce formateur central, se jette dans le ru du Rognon à 1 km en amont de la confluence de celui-ci et du ru des Avenelles. Il draine une superficie de 14 km<sup>2</sup> pour une longueur de 7.8 km.

Le ru des Avenelles :

Ce formateur est, à une longueur de 11.2 km. Il draine un bassin de 45.72 km<sup>2</sup> et prend sa source à la cote 176.

Le ru de l'ORGEVAL :

Ce ru correspond à l'émissaire. Il a une longueur de 1.7 km. Sa vallée est fréquemment inondée en hiver.

#### Hypsométrie

L'ensemble du bassin versant est constitué par un plateau peu accidenté et faiblement entaillé par des vallées. L'altitude moyenne est de 148 m, le point culminant ne dépassant pas 180 m.

Seules, les parties aval des deux formateurs principaux et la vallée du ru de l'ORGEVAL offrent quelques pentes.

#### Végétation

L'essentiel de la couverture végétale est représentée à 81% par des cultures (céréales, betteraves) ou des prairies d'élevage. Les forêts occupent 18% de la superficie totale, les zones urbaines et les routes représentent le reste de la surface, soit 1%.

Environ les 2/3 des terres cultivées sont drainées ce qui représente à peu près 55% de la surface du bassin. Ce pourcentage évolue en fonction des travaux de réaménagement des terres.

#### Géologie, pédologie, hydrogéologie

La nature géologique du sous-sol est sédimentaire d'âge tertiaire (oligocène et éocène) (fig n° 78). La formation de Brie forme l'ossature du plateau et est représentée essentiellement par des calcaires siliceux ou marneux, des argiles et des meulières. On note également la présence d'une butte témoin de faible superficie (la butte de Doue) constituée par des sables de Fontainebleau, coiffés d'une mince couche de calcaire de Beauce (Aquitainien). Dans le secteur aval, l'érosion fait apparaître sur les versants du ru des terrains plus anciens (Bartonien) : marnes supragypseuses, calcaires de Champigny, marnes infragypseuses et calcaires de St Ouen.

La majeure partie du bassin est recouverte par des limons de plateau d'origine loessique, rougeâtres ou jaunâtres (épaisseur pouvant atteindre 10 m, caractérisés par une faible perméabilité ayant entraîné la formation d'un pseudo-gley. Le sol des plateaux est de type brun lessivé, à texture limono-sableuse à limono-argileuse, présentant des caractères d'hydromorphie temporaire.

Les aquifères se développent principalement dans la formation de Brie et localement dans les sables de Fontainebleau.

CARTE GEOLOGIQUE

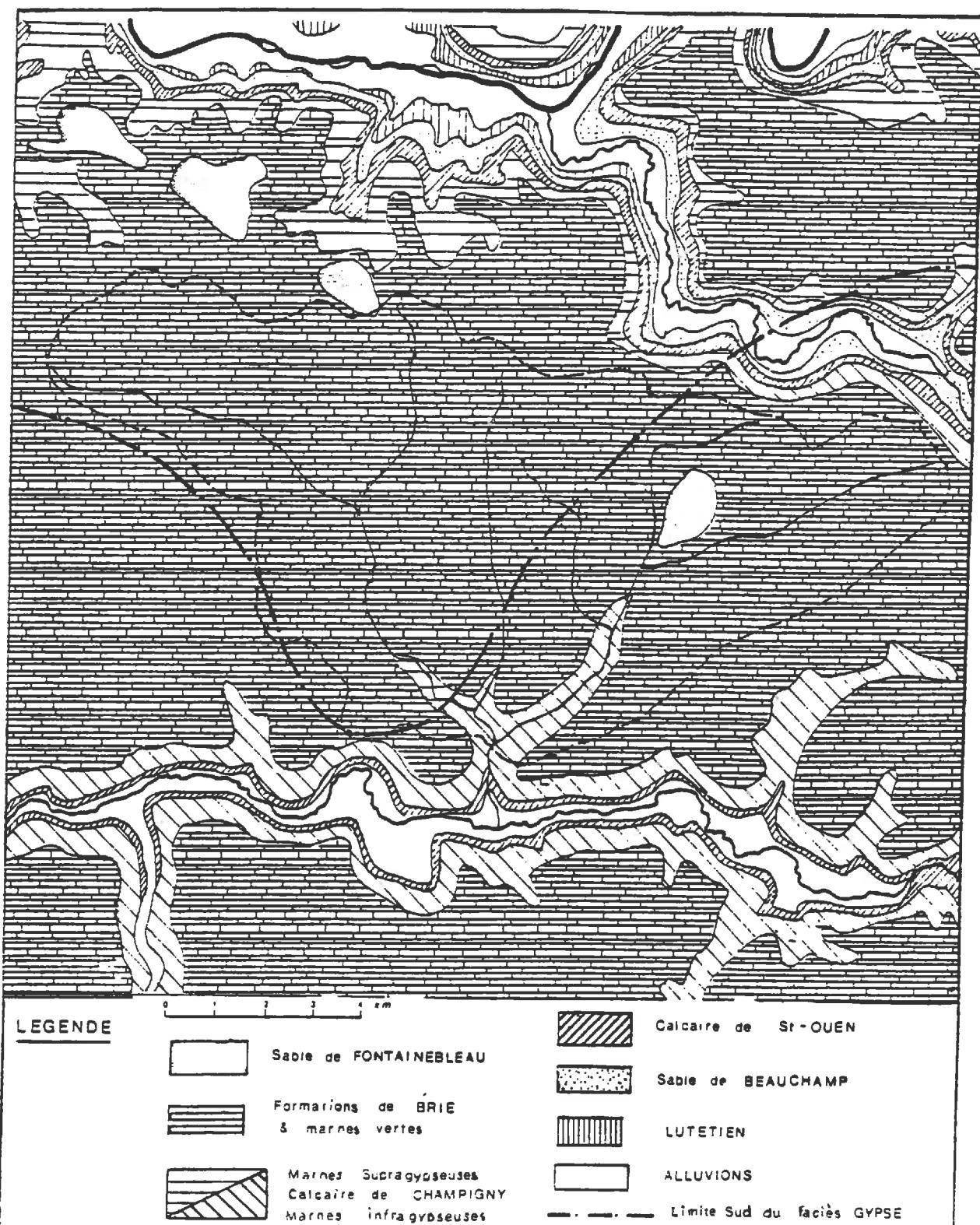


FIG N° 78

La présence de niveaux plus perméables dans les limons détermine la formation de nappes superficielles. En période humide la nappe peut atteindre temporairement la surface du sol, mais le réseau de drainage entraîne son rabattement rapide pour une bonne moitié de la superficie.

### Climat

Le climat est de type océanique tempéré. La précipitation moyenne annuelle du bassin est de 684 mm. Le mois le plus pluvieux est novembre et le moins arrosé est avril (respectivement 68.8 mm et 46.2 mm de moyenne mensuelle). Le débit moyen annuel, en lame d'eau écoulée est de 182 mm. L'écoulement le plus abondant a lieu durant les mois de janvier, février et mars avec 93 mm (ce qui représente 51% du volume annuel).

L'écoulement le plus faible se situe en période estivale (juillet-août-septembre) avec une lame d'eau de 19 mm (10% du volume annuel).

La température annuelle moyenne est de 9°7 avec un minimum en janvier et décembre (2°8) et un maximum en juillet (17°4).

### Les mesures effectuées

Actuellement sur le bassin de l'ORGEVAL il ne reste plus qu'un réseau de 7 pluviographes à ajets basculeurs, parmi les 21 postes qui ont existé jusqu'en 1985. Ils sont associés à des codeurs enregistreurs, ce qui leur donne une autonomie de 6 semaines.

Le poste n°16 qui occupe une position centrale sur le bassin nous fournit les données de pluies à pas de temps variable utilisées dans notre étude.

Les données de débit sont mesurées dans chaque station de jaugeage correspondant aux 4 sous-bassins constitutifs du bassin de l'ORGEVAL.

Nos données de débit proviennent de la station du Theil qui contrôle l'ensemble du bassin.

L'enregistrement des hauteurs d'eau se fait grâce à un limnigraphie à floteur, ce qui permet d'obtenir des débits après dépouillement sur une table à digitaliser.

## I.2 - La parcelle expérimentale de BOISSY LE CHATEL

### Description (fig n° 79 )

La parcelle est située sur la base hydrologique du CEMAGREF à 48°82' de latitude nord et 3°15' de longitude est, dans la commune de BOISSY LE CHATEL, Seine et Marne, en bordure de la départementale 222.

Cette parcelle a une forme trapézoïdale, elle se trouve à une altitude de 130 m et sa surface est de 615 m<sup>2</sup>. Le couvert végétal est composé de trèfle et de ray-grass, régulièrement tondu.

Son sol est constitué d'un limon faiblement lessivé, se situant dans la zone de contact entre le limon des plateaux de Brie et l'argile du Sannoisien, il a une porosité moyenne de 38.3% et une structure agrégative. Les limites de l'écoulement de surface sont matérialisées par une levée de terre au profil très aplati (10 à 15 cm de hauteur pour 50 cm de largeur). L'écoulement latéral est soit stoppé par un écran imperméable (fossé de 1.2 m de profondeur rempli d'argile) au WE-SE, soit négligeable parce que la limite de la parcelle se confond avec une ligne de partage des eaux.

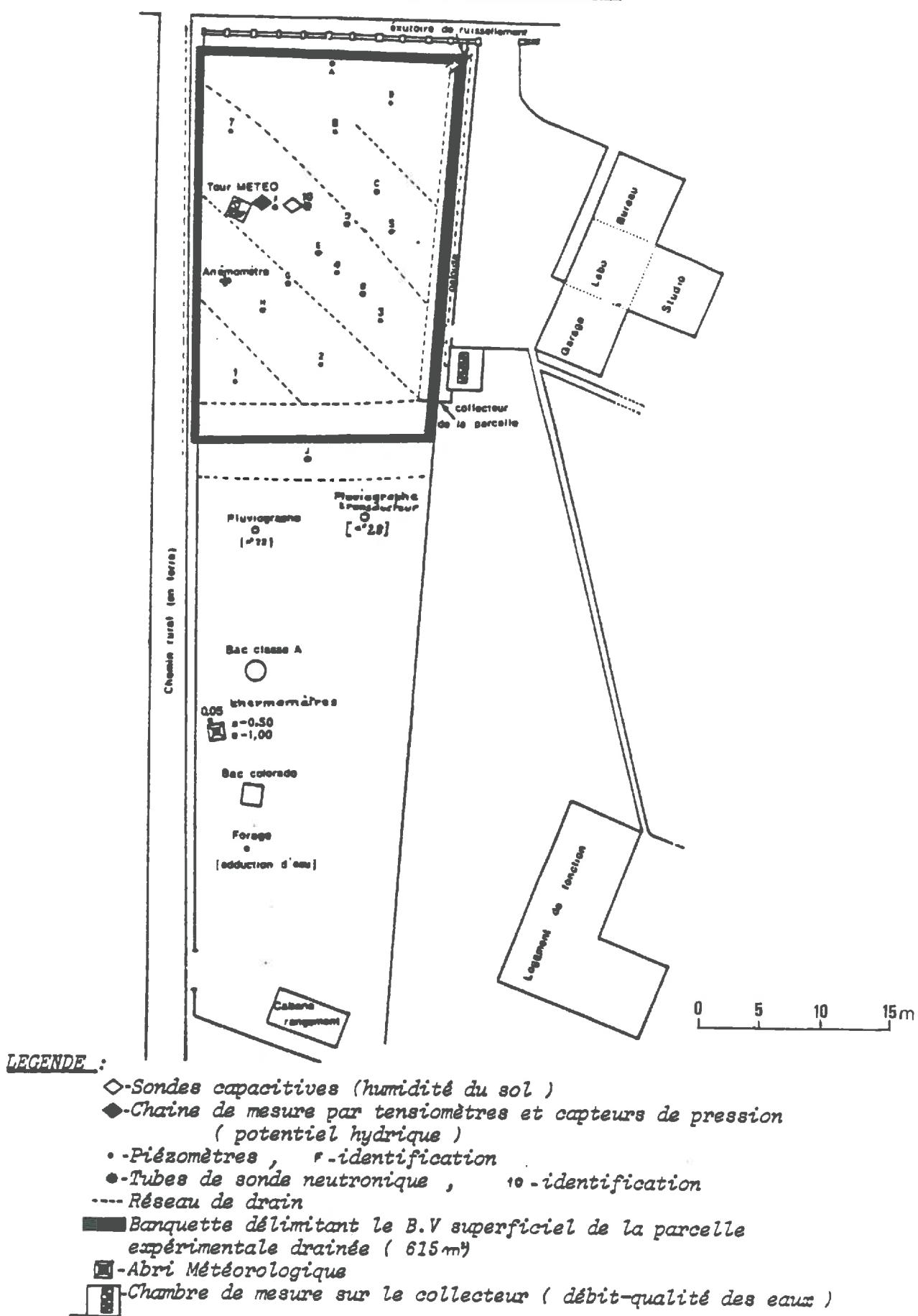
L'infiltration est récupérée par un réseau de drainage de type poterie enterrée. Les drains situés à environ 70 centimètres de profondeur recueillent une partie de l'eau infiltrée lorsque le sol est aéré et rabattent la nappe à leur niveau lorsque le sol est saturé.

### Les mesures effectuées

Parmi toutes les mesures effectuées sur la parcelle (tableau n° 30 ), nous ne citerons que celles que nous avons utilisées:

- la température est mesurée de façon journalière grâce à un thermomètre à maxima et minima placé sous abri. Le relevé est fait en dizièmes de degrés (C°). Le suivi de l'état hydrique se fait sensiblement au milieu d'un interdrain:
- la parcelle comporte 9 piézomètres de 180 cm de profondeur utile, répartis à l'intérieur de la parcelle ou immédiatement en bordure. Les données piézométriques dont nous disposons sont celles du piézomètre F et elles portent sur la période du 1/5/86 au 1/5/88.
- les mesures humidiométriques sont effectuées 2 fois par jour depuis octobre 85 sur le tube d'accès n°10 grâce à une sonde automatique.
- les mesures tensiométriques sont aussi effectuées 2 fois par jour grâce à une chaîne de mesure automatique à différentes profondeurs (25, 55, 75, 115, 135, 155 et 195 cm) depuis le 1/5/86.

### BASE HYDROLOGIQUE DE BOISSY LE CHATEL



### Equipements de mesure et données disponibles

	Appareils de mesure	Périodicité des mesures	Période d'observation	Période en banque de données
<b>Station de Melarchez</b>			62 à 70	
<b>Station de Boissy-le-Châtel</b>			71 à ....	
<b>Météorologie</b>				
• température air :				
moyenne sous abri à 2 m . . . . .	Thermographe	1 jour	62 à 84	62 à 84
mini-maxi sous abri à 2 m . . . . .	Thermomètre	1 jour	62 à ....	62 à 84
instantané sous abri à 2 m . . . . .	Thermomètre	1 jour	71 à ....	
mini à + 0,05 m . . . . .	Thermomètre	1 jour	71 à 84	71 à 84
• température sol : - 0,5 et - 1 m. . .	Thermomètres	1 jour	62 à ....	71 à 84
• évaporation :				
{ . . . . .	Bac classe A	1 jour	62 à 84	62 à 84
sous abri à 2 m . . . . .	Bac colorado	1 jour	62 à 84	62 à 84
	Evaporomètre Piche	1 jour	62 à 84	62 à 84
• pression atmosphérique . . . . .	Barographe	continu	62 à ....	62 à 84
• vent :				
{ à 2 m . . . . .	Anémomètre totalisateur	1 jour	62 à 79	62 à 79
{ à 6 m . . . . .	Anémographe direction . . . . .	continu	80 à 84	
	vitesse . . . . .	continu	80 à 84	80 à 84 (à 2 m)
• insolation 6 m . . . . .	Héliographe	continu	62 à 84	62 à 84
• humidité air à 2 m sous abri . . .	Hygrographe	continu	62 à 84	62 à 84
• pluviométrie . . . . .	Pluviographe cod. enregistreur	continu	71 à ....	71 à ....
<b>Etat hydrique du sol</b>				
• humidité 0 à - 2 m et 0 à - 3,5 m	Sonde neutronique manuelle	10 jours	72 à 80	
0 à - 3,5 m . . . . .	Sonde neutronique automatique	12 heures	85 à ....	85 à ....
0 à - 0,5 m . . . . .	Sondes capacitives + cod. enreg.	1 mn	86 à ....	86 à ....
• potentiel hydrique : 0 à - 2 m . . .	Chaine de mesures automatiques par tensiomètres et capteur de pression	2 heures	86 à ....	86 à ....
• piézométrie . . . . .	Tubes - canne limnimétrique	1 jour	8 tubes : 73 à 81 tube F : 73 à ....	
<b>Hydrométrie</b>				
<b>Qualité des eaux :</b>				
paramètres : $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Cl}^-$ , MES, Cond, pH	Limnigraphes + bac déversoir	continu	72 à ....	72 à ....
Ptot. depuis 1986				
• eau de pluie et de drainage (parcelle de référence)	Prélèvements manuels	7 jours (cumul)	75 à ....	75 à ....
<b>Ensemble du bassin</b>				
<b>Pluviométrie</b>	Pluviographes + cod. enregist.	continu	6 postes : 62 à .... 8 postes : 62 à 85 7 postes : 62 à 81	62 à .... (jour) 72 à ....
<b>Hydrométrie</b>	Limnigraphes	continu	Theil : 62 à .... Avenelles : 62 à 81 et 86 à .... Gouge : 62 à 84 Melarchez : 62 à .... Butheil : 83 à 85	62 à .... 62 à 81 et 86 à .... 62 à 84 62 à .... 83 à 85
<b>Qualité des eaux (voir paramètres ci-dessus) :</b>				
• eaux superficielles :				
Melarchez . . . . .	Prélèveurs automatiques	3 jours	75 à ....	75 à ....
Theil . . . . .		3 jours	78 à 80	78 à 80
• eaux de la nappe :				
source de Melarchez . . . . .	Prélèvements manuels instant.	7 jours	77 à ....	82 à ....
puits . . . . .		3 mois	77 à 84	82 à 84

TABLEAU N°30

**A N N E X E II**

**Description des appareils de mesure, acquisition  
et traitement des données.**

### II.1 - L'humidimètre SOLO 40

- a- Description de l'appareil de mesure
- b- Programmation de la sonde SOLO 40
- c- Traitement des données

## III.1 - L'humidimètre SOLO 40

### III.1.a - Description de l'appareil de mesure

Le module neutron comporte :

- une source radioactive d'Americium-Beryllium de 30 miCi émettant des neutrons d'énergie moyenne égale à 5 Mev ;
- un détecteur de neutrons lents (<sup>3</sup> Hélium) ;
- un micromécanisme de treuillage de la sonde ;
- l'électronique de traitement du signal ;
- des batteries alimentées par panneau solaire.

La tête électronique comporte :

- un microprocesseur 8 bits comprenant 20 Ko de mémoire programmée et 15 Ko de mémoire vive pour le stockage des données ;
- un affichage à cristaux liquides ;
- un clavier de commande ;
- des prises de recharge batterie et de sortie vers imprimante ou micro-ordinateur.

La tête électronique dans la mesure où elle a été convenablement programmée au préalable, va piloter automatiquement la ou les séquences de mesure. Les données (comptage ou humidités volumiques calculées) sont ensuite enregistrées dans une mémoire que l'on pourra lire directement ou transférer sur un autre système informatique (imprimante ou ordinateur).

### II.1.b - Programmation de la sonde SOLO 40

- Les paramètres à programmer définissent la durée des comptages et permettent de passer d'un comptage brut à un comptage de référence (eau) :

. le prétemp maximum : est la durée maximale du comptage, nous l'avons fixé à 60 s.

. la précision statistique : permet de déterminer le temps de comptage nécessaire pour que l'erreur relative commise dans 68% des cas soit inférieure ou égale à une certaine précision. Nous lui avons donné une valeur égale à 0.5%.

- Les caractéristiques des sols sont les paramètres utilisés dans l'équation d'étalonnage pour passer d'un comptage à une humidité volumique. Les paramètres stockés ont été déterminés par transposition d'étalonnage de la sonde NEA à la sonde SOLO

$$hv = a \times \text{comptage} + b$$

avec : .a = 0,054

.b = 0,68

La programmation des mesures à effectuer consiste à introduire le pas de profondeur entre deux mesures, le nombre de mesures par profil et la première profondeur de mesure.

Il faut aussi définir le numéro d'ordre du profil correspondant à la position du bloc de mémoire utilisé pour le stockage du profil de mesures considéré, la date et l'heure où s'effectue la mesure.

### II.1.c - Traitement des données

#### Première méthode :

A BOISSY LE CHATEL : le bloc de mémoire vive de la tête électronique de la sonde SOLO 40 est vidé par un transfert sur un mini-ordinateur TECTRONIX.

Le transfert a nécessité la mise au point de :

. la liaison physique entre la tête de sonde et le micro-ordinateur :

sortie série normalisée (RS232C) + cable croisé (modifications dans la configuration de la broche de connexion).

. la liaison logique :

un programme de réception établit les paramètres de communication (vitesse de transmission, contrôle de parité ...) et crée un fichier de données.

Le fichier créé était alors stocké sur cassette et transcrit sur imprimante (Annexe n° V-2 ).

A ANTONY :

- . lecture de la cassette de données par un mini-ordinateur SFENA ;
- . transfert sur le DPS7 via Transpac.

Deuxième méthode :

A BOISSY LE CHATEL :

- . transfert des données de mesure sur un micro-ordinateur de terrain HUNTER (liaison physique par sortie normalisée RS232C et liaison logique par un logiciel de communication choisissant les protocoles appropriés).

A ANTONY :

- . transfert du fichier HUNTER sur micro-ordinateur (M24 OLIVETTI) par un programme de transfert JMB. BAS (Annexe n° III-1-a ).

Dans la deuxième méthode, plus simple, il n'y a que le HUNTER (qui sert au réglage des paramètres de communication) comme intermédiaire entre la tête de sonde et l'ordinateur qui utilisera ces mesures. Dans le cas où celui-ci est sur le même site que la sonde, il faudrait régler les paramètres de communication dans le programme de réception.

## **II.2 - La chaîne de mesures tensiométriques**

- a- Description de l'appareil de mesure**
- b- Programmation de la chaîne de mesure**
- c- Traitement des données**

## II.2 - La chaîne de mesures tensiométriques

### II.2.a - Description de l'appareil de mesure

La chaîne de mesures tensiométriques comprend d'une part une série de tensiomètres et d'autre part une centrale d'acquisition de données.

Les tensiomètres (NARDEUX DTM 5000) sont constitués de bougies poreuses remplies d'eau implantées dans le sol à la profondeur voulue. Ils sont reliés par des tubes capillaires à la centrale d'acquisition de données qui comporte :

- un commutateur de voies hydraulique (SCANIVALVE) à 24 positions ;
- un capteur de pression à jauge de contrainte (DRUCK) alimenté par une tension de référence dûment stabilisée (5V) .
- Les pressions ou dépressions de colonnes d'eau sont appliquées par l'intermédiaire du commutateur sur le capteur de pression qui fournit une tension proportionnelle à la pression exercée ;
- la tension issue du capteur est appliquée à l'entrée d'un amplificateur de mesure dont la tension de sortie est réglée à 1 millivolt par hecto Pascal (notice d'utilisation, SEGUIN, 1974) et affichée directement sur un millivoltmètre digital avec indication de polarité ;
- un circuit de compensation permet de s'affranchir des variations de température ;
- la tension de sortie alimente également un convertisseur numérique dont la sortie varie de 0 à 5 volts pour une entrée de 1000 hPa (position X1), pour une entrée de 500 hPa (position X2) ou pour une entrée de 250 hPa (position X4) ;
- l'unité logique de scrutation permet d'explorer manuellement les différentes voies de mesure ainsi que de programmer une scrutation automatique de l'ensemble des tensiomètres au pas de temps choisi ;
- les mesures sont numérisées et enregistrées sur cassette magnétique grâce à un enregistreur "MICRODATA" relié à la centrale d'acquisition de données par l'interface enregistreur;
- l'ensemble est piloté par un microprocesseur et alimenté par panneaux solaires et batteries (+12v -12v) ou par le secteur.

La consommation de l'ensemble capteur/amplificateur est de 60 mA ;

- la précision obtenue par l'ensemble de la chaîne est de 0,4% pour un fonctionnement permanent du capteur.

### II.2.b - Programmation de la chaîne de mesures

Cette programmation comporte :

. la programmation du pas de temps qui se fait en deux étapes : Tout d'abord le réglage sur l'enregistreur microdata d'un pas de temps élémentaire compris entre 2s et 60 mn, puis sur l'unité logique de scrutation le choix du multiple de ce pas de temps élémentaire qui peut varier de 1 à 24. Dans notre cas nous avons choisi un pas de temps élémentaire de 60 mn et un multiple du pas de temps égal à 12 ce qui permet 2 mesures par jour.

. la programmation des voies se fait sur l'unité logique de scrutation et permet de sélectionner parmi les 24 voies disponibles, les voies de mesure reliées aux tubes tensiométriques. Sur l'amplificateur de conversion, il est possible de choisir l'échelle de mesure suivant la période étudiée. Travailant sur deux années hydrologiques complètes, nous avons adopté la gamme de mesure la plus étendue (0 à 1000 hPa), correspondant à l'échelle X1 de l'amplificateur de conversion. Un écran à cristaux liquides rend possible le contrôle de la programmation ainsi que la visualisation de la dernière série de mesures enregistrées.

### II.2.c - Traitement des données

Le traitement des données comprend les étapes suivantes :

1°) lecture de la cassette de données (enregistrées à BOISSY LE CHATEL) par un lecteur de cassette connecté à un micro-ordinateur (MICRO-MACHINE 2000) ;

2°) transfert des données (programme de lecture : ASSS) et création d'un fichier de données en mémoire centrale (programme TRANS1. BAS) (annexe n° III-1-e<sub>1</sub>) ;

3°) conversion du fichier CP/M en un fichier IBM 3740 pouvant être lu par un compatible PC (logiciel de conversion : REFM) ;

4°) transfert sur le micro-ordinateur SFENA ;

5°) Première méthode :

- transfert sur le DPS7 via Transpac ;

Deuxième méthode :

- transfert sur le micro-ordinateur (M24 OLIVETTI) (programme : TERM.BAT) ;

A N N E X E III

Programmes réalisés au cours de l'étude

### III.1 - Programmes de traitement des données

- a - Programme de transfert : JMB.BAS
- b - Programme créant le fichier de données  
SOLO 40 : TRS.FOR
- c - Programme créant les fichiers de comptage
  - c1 - à une profondeur donnée : TRH.FOR
  - c2 - en cumulant les profondeurs : TRC.FOR
- d - Programme dessinant les chroniques de variation  
d'humidité et de potentiel : CH.FOR
- e - Programmes de traitement des données tensiométriques :
  - e1 - stockage des données lues par le lecteur de cassette TRANS1.BAS
  - e2 - création du fichier des données : TTRANS.FOR tensiométriques

**III.1.a - Programme de transfert : JMB.BAS**



III.1.b - Programme créant le fichier de données SOLO 40 : TRS.FOR



**III.1.c - Programmes créant les fichiers de comptage**

**c1 - à une profondeur donnée : TRH.FOR**

**c2 - en cumulant les profondeurs : TRC.FOR**

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC  
C TRH.FOR PROGRAMME STOKANT LES COMPTAGES SOLO A UNE PROFONDEUR DONNEE C  
C -----  
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC  
DIMENSION K1(10),K2(10)  
100 FORMAT(32X,1I3,30X)  
200 FORMAT(80X)  
300 FORMAT(A,I3,10(1X,2I3))  
OPEN(1,FILE='SOL1',STATUS='OLD')  
OPEN(2,FILE='C56',STATUS='NEW')  
WRITE(*,'(A\)' )' LOT-1'  
READ(*,*) N  
25 CONTINUE  
DO20 J=1,10  
READ(1,100,END=10) K1(J)  
READ(1,200)  
READ(1,100) K2(J)  
20 CONTINUE  
N=N+1  
WRITE(2,300) '75 87 ',N,(K1(J),K2(J),J=1,10)  
GOTO 25  
10 CONTINUE  
END
```

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC  
C TRC.FOR PROGRAMME STOKANT LES COMPTAGES SOLO EN CUMULANT LES PROFON- C  
C -----  
C DEURS  
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC  
DIMENSION K1(10,5),K2(10,5),L1(10),L2(10)  
100 FORMAT(14X,5I3,30X)  
200 FORMAT(80X)  
300 FORMAT(2(10I4))  
OPEN(1,FILE='SOL1',STATUS='OLD')  
OPEN(2,FILE='CUM',STATUS='NEW')  
25 CONTINUE  
DO20 I=1,10  
READ(1,100,END=10)(K1(I,J),J=1,5)  
READ(1,200)  
READ(1,100)(K2(I,J),J=1,5)  
20 CONTINUE  
DO30 I=1,10  
L1(I)=0  
L2(I)=0  
DO40 J=1,5  
L1(I)=L1(I)+K1(I,J)  
L2(I)=L2(I)+K2(I,J)  
40 CONTINUE  
30 CONTINUE  
WRITE(2,300) (L1(I),L2(I),I=1,10)  
GOTO 25  
10 CONTINUE  
END
```

III.1.d - Programmes dessinant les chroniques de variation  
des humidités et des potentiels : CH.FOR



```

30      DO 5 I=1,30          -33-
H(I,N)=0.054*FLOAT(IX(I))+0.684
5      CONTINUE
4      CONTINUE
6      WRITE(*,'(A\')')' impression des données humidi.: (oui(1);non(0)?'
READ(*,*)KD
IF(KD.NE.1)GO TO 66
WRITE(108,117)
DO2000 I=1,1000
WRITE(108,200)(H(J,I),J=1,15)
WRITE(108,200)(H(J,I),J=16,30)
2000  CONTINUE
C      SUITE PROGRAMME PRINCIPAL
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C      C
C      LECTURE DES DONNEES BRUTES DES TENSIOMETRES(FICHIER:TENS6.DAT)      C
C      ET CALCUL DU POTENTIEL TOTAL(TABLEAU:S(7,1000))                      C
C      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
66      DO 7 N=195,1000
LAC=0
READ(101,101,END=10)(IX(I),I=1,13)
RH=(FLOAT(IX(1)))
RZ=(FLOAT(IX(2)))
IF(RH.LE.RZ)THEN
LAC=1
GO TO 70
END IF
DO 8 I=1,7
S(I,N)=(100.*FLOAT(IX(I+3))-RZ)/(RH-RZ)+31.5)*5./12.
8      CONTINUE
70      READ(101,101,END=10)(IX(I),I=1,13)
RH=(FLOAT(IX(1)))
RZ=(FLOAT(IX(2)))
IF(RH.LE.RZ.OR.LAC.EQ.1)THEN
DO 90 I=1,7
S(I,N)=-999.
90      CONTINUE
GO TO 7
ENDIF
DO 9 I=1,7
S(I,N)=S(I,N)+(100.*FLOAT(IX(I+3))-RZ)/(RH-RZ)+31.5)*7./12.
9      CONTINUE
7      CONTINUE
10     WRITE(*,'(A\')')' impression des données tensio.: (oui(1);non(0)?'
READ(*,*)KD
IF(KD.NE.1)GO TO 300
WRITE(108,120)
DO 2002 I=1,1000
WRITE(108,201)(S(J,I),J=1,7)
2002  CONTINUE
C      SUITE PROGRAMME PRINCIPAL
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C      C
C      LECTURES DES DONNEES PIEZOMETRIQUES          C
C      (FICHIER:NAPPE.DAT-->TABLEAU:ZN(1000))      C
C      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
107    L=194
DO 333 N=1,15
READ(106,106)(IX(I),I=1,20)
DO 222 I=1,20
L=L+1
ZN(L)=FLOAT(IX(I))
222    CONTINUE
333    CONTINUE
READ(106,219)(IX(I),I=1,5)
219    FORMAT(5I4)

```



```

IF(TYP.EQ.'HP') G(1)=-305.
IF(TYP.EQ.'SP') G(1)=-195.          --0-
G(3)=17.
F(3)=27.
N=0
DO 30 J=J1,J2,J3
N7=MOD(N,NPD)
N4=MOD(N,4)+1
IF(N7.EQ.0) CALL KORTOR(0,1,F,G,TEX)
DO 31 I=1,NX
IF(TYP.EQ.'HP') X(I)=H(I,J)+FLOAT(N7)*DE
IF(TYP.EQ.'SP') X(I)=S(I,J)-FLOAT(NPD-1-N7)*DE
IF(TYP.EQ.'HP') Z(I)=G(2)-ZH(I)
IF(TYP.EQ.'SP') Z(I)=G(2)-ZS(I)
31 CONTINUE
300 FORMAT(1H ,15F7.1)
TEZ=TEY(N4)
CALL KORTOR(2,NX,X,Z,TEZ)
N=N+1
30 CONTINUE
RETURN
20 F(1)=FLOAT(J1)
F(2)=FLOAT(J2)
F(3)=31.5
C SUITE SOUS PROGRAMME DESSIN
IF(TYP.EQ.'HC') G(1)=10.
IF(TYP.EQ.'SC') G(1)=-1000.-4.*DE
IF(TYP.EQ.'HC') G(2)=45.+4*DE
IF(TYP.EQ.'SC') G(2)=0.
G(3)=17.
NX=J2-J1+1
WRITE(*,'(A\')')' numeros des profondeurs des 4 courbes'
READ(*,*)(II(L),L=1,4)
CALL KORTOR(0,1,F,G,TEX)
DO 40 K=1,4
DO 41 J=J1,J2
JJ=J-J1+1
A(JJ)=FLOAT(J)
IF(TYP.EQ.'HC') X(JJ)=H(II(K),J)+FLOAT(4-K)*DE
IF(TYP.EQ.'SC') X(JJ)=S(II(K),J)-FLOAT(4-K)*DE
41 CONTINUE
TEZ=TEY(K)
CALL KORTOR(2,NX,A,X,TEZ)
40 CONTINUE
C DESSIN DE LA PLUIE
DO 42 J=J1,J2
JJ=J-J1+1
IF(TYP.EQ.'HC') X(JJ)=G(2)-P(J)/10.
IF(TYP.EQ.'SC') X(JJ)=G(1)+(P(J)*10.)
42 CONTINUE
TEZ='C1'
CALL KORTOR(2,NX,A,X,TEZ)
RETURN
END

```

III.e - Programmes de traitement des données tensiométriques  
e1 - stockage des données lues par le lecteur  
de cassette : TRANS1.BAS  
e2 - création du fichier des données  
tensiométriques : TTRANS.FOR

CC  
C TRANS1.BAS: C  
C PROGRAMME QUI PERMET LE STOKAGE DES DONNEES LUES PAR C  
C LE LECTEUR DE CASSETTE SUR UN FICHIER MICROMACHINE C  
CC

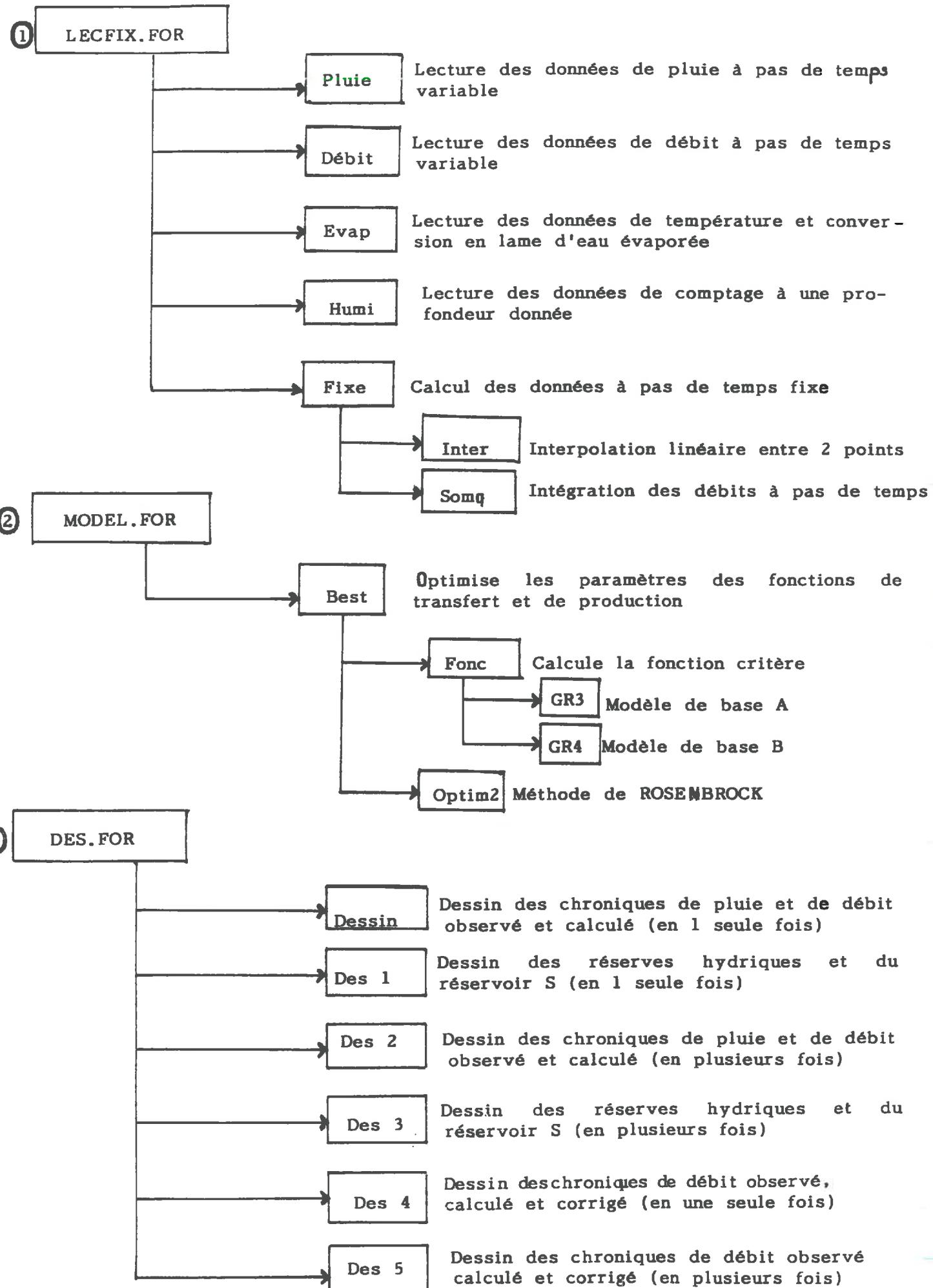
```
100 '*****CREATION D'UN FICHIER DE DONNEES TENSIOMETRIQUES*****'
110 INPUT"NOM DU FICHIER DE DONNES =";DONS
120 OPEN"O",#1,DON$
130 INPUT"NOMBRE DE MESURES A LIRE =";MH
140 INPUT"NOMBRE DE VOIES PAR MESURE =";NV
150 I=32768!
160 PRINT"LES DONNEES SE TROUVENT EN MEMOIRE A PARTIR DE L'ADRESSE 8000H"
170 X=PEEK(I)
180 I=I+1
190 FOR A=1 TO MH
200 FOR J=1 TO NV
210 X=PEEK(I)
220 PRINT#1,X;
230 I=I+1
240 NEXT J
250 X=PEEK(I):PRINT#1,X
260 I=I+1
270 NEXT A
280 CLOSE #1
290 END
```

CC  
C TTRANS: PROGR PERMETTANT LA TRANSFORMATION DES FICHIERS C
C SORTIES CHAINE TENSIO EN FICHIERS LUS PAR LES PRGR GR C
CC

```
      DIMENSION J1(5),J2(2),J3(6)
100 FORMAT(17X,5(5X,I3),2(6X,I3))
200 FORMAT(1X,6(I3,6X))
300 FORMAT(18X,5(5X,I3),2(6X,I3))
400 FORMAT(2X,6(I3,6X))
1000 FORMAT(5(I3,1X),2(I3,1X),6(I3,1X))
      OPEN(1,FILE='TM',STATUS='OLD')
      OPEN(2,FILE='T1',STATUS='NEW')
      DO 10 I=1,10
      READ(1,100) (J1(L),L=1,5),(J2(L),L=1,2)
      READ(1,200) (J3(L),L=1,6)
      WRITE(2,1000)(J1(L),L=1,5),(J2(L),L=1,2),(J3(L),L=1,6)
10 CONTINUE
      DO 20 I=1,52
      READ(1,300,END=30) (J1(L),L=1,5),(J2(L),L=1,2)
      READ(1,400,END=30) (J3(L),L=1,6)
      WRITE(2,1000)(J1(L),L=1,5),(J2(L),L=1,2),(J3(L),L=1,6)
20 CONTINUE
30 END
```

- III.2 - Programmes de simulation et de prévision des débits
- a - enchaînement des programmes et sous-programmes
  - b - programme de lecture des données et de conversion pas de temps variable - pas de temps fixe
  - c - programme qui calcule le débit à partir d'un modèle et qui optimise les paramètres par la méthode de ROSEN BROCK
    - c1 - sous-programme d'exploration d'une grille de recherche
  - d - programme de dessin des chroniques : de pluie, de débit (calculé et observé), des réserves et des potentiels hydriques
  - e - programmation du modèle de base A avec le module de MOREL-SEYTOUX
    - e1 - sous-programme de calcul du débit avec deux réservoirs (transfert et production)
    - e2 - sous-programme de modélisation de l'infiltration
  - f - programmes utilisés en prévision
    - f1 - sous-programmes GR3 et GR4 décalant de  $2 \Delta t$  le débit calculé Q
    - f2 - rappels sur le filtre de KALMAN
    - f3 - sous-programme de correction des débits
  - g - sous-programme GR3' combinant les données d'évaporation et d'humidité pour réévaluer le niveau du réservoir S

III.2.a - Enchaînement des programmes et sous-programmes



**III.2.b - Programme de lecture des données et de conversion  
pas de temps variable - pas de temps fixe**



GO TO 2

-17-

1 OPEN(110,FILE='A:HOBS.DAT',STATUS='NEW')  
CALL HUMI (LECH,NDIM,KD,IE,NE)  
TRANSFORMATION DES Q,P A PDT VARIABLE->PDT FIXE  
2 CALL FIXE (IP,ITP,NP,IQ,ITQ,NQ,IE,NE,I0,IDL,N)  
NV=N  
WRITE(108,\*) NP,NQ,NE,NV  
WRITE(106,200) (XP(I),I=1,NV)  
WRITE(107,100) (QO(I),I=1,NV)  
IF(JENRE.EQ.0) THEN  
WRITE(109,300) (XE(I),I=1,NV)  
ELSE  
IF(KREP.EQ.1) THEN  
WRITE(110,500) (XE(I),I=1,NV)  
ELSE  
WRITE(110,400) (XE(I),I=1,NV)  
ENDIF  
ENDIF  
STOP  
END

CC

C SOUS PROGRAMME DE LECTURE DES DONNEES PLUIES A PAS DE TEMPS VARIABLE C

CC

C SORTIES:PLUIES CUMMULEES EN DIZIEMES DE MM C

CC

SUBROUTINE PLUIE (LEC,NDIM,IT,IX,N)

DIMENSION JT(6),JX(6),IX(1),IT(1)

10 FORMAT (I1,8X,I2,3(I6,I4),I5,I1,I4,2(I6,I4))

NEUF=0

K=1

JAT=-999

JAX=0

JOUX=0

JOUT=0

C LECTURE DES CARTES DE DONNES PLUIE EXTRAITES D'ARHMA

DO 100 LU=1,NDIM

READ(LEC,10,END=110) NTYP,IA,(JT(L),JX(L),L=1,3),JT41,JT42,JX(4),  
+(JT(L),JX(L),L=5,6)

IF (NTYP.EQ.0) GO TO 100

IF (NTYP.EQ.2) NEUF=1

IF (NTYP.EQ.2) GO TO 100

JT(4)=10\*JT41+JT42

C BCLE SUR 1 ENREGISTREMENT(=6 DONNEES) CALCULANT LES PLUIES

CUMMULEES POUR CHACUNE DES DONNEES

DO 200 I=1,6

IF(JT(I).LT.0) GO TO 100

IF(JT(I).EQ.JAT) GO TO 200

IF(JT(I).LT.JAT) GO TO 80

IT(K)=JT(I)+JOUT

GO TO 50

80 IF(MOD(IA,4).NE.0) GO TO 30

IT(K)=JT(I)+JOUT+366000

JOUT=IT(K)-JT(I)

GO TO 50

30 IF(JAT.LE.330000.OR.JT(I).GE.30000) GO TO 200

IT(K)=JT(I)+JOUT+365000

JOUT=IT(K)-JT(I)

50 IF(NEUF.EQ.1) GO TO 60

IF(JX(I).GE.0.AND.JX(I).GE.JAX) GO TO 40

IX(K)=-999

JOUX=0

GO TO 70

40 IF(JX(I).LT.JAX) GO TO 60

IX(K)=JX(I)+JOUX

GO TO 70

60 IX(K)=JT42\*JX(I)

IF(K.GT.1)IX(K)=IX(K)+IX(K-1)

JOUX=IX(K)-JX(I)



```

ELSE
READ (LEC,200) IA,IM,IQ,(XJ(I),I=1,16)
ENDIF
K=0
IF(IM.EQ.1) GO TO 5
DO 2 I=1,IM-1
K=K+LM(I)
IF(MOD (IA,4).EQ.0.AND.I.EQ.2) K=K+1
2 CONTINUE
IF(IQ.EQ.2) K=K+16
5 IF(IQ.EQ.1) IK=16
IF(IQ.EQ.2) IK=LM(IM)-16
IF(IQ.EQ.2.AND.IM.EQ.2.AND.MOD(IA,4).EQ.0) IK=IK+1
C BCLE SUR LE 1E ENREGISTREMENT CALCULANT LES EVAPO A PARTIR DES
C TEMP LUES
DO 3 I=1,IK
K=K+1
IF(IREP.EQ.1) THEN
IF(J(I).LE.0) IX(K)=0
IF(J(I).LE.0) GO TO 3
IX(K)=INT(10.*FLOAT(J(I))/60.)**1.4)
ELSE
IF(XJ(I).LE.0) IX(K)=0
IF(XJ(I).LE.0) GO TO 3
IX(K)=INT(.5+10.*XJ(I))
ENDIF
3 CONTINUE
C LECTURE DU RESTE DU FICHIER
DO 6 LU=2,NDIM
IF(IREP.EQ.1) THEN
READ(LEC,100,END=900) IA,IM,IQ,(J(I),I=1,16)
ELSE
READ(LEC,200,END=900) IA,IM,IQ,(XJ(I),I=1,16)
ENDIF
IF(IQ.EQ.1) IK=16
IF(IQ.EQ.2) IK=LM(IM)-16
IF(IQ.EQ.2.AND.IM.EQ.2.AND.MOD(IA,4).EQ.0) IK=IK+1
C BCLE SUR 1 ENREGISTREMENT CALCULANT LES EVAPO A PARTIR DES TEMP
C LUES
DO 8 I=1,IK
K=K+1
IF(IREP.EQ.1) THEN
IF(J(I).LE.0) IX(K)=0
IF(J(I).LE.0) GO TO 8
IX(K)=INT(10.*FLOAT(J(I))/60.)**1.4)
ELSE
IF(XJ(I).LE.0) IX(K)=0
IF(XJ(I).LE.0) GO TO 8
IX(K)=INT(.5+10.*XJ(I))
ENDIF
8 CONTINUE
6 CONTINUE
900 N=K
RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME DE LECTURE DES DONNEES D'HUMIDITE A UNE PROF DONNEE C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SORTIE:LAMES D'EAU EN MM C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE HUMI(LEC,NDIM,KD,IX,N)
COMMON/ET2/KREP
DIMENSION IX(1),J(20)
100 FORMAT (10X,10(2I3,IX))
200 FORMAT (10(2I4))
K=KD+1
DO 1 LU=1,NDIM
C LECTURE DES DONNEES DE COMPTAGE EXTRAITES DE J-SOLO

```

```

IF(KREP.EQ.1) THEN          -50-
READ(LEC,200,END=900) (J(I),I=1,20)
ELSE
READ(LEC,100,END=900) (J(I),I=1,20)
ENDIF
C BCLE SUR 1 ENREGISTREMENT CALCULANT LE STOCK D'EAU A PARTIR DE LA
C DROITE D'ETALONNAGE
DO 2 I=1,20
K=K+1
IF(K.EQ.KD+2) GO TO 3
IF(J(I).LT.0) IX(K)=IX(K-1)
IF(J(I).LT.0) GO TO 2
3 IX(K)=J(I)
2 CONTINUE
1 CONTINUE
900 N=K
RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME PRINCIPAL CALCULE LES DEBITS ET LES PLUIES A PDT FIXEC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C RECHERCHE LE DEBUT DES DONNEES COMMUNES POUR P ET Q          C
C RECHERCHE LES VALEURS INITIALES DE P,Q,E,H                      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE FIXE(IP,ITP,NP,IQ,ITQ,NQ,IE,NE,I0,IDL,N)
COMMON/ET0/Q0(7500),XP(7500),XE(7500)
COMMON/ET1/S,JENRE
DIMENSION IP(1),ITP(1),IQ(1),ITQ(1),IE(1)
I1=I0
800 I2=I1+IDL
C RECHERCHE DU DEBUT DES DONNEES COMMUNES POUR P,Q->J1P,J1Q
DO 1 J=1,NP
IF (ITP(J).LE.I1) J1P=J
IF (ITP(J).GT.I1) GO TO 2
1 CONTINUE
GO TO 900
C RECHERCHE DES VALEURS INITIALES DE P,Q POUR J1P,J1Q
2 DO 3 J=1,NQ
IF(ITQ(J).LE.I1) J1Q=J
IF(ITQ(J).GT.I1) GO TO 4
3 CONTINUE
GO TO 900
4 CALL INTER(ITP,IP,J1P,I1,PA,L)
IF(L.EQ.1) I1=I2
IF(L.EQ.1) GO TO 800
C RECHERCHE DES VALEURS INITIALES DE E,H POUR I1
CALL INTER(ITQ,IQ,J1Q,I1,QA,LQ)
IF(LQ.EQ.1) I1=I2
IF(LQ.EQ.1) GO TO 800
IF(JENRE.EQ.1) GO TO 20
K1=I1/1000+1
GO TO 30
20 NB=I1/1000
IS=I1-1000*N
IF(IS.LT.375) K1=2*N
IF(IS.GT.792) K1=2*(N+1)
IF(IS.GE.375.AND.IS.LE.792) K1=2*N+1
IF(IE(K1).LT.0) K1=K1-1
30 IF(IE(K1).LT.0) I1=I2
IF(IE(K1).LT.0) GO TO 800
IF (JENRE.EQ.0) EA=FLOAT(IE(K1)*IDL)/1000.
IF(JENRE.EQ.1) EA=IE(K1)
C BCLE CALCULANT SUR 1 PAS DE TPS FIXE LES DEBITS
DO 10 I=1,7500
L=I
DO 11 J=J1P,NP
C RECHERCHE DE LA BORNE SUPERIEURE I2=I1+PDT POUR P ET Q
IF(ITP(J).LE.I2) J2P=J

```

IF(ITP(J).GT.I2) GO TO 12  
11 CONTINUE  
GO TO 900  
C RECHERCHE DES VALEURS DE LA BORNE SUP DE P,Q POUR J2P,J2Q  
12 DO 13 J=J1Q,NQ  
IF(ITQ(J).LE.I2) J2Q=J  
IF(ITQ(J).GT.I2) GO TO 14  
13 CONTINUE  
GO TO 900  
14 CALL INTER (ITP,IP,J2P,I2,PB,LQ)  
IF(LP.EQ.1) I1=I2  
IF(LP.EQ.1) GO TO 850  
CALL INTER (ITQ,IQ,J2Q,I2,QB,LQ)  
IF(LQ.EQ.1) I1=I2  
IF(LQ.EQ.1) GO TO 850  
C RECHERCHE DES VALEURS DE LA BORNE SUP DE E,H  
IF(JENRE.EQ.1) GO TO 40  
K1=I2/1000+1  
GO TO 50  
40 NB=I2/1000  
IS=I2-1000\*N  
IF(IS.LT.375) K1=2\*N  
IF(IS.GT.792) K1=2\*(NB+1)  
IF(IS.GE.375.AND.IS.LE.792) K1=2\*N+1  
50 IF(IE(K1).LT.0) I1=I2  
IF(IE(K1).LT.0) GO TO 850  
IF(JENRE.EQ.0) EB=FLOAT(IE(K1)\*IDT)/1000.  
IF(JENRE.EQ.1) EB=IE(K1)  
P=(PB-PA)/10.  
XP(I)=P  
E=EA  
IF(JENRE.EQ.0) E=E/10.  
XE(I)=E  
C APPEL DU SOUS-PRGR QUI INTEGRE LES QOBS SUR 1 PDT FIXE(I1,I2)  
CALL SOMQ(ITQ,IQ,J1Q,J2Q,I1,QA,I2,QB,S,Q)  
QO(I)=Q  
C LES VALEURS DE LA BORNE SUP,I2,DEVIENNENT LES VALEURS DE LA BORNE  
C INF,I1  
EA=EB  
PA=PB  
QA=QB  
J1P=J2P  
J1Q=J2Q  
I1=I2  
850 I2=I1+IDT  
10 CONTINUE  
900 N=L-1  
RETURN  
END  
CC  
C SOUS-PROGRAMME QUI PERMET L'INTERPOLATION LINEAIRE ENTRE DEUX POINTS C  
CC  
SUBROUTINE INTER(IT,IX,I,J,P,L)  
DIMENSION IT(1),IX(1)  
L=2  
C TEST SUR LES LACUNES  
IF(IX(I).LT.0.OR.IX(I+1).LT.0)L=1  
IF(IX(I).GT.0.AND.IX(I+1).GT.0)L=0  
A=FLOAT(IX(I+1)-IX(I))  
B=FLOAT(IT(I+1)-IT(I))  
C=FLOAT(J-IT(I))  
D=FLOAT(IX(I))  
P=(D+A\*C/B)  
RETURN  
END

CC  
C SOUS-PROGRAMME QUI INTEGRE LES DEBITS SUR UN PAS DE TEMPS FIXE C  
CC  
C SORTIE: LAME D'EAU ECOULEE EN MM C  
CC  
SUBROUTINE SOMQ(IT,IX,J1,J2,I1,X1,I2,X2,S,Q)  
DIMENSION IT(1),IX(1)  
IF(J2.GT.J1) GO TO 1  
Q=FLOAT(I2-I1)\*(X1+X2)  
GO TO 10  
1 IF(J2.GT.J1+1) GO TO 2  
Q=FLOAT(IT(J2)-I1)\*(X1+FLOAT(IX(J2)))  
Q=Q+FLOAT(I2-IT(J2))\*(X2+FLOAT(IX(J2)))  
GO TO 10  
2 Q=FLOAT(IT(J1+1)-I1)\*(X1+FLOAT(IX(J1+1)))  
Q=Q+FLOAT(I2-IT(J2))\*(X2+FLOAT(IX(J2)))  
DO 3 K=J1+1,J2-1  
Q=Q+FLOAT(IT(K+1)-IT(K))\*FLOAT(IX(K+1)+IX(K))  
3 CONTINUE  
10 Q=Q\*.432E-04/S  
RETURN  
END

III.2.c - Programme qui calcule le débit à partir d'un modèle  
et qui optimise les paramètres par la méthode ROSEN BROCK  
cl - sous-programme d'exploration d'une grille de recherche



```

      WRITE(108,'(A)') ' PERIODE DE CONTROLE'
      WRITE(108,600) ' FONCTION CRITERE=',FC
      WRITE(108,'(A)') ' VALEUR DES PARAMETRES'
      WRITE(108,700) (XF(I),I=1,NT)
1  WRITE(106,100) (QC(I),I=1,NV)
      IF(JENRE.EQ.0) WRITE(107,400) (ST(I),I=1,NV)
      STOP
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME QUI OPTIMISE LES PARAM DES FCT TRANSF OU PRODUC          C
C IL APPELE .LES SOUS-PRGR OPT2                                         C
C .LE SOUS-PRGR FONC                                                 C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE BEST(XI,XS,X)
      DIMENSION X(8),Y(8),XI(8),XS(8)
      COMMON/ET0/Q0(7500),QC(7500),XP(7500),XE(7500),ST(7500)
      COMMON/ET3/NP,NK,N2,ITAP,A,B,NT,SK
      COMMON/ET4/X0(8),YI(8),YS(8),IP(8),IT(8)
      COMMON/ET5/LU,ERRU,JENRE,NV,IREP,JREP,KREP,IC
      LEC=105
      IMP=108
      N1=N2
      DO 50 I=1,NT
50  X(I)=X0(I)
C  IT=0: PAS DE CONTRAINTE
C  IT=2: PARAMETRES BORNES INF. ET SUP.
C  IT=1: PARAMETRES BORNES SUP.
C  IT=-1 PARAMETRES BORNES INF.
      DO 60 I=1,NP
      IT(I)=2
      IK=IP(I)
      Y(I)=X(IK)
      YI(I)=XI(IK)
60  YS(I)=XS(IK)
      N2=NK
      CALL FONC(Y,F1,X)
      WRITE(IMP,110)F1
110  FORMAT(//,30X,'F0=',F8.3/)
      IF(ITAP.EQ.2)GO TO 9000
9000  CONTINUE
      NK=N1
      WRITE(IMP,1109)
1109  FORMAT(//,50X,'OPTIMISATION DEUXIEME ETAPE OPTIM 2',//)
      CALL OPTIM2(Y,X,K)
      CALL FONC(Y,F1,X)
      WRITE(IMP,1099)K
1099  FORMAT(///,50X,'RESULTATS D OPTIM2',//,50X,'NOMBRE D ITERATION>:',I
      13//)
      37  WRITE(IMP,1107)F1
1107  FORMAT(30X,'FONCTION CRITERE F=',F8.3//)
      WRITE(IMP,140)
140  FORMAT(/,30X,'VALEUR DES PARAMETRES//')
      WRITE(IMP,1104)(I,I=1,NT)
1104  FORMAT(10X,8(5X,'X',I1,5X))
      WRITE(IMP,1103)(X(I),I=1,NT)
1103  FORMAT(10X,8(F10.3,2X))
      IF(ITAP.LE.4)GO TO 1000
1000  CONTINUE
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME QUI -EST APPELE PAR BEST                                C
C .-CALCULE QC AVEC LES MODELES GR3,GR4                                C
C .-CALCULE LA FCT CRITERE                                              C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE FONC(Y,FC,X)
      COMMON/ET0/Q0(7500),QC(7500),XP(7500),XE(7500),ST(7500)
      COMMON/ET3/MP,NK,N2,ITAP,A,B,NT,SK

```





```

100 X(L)=X(L)+E(L)*V(L,J)          -53-
  DO 11 L=1,N
  IF(IT(L))51,11,51
  51 IF(IT(L)-2)55,52,55
  55 IF(IT(L)-1)57,56,57
  57 IF(XI(L)-X(L))11,11,300
  56 IF(X(L)-XS(L))11,11,300
  52 IF(X(L)-XS(L))53,53,300
  53 IF(XI(L)-X(L))11,11,300
300 IF(LU.EQ.1) GO TO 102
  WRITE(IMP,6001)L
6001 FORMAT(12X,'X',I2,'BORNES DEPASSEE')
102 CONTINUE
  LH=1
11 CONTINUE
  IF(LH-1)131,130,131
131 CALL FONC(X,F1,Y)
  IF(LU.EQ.1) GOTO 103
  WRITE(IMP,3009)F1,K
3009 FORMAT(50X,'VALEUR DE LA FONCTION CRITERE F1=',F10.5,
  1'      ITERATION K=',I4/)
  WRITE(IMP,3010)
3010 FORMAT(30X,'VALEUR DES PARAMETRES')
  DO 308 I=1,N
  308 WRITE(IMP,3111)I,X(I)
3111 FORMAT(40X,'X',I1,'=',F8.3)
103 CONTINUE
  IF(F1-F0)31,30,30
  31 D(J)=D(J)+E(J)
  E(J)=3*E(J)
C   IF(F1-F0.LT.ERRU)GO TO 90
  DO 24 I=1,N
  24 XCHOI(I)=X(I)
  F0=F1
  IF(A3(J)-1.5)33,33,34
  34 A3(J)=1
  33 J3=1
  IF(K-NK)37,90,90
  37 IF(A3(J3)-0.5)35,36,36
  35 IF(J3-N)38,39,39
  38 J3=J3+1
  GO TO 37
  39 A2=0.
C   ROTATION DES AXES DE RECHERCHE
C
  KR=KR+1
  IF(LU.EQ.1) GOTO 104
  WRITE(IMP,3001)KR
3001 FORMAT(50X,'ROTATION DE AXES DE RECHERCHE  KR=',I2/)
104 CONTINUE
  K1=1
  N1=1
  7 DO 45 I=1,N
  DO 3 J=N1,N
  A1=D(J)*V(I,J)
  A2=A2+A1
  3 CONTINUE
  A(I,K1)=A2
  A2=0.
45 CONTINUE
  K1=K1+1
  IF(K1-N)6,6,5
  6 N1=N1+1
  GO TO 7
  5 K1=1
167 A4=0.
  DO 164 I=1,N
  A5=A(I,K1)*A(I,K1)

```

```

164 A4=A4+A5
      A4=SQRT(A4)
      IF(N-2)159,199,159
199 CONTINUE
      GO TO 168
159 IF(K1-2)166,169,165
166 ALFA1=A4
      K1=K1+1
      GO TO 167
169 ALFA2=A4
      K1=K1+1
      GO TO 167
165 ALFA3=A4
      TETA=ALFA2/ALFA3
      IF(LU.EQ.1) GOTO 105
      WRITE(IMP,3041)ALFA1,TETA
3041 FORMAT(//,20X,'ALFA1=',F8.3,10X,'TETA=',F8.3)
105 CONTINUE
168 J=1
      DO 8 I=1,N
      8 B(I,J)=A(I,J)
      B2=0.
      DO 9 I=1,N
      9 B1=B(I,J)**2
      B2=B2+B1
      B2=SQRT(B2)
      DO 10 I=1,N
      10 V(I,J)=B(I,J)/B2
      C2=0.
      B2=0.
      DO 20 J=2,N
      J2=J-1
      DO 17 J1=1,J2
      DO 15 I=1,N
      C1=A(I,J)*V(I,J1)
      C2=C2+C1
      15 CONTINUE
      C3(J1)=C2
      C2=0.
      17 CONTINUE
      DO 16 J1=1,J2
      DO 16 I=1,N
      16 C(I,J1)=C3(J1)*V(I,J1)
      DO 25 I=1,N
      25 C(I,J)=0.
      DO 18 I=1,N
      DO 18 J1=1,J2
      C(I,J)=C(I,J)+C(I,J1)
      18 CONTINUE
      DO 19 I=1,N
      19 B(I,J)=A(I,J)-C(I,J)
      DO 21 I=1,N
      B1=B(I,J)**2
      21 B2=B2+B1
      B2=SQRT(B2)
      DO 22 I=1,N
      V(I,J)=B(I,J)/B2
      22 CONTINUE
      C2=0.
      B2=0.
      20 CONTINUE
      GO TO 60
36 IF(J-N)40,41,41
40 J=J+1
      GO TO 42
41 GO TO 43
30 CONTINUE
130 CONTINUE

```

LH=0  
DO 32 L=1,N  
32 X(L)=X(L)-E(L)\*V(L,J)  
E(J)=- (E(J)/2)  
IF(A3(J)-1.5)44,33,33  
44 A3(J)=0.  
GO TO 33  
90 K=K+1  
IF(F1.LE.F0)GO TO 91  
WRITE(IMP,315)  
315 FORMAT(//,10X,'OPTIM2 NE CONVERGE PAS VERS UNE SOLUTION  
1 MEILLEURE'//)  
DO 314 I=1,N  
314 X(I)=XCHOI(I)  
F1=F0  
91 CONTINUE  
5000 RETURN  
END

**III.2.c1 - Sous-programme d'exploration d'une grille de recherche**



```

31 CALL CHEMIN(N,X,DX,XC,H,XN,XX)
30 CONTINUE
  WRITE(108,100)'4,FCT. CRITERE=',H,'PARAMETRES=',(XC(I),I=1,N)
  RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C PARCOURS DE TOUTES LES BRANCHES DE L'ARBRE C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
  SUBROUTINE CHEMIN(N,X,DX,XC,H,XN,XX)
  DIMENSION X(*),DX(*),XC(*),XN(*),XX(*)
  DIMENSION Z(6),Y(6)
100 FORMAT(1X,A,F8.3,1X,A,6(F8.3,1X))
  CALL FONC(N,G,X)
  WRITE(108,100)'2,FCT.CRITERE,G=',G,'PARAMETRES=',(X(I),I=1,N)
  DO 5 L=1,N
  5 Z(L)=X(L)
  6 IS=0
  DO 70 I=1,N
  DO 71 J=1,2
  FJ=2.*FLOAT(J)-1.5
  Y(I)=X(I)+FJ*DX(I)
  IF(Y(I).GT.XX(I).OR.Y(I).LT.XN(I)) GOTO 71
  DO 8 K=1,N
  IF (K.EQ.I) GOTO 8
  Y(K)=X(K)
  8 CONTINUE
  CALL FONC(N,F,Y)
  WRITE(105,100)'3,FCT.CRITERE,F=',F,'PARAMETRES=',(Y(K),K=1,N)
  IF(F.LT.G) THEN
  DO 9 L=1,N
  9 Z(L)=Y(L)
  G=F
  IS=1
  ENDIF
71 CONTINUE
70 CONTINUE
  IF (IS.EQ.1) THEN
  DO 10 L=1,N
10 X(L)=Z(L)
  GOTO 6
  ENDIF
  IF(G.LT.H) THEN
  DO 11 L=1,N
11 XC(L)=Z(L)
  H=G
  ENDIF
  RETURN
END

```

**III.2.d - Programme de dessin des chroniques de pluie, débit  
(calculé et observé), des réserves et des potentiels hydriques**

\$LARGE

-CC-

CC  
C PROGRAMME DE DESSIN: SORTIES DES CHRONIQUES DE DEBIT OBS ET CALC DES C  
C CHRONIQUES DE PLUIE ET DES CHRONIQUES DES RESERVES EN SEUL BOUT OU EN C  
C PLUSIEURS C  
CC  
COMMON/ET0/QO(7500),QC(7500),XP(7500),XE(7500),ST(7500)  
+,XG(7500),QK(7500)  
COMMON/ET1/N,JD  
100 FORMAT(16F5.3)  
200 FORMAT(20F4.1)  
300 FORMAT(16F5.0)  
400 FORMAT(20F4.0)  
500 FORMAT(16F5.1)  
WRITE(\*,'(A\')')' NB TOTAL DE DONNEES ?'  
READ(\*,\*)N  
WRITE(\*,'(A\')')' DATE DEBUT DESSIN ?'  
READ(\*,\*)JD  
WRITE(\*,'(A\')')' DESSIN EN 1 SEUL BOUT=0 OU EN PLUSIEURS=1 ?'  
READ(\*,\*)JI  
WRITE(\*,'(A\')')' UTILISATION DU FILTRE DE KALMAN OUI=1,NON=0 ?'  
READ(\*,\*)KJ  
WRITE(\*,'(A\')')' POBS ET QOBS SEULEMENT,OUI=1 NON=0 ?'  
READ(\*,\*)JREP  
IF (JREP.EQ.1) GOTO 1  
WRITE(\*,'(A\')')' UTILISATION EVAPO=0 NON=1 ?'  
READ(\*,\*)JENRE  
WRITE(\*,'(A\')')' UTILISATION DES POTENTIELS OUI=1 OU NON=0 ?'  
READ(\*,\*)KREP  
WRITE(\*,'(A\')')' UTILISATION DES HUM15 OUI=1 OU NON=0 ?'.  
READ(\*,\*)LREP  
WRITE(\*,'(A\')')' DESSIN DE XE,ST,XG=1 OU NON=0 ?'  
READ(\*,\*)KD  
1 OPEN(101,FILE='A:QOBS.DAT',STATUS='OLD')  
READ(101,100) (QO(I),I=1,N)  
OPEN(102,FILE='A:POBS.DAT',STATUS='OLD')  
READ(102,200) (XP(I),I=1,N)  
IF (JREP.EQ.1) GOTO 2  
OPEN(106,FILE='A:QCAL.DAT',STATUS='OLD')  
READ(106,100) (QC(I),I=1,N)  
IF(KJ.EQ.1) THEN  
OPEN(110,FILE='A:QKAL.DAT',STATUS='OLD')  
READ(110,100) (QK(I),I=501,N)  
ENDIF  
IF(JENRE.EQ.0) THEN  
OPEN(103,FILE='A:SCAL.DAT',STATUS='OLD')  
READ(103,400) (ST(I),I=1,N)  
ELSE  
OPEN(104,FILE='A:HOBS.DAT',STATUS='OLD')  
READ(104,400) (XE(I),I=1,N)  
ENDIF  
IF(KREP.EQ.1.OR.LREP.EQ.1) THEN  
OPEN(107,FILE='A:TOBS.DAT',STATUS='OLD')  
IF(LREP.EQ.1) THEN  
READ(107,500) (XG(I),I=1,N)  
ELSE  
READ(107,300) (XG(I),I=1,N)  
ENDIF  
ENDIF  
2 OPEN(108,FILE='PRN')  
IZ=N  
IA=MIN(IZ,JD)  
C DESSIN DES QOBS,QCALC ET DE LA RESERVE  
IY=IZ-1  
IF (JI.EQ.1) GOTO 3  
IF(JREP.EQ.1)THEN  
CALL DESSIN(IA,IY,QO,QO,XP)  
GOTO 4



```

N=NP
DO5 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) N=J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 6
T(J)=FLOAT(L)
Q(J)=DO(L)
P(J)=Y(2)-PO(L)*(Y(2)-Y(1))/(4.*PMAX)
5 CONTINUE
6 TEX='C1'
CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
IF(DO(L).NE.PO(L)) CALL KORTOR(2,N,T,P,TEX)
TEX='T2'
DO 7 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 8
7 Q(J)=DC(L)
8 CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
4 CONTINUE
RETURN
END

```

C  
C DESSIN DES RESERVES  
C

```

SUBROUTINE DES1(IA,IY,DO)
DIMENSION DO(1),T(2000),Q(2000),X(3),Y(3)
1,P(2000)
CHARACTER TEX*80
100 FORMAT(F5.1)
TEX=' '
NP=(IY-IA)/4
M=IY-IA+1
X(1)=FLOAT(IA)
X(2)=FLOAT(IY)
X(3)=31.5
Y(1)=0.
Y(2)=0.
PMAX=0.
DO 3 I=1,M
Y(2)=MAX(Y(2),DO(I+IA))
Y(1)=MIN(Y(1),DO(I+IA))
3 CONTINUE
Y(1)=MIN(0.,Y(1))
Y(2)=1.2*Y(2)
Y(3)=17.
CALL KORTOR (0,1,X,Y,TEX)
K=1+(IY-IA)/NP
DO4 I=1,K
N=NP
DO5 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) N=J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 6
T(J)=FLOAT(L)
Q(J)=DO(L)
5 CONTINUE
6 TEX='C1'
CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
4 CONTINUE
RETURN
END

```

## C DESSIN DES CHRONIQUES EN PLUSIEURS BOUTS

6

SUBROUTINE DES2( IA, IY, DO, DC, PO)

DIMENSION DO(1),DC(1),PO(1),T(3650),Q(3650),X(3),Y(3)

J. P(3650)

COMMON/ET1/NV.ID

```

CHARACTER TEX*80
100 FORMAT(F5.1)
TEX=' '
NP=(NV-JD)/2
M=IY-IA+1
X(3)=31.5
Y(1)=0.
Y(2)=0.
PMAX=0.
DO 3 I=1,M
Y(2)=MAX(Y(2),DC(I+IA))
Y(2)=MAX(Y(2),DO(I+IA))
PMAX=MAX(PMAX,PO(I+IA))
Y(1)=MIN(Y(1),DC(I+IA))
3 CONTINUE
IF(PMAX.EQ.0.) PMAX=1.
IF(DO(M).NE.PO(M)) WRITE(108,100) PMAX
Y(1)=MIN(0.,Y(1))
Y(2)=1.2*Y(2)
Y(3)=17.
K=1+(IY-IA)/NP
DO4 I=1,K
N=NP
DO5 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) N=J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 6
T(J)=FLOAT(L)
Q(J)=DO(L)
5 P(J)=Y(2)-PO(L)*(Y(2)-Y(1))/(4.*PMAX)
6 X(1)=T(1)-1
X(2)=X(1)+FLOAT(NP)
CALL KORTOR (0,1,X,Y,TEX)
TEX='C1'
CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
IF(DO(L).NE.PO(L)) CALL KORTOR(2,N,T,P,TEX)
TEX='T2'
DO 7 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 8
7 Q(J)=DC(L)
8 CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
TEX=' '
4 CONTINUE
RETURN
END

```

C  
C DESSIN DES RESERVES  
C

```

SUBROUTINE DES3(IA,IY,DO)
DIMENSION DO(1),T(3650),Q(3650),X(3),Y(3)
1,P(3650)
COMMON/ET1/NV,JD
CHARACTER TEX*80
100 FORMAT(F5.1)
TEX=' '
NP=(NV-JD)/2
M=IY-IA+1
X(3)=31.5
Y(1)=0.
Y(2)=0.
PMAX=0.
DO 3 I=1,M
Y(2)=MAX(Y(2),DO(I+IA))
Y(1)=MIN(Y(1),DO(I+IA))
3 CONTINUE
Y(1)=MIN(0.,Y(1))
Y(2)=1.2*Y(2)

```

Y(3)=17.

-70-

K=1+(IY-IA)/NP

DO4 I=1,K

N=NP

DO5 J=1,NP

L=NP\*(I-1)+IA+J-1

IF(L.GT.IY) N=J-1

IF(L.GT.IY) GOTO 6

T(J)=FLOAT(L)

Q(J)=DO(L)

5 CONTINUE

6 X(1)=T(1)-1

X(2)=X(1)+FLOAT(NP)

CALL KORTOR (0,1,X,Y,TEX)

TEX='C1'

CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)

TEX=' '

4 CONTINUE

RETURN

END

CC

C DESSIN EN UN SEUL BOUT DES CHRONIQUES DE DEBIT OBSERVE, CALCULE, C

C ET CORRIGE PAR LE FILTRE DE KALMAN C

C QO=CONTINU, QC=POINTILLE, QK=TIRETE C

CC

SUBROUTINE DES4(IA,IY,DO,DC,PO)

DIMENSION DO(1),DC(1),PO(1),T(2000),Q(2000),X(3),Y(3)

1,P(2000)

CHARACTER TEX\*80

100 FORMAT(F5.1)

TEX=' '

NP=(IY-IA)/4

M=IY-IA+1

X(1)=FLOAT(IA)

X(2)=FLOAT(IY)

X(3)=31.5

Y(1)=0.

Y(2)=0.

DO 3 I=1,M

Y(2)=MAX(Y(2),DC(I+IA))

Y(2)=MAX(Y(2),DO(I+IA))

Y(2)=MAX(Y(2),PO(I+IA))

Y(1)=MIN(Y(1),DC(I+IA))

Y(1)=MIN(Y(1),PO(I+IA))

3 CONTINUE

Y(1)=MIN(0.,Y(1))

Y(2)=1.2\*Y(2)

Y(3)=17.

CALL KORTOR (0,1,X,Y,TEX)

K=1+(IY-IA)/NP

DO4 I=1,K

N=NP

DO5 J=1,NP

L=NP\*(I-1)+IA+J-1

IF(L.GT.IY) GOTO 6

T(J)=FLOAT(L)

Q(J)=DO(L)

5 CONTINUE

6 TEX='C1'

CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)

DO9 J=1,NP

L=NP\*(I-1)+IA+J-1

IF(L.GT.IY) GOTO 10

P(J)=PO(L)

9 CONTINUE

10 TEX='T2'

CALL KORTOR(2,N,T,P,TEX)

TEX='P3'

```

DO 7 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 8
7 Q(J)=DC(L)
8 CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
4 CONTINUE
RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C DESSIN EN PLUSIEURS BOUTS DES DEBITS CALCULES, OBSERVES, ET C
C CORRIGES PAR KALMAN C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE DES5(IA,IY,DO,DC,PO)
DIMENSION DO(1),DC(1),PO(1),T(3650),Q(3650),X(3),Y(3)
1,P(3650)
COMMON/ET1/NV,JD
CHARACTER TEX*80
100 FORMAT(F5.1)
TEX=' '
NP=(NV-JD)/2
M=IY-IA+1
X(3)=31.5
Y(1)=0.
Y(2)=0.
DO 3 I=1,M
Y(2)=MAX(Y(2),DC(I+IA))
Y(2)=MAX(Y(2),DO(I+IA))
Y(2)=MAX(Y(2),PO(I+IA))
Y(1)=MIN(Y(1),DC(I+IA))
Y(1)=MIN(Y(1),PO(I+IA))
3 CONTINUE
Y(1)=MIN(0.,Y(1))
Y(2)=1.2*Y(2)
Y(3)=17.
K=1+(IY-IA)/NP
DO4 I=1,K
N=NP
DO5 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) N=J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 6
T(J)=FLOAT(L)
Q(J)=DO(L)
5 P(J)=PO(L)
6 X(1)=T(1)-1
X(2)=X(1)+FLOAT(NP)
CALL KORTOR (0,1,X,Y,TEX)
TEX='C1'
CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
TEX='T2'
CALL KORTOR(2,N,T,P,TEX)
TEX='P3'
DO 7 J=1,NP
L=NP*(I-1)+IA+J-1
IF(L.GT.IY) GOTO 8
7 Q(J)=DC(L)
8 CALL KORTOR(2,N,T,Q,TEX)
TEX=' '
4 CONTINUE
RETURN
END

```

III.2.e - Programmation du modèle de base A avec le module de MOREL-SEYTOUX

e1 - sous-programme de calcul du débit avec 2 réservoirs  
(transfert et production)

e2 - sous-programme de modélisation de l'infiltration



ENDF  
 CCCC INTENSITE DE PLUIE >0  
 CCCC Y A T-IL EU SUBMERSION?  
 IF (D.GT.0.) GOTO 2  
 CCC SI OUI, INTENSITE DE PLUIE >CONDUCTIVITE?  
 IF(R.LE.SK) THEN  
 PC=PC+R\*G  
 XI=R  
 TI=XI  
 Q=0.  
 GOTO 4  
 ENDF  
 CCC INTENSITE DE PLUIE >CONDUCTIVITE, CALCUL DE L'HUMIDITE INITIALE  
 T0=T/U\*\*(1./FLOAT(N))  
 S=H\*(T-T0)  
 XK=8.\*SK/S  
 B=S\*SK/(R-SK)-PC  
 CC 1° CAS PARTICULIER PAS DE SUBMERSION  
 IF (B.GT.R\*G) THEN  
 PC=PC+R\*G  
 XI=R  
 TI=XI  
 Q=0.  
 GOTO 4  
 ENDF  
 CC SUBMERSION  
 X=B/R  
 D=G-X  
 R1=R  
 U=1.  
 IF(X.EQ.G) THEN  
 XI=0.  
 TI=XI  
 D=G  
 W=PC+R  
 Q=R\*G  
 GOTO 4  
 ENDF  
 C 2° CAS PARTICULIER  
 IF(B.LT.0.) THEN  
 X=0.  
 D=G  
 R1=SK\*(1.+S/PC)  
 ENDF  
 DK=XK\*(G-X)  
 DEK=EXP(-DK)  
 IF(DK.GT.10.) DEK=0.  
 XI=SK+(R1-SK)/XK/(G-X)\*(1.-DEK)  
 W=PC+R\*X+(G-X)\*XI  
 TI=W-PC  
 Q=(R-XI)\*D  
 GOTO 4  
 CCCC IL N'Y A PAS EU SUBMERSION  
 CCC SOIT INTENSITE DE PLUIE =EVAPORATION  
 2 IF(R.EQ.E) THEN  
 U=U+N\*SK\*G/W  
 Q=0.  
 XI=R  
 TI=XI  
 GOTO 4  
 ENDF  
 CCC SOIT INTENSITE DE PLUIE >< EVAPORATION  
 CC INTENSITE DE PLUIE >CONDUCTIVITE  
 IF (R.GE.SK) THEN  
 D=D+G  
 CK=XK\*(D-G)  
 IF(XK\*D.GT.10.) THEN  
 IF(CK.GT.10.) THEN

```
CEK=0.
ELSE
CEK=EXP(-CK)
ENDIF
ELSE
CEK=EXP(XK*G-1.)/EXP(XK*D)
ENDIF
XI=SK+(R1-SK)/XK/G*CEK
W=W+XI*G
TI=XI
Q=(R-XI)*G
GOTO 4
ELSE
CC INTENSITE DE PLUIE<CONDUCTIVITE
W2=W+(R-E)*G/2.
W=W2+(R-E)*G/2.
FEK=FLOAT(N)*(R-E)*G/W2
IF(FEK.GT.20.) THEN
U=SK/(R-E)
Q=0.
XI=R
TI=XI
GOTO 4
ENDIF
C=SK/U/(SK/U-R+E)*EXP(FEK)
U=(C-1.)/C*SK/(R-E)
Q=0.
XI=R
TI=XI
ENDIF
4 RETURN
END
```

### III.2.f - Programmes utilisés en prévision

- f1 - sous-programmes GR3 et GR4 décalant de  $2\Delta t$   
le débit calculé Q
- f2 - Rappels sur le filtre de KALMAN
- f3 - sous-programme de correction des débits

III.2.f1 - sous-programmes GR3 et GR4 décalant de  $2 \Delta t$  le débit calculé Q



III.2.f2 - Rappels sur le filtre de KALMAN

### III.2.f2 - Rappels sur le filtre de Kalman : (MIQUEL, 1978)

Soit une variable  $x$  qui est mesurée. Le résultat  $z$  de cette mesure est perturbé par des bruits d'origines diverses. Le filtrage consiste, à partir d'une suite de  $z$  observés, à estimer le signal utile  $x$ . Lorsque le signal  $x$  est un terme déterministe on écrira :

$$\begin{array}{ccc} z & = & x + b \\ \text{observation} & & \text{terme} \\ (\text{mesure}) & & \text{déterministe} \\ & & (\text{modèle}) \end{array} \quad \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \quad \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \quad \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array}$$

terme  
aléatoire  
(bruits)

Le filtrage peut prendre plusieurs aspects :

- lissage ou interpolation : estimation de  $x$  entre deux instants de mesure ;
- filtrage proprement dit : estimation de  $x$  à l'instant de la mesure ;
- prédiction ou extrapolation : estimation de  $x$  à un instant postérieur à la dernière mesure ;
- identification : ce n'est plus  $x$  qu'on estime, mais les paramètres de son modèle d'évolution.

A la différence du filtre des moindres carrés, qui identifie de manière globale et sur la totalité de l'information disponible, le filtre de Kalman identifie en corrigeant les paramètres au fur et à mesure que lui parvient l'information de façon à minimiser l'erreur d'estimation des paramètres à partir de l'erreur de prévision. Il s'agit donc en quelque sorte, d'une estimation liée à la mesure (ou à l'information) précédente ; et c'est en ce sens là qu'il est plus opérationnel en prévision.

L'estimateur de Kalman est optimal parmi tous les estimateurs à variance minimale des écarts de prévision si les hypothèses suivantes sont vérifiées :

- les résidus sont des bruits blancs ;
- les résidus sont indépendants des autres variables et indépendants entre eux ;
- les termes non aléatoires du système sont parfaitement connus à chaque instant  $t$  ;
- toutes les variables sont gaussiennes.

Pour le filtre de Kalman, on considère un système évolutif décrit par une variable  $x$  dite d'état, inconnue, mais dont on connaît le modèle d'évolution décrit par la variable vectorielle  $X(t)$  de sorte que le système s'écrit :

$$\frac{dX}{dt} = D.X + E.F + W \text{ équation d'état}$$

(1)

$Z = C \cdot X + V$  équation de mesure

où :

$X$  : variable d'état inconnue qu'on veut estimer

$Z$  : mesure connue

$V, W$  : résidus aléatoires inconnus mais dont on connaît les matrices de co-variance et dont les moyennes sont nulles

$A, B, C$  : matrices connues qui décrivent l'évolution du système

$F$  : commande (connue)

L'estimateur de Kalman s'écrit sous la forme :

$$\hat{X}(t+1) = D(t) \hat{X}(t) + K(t) (z(t) - \hat{z}(t))$$

Les grandeurs estimées sont surmontées d'un chapeau.

Dès qu'un écart est observé entre la valeur estimée et la valeur observée, on corrige proportionnellement l'estimation de  $X(t)$ .

Le terme dit de commande, qui figure dans l'équation d'état permet de tenir compte d'"excitations" externes au modèle d'évolution.

La discréétisation du système (1) au temps  $k$  donne :

$$\begin{aligned} X_k &= \emptyset_{k-1} \cdot X_{k-1} + E_{k-1} \cdot F_{k-1} + W_{k-1} \\ Z_k &= C_{k-1} \cdot X_{k-1} + V_{k-1} \end{aligned} \quad (2)$$

où  $\emptyset$  est la matrice de transition pour passer de  $X_{k-1}$  à  $X_k$ .

Alors l'estimation de  $X$  au temps  $k$  sera :

$$\hat{X}_k = \emptyset_{k-1} \cdot \hat{X}_{k-1} + F_{k-1} + \underbrace{K_k (Z_k - C_k (\hat{X}_{k-1} + F_{k-1}))}_a$$

où :

$a$  est la correction due aux écarts entre mesure réelle et mesure attendue.

$K_k$  est appellé matrice de correction ou gain du filtre.

Si on pose :

$Q$  = matrice de covariance de  $W$

$R$  = matrice de covariance de  $V$

$P$  = matrice de covariance des erreurs d'estimation de la variable.

Lorsque  $P$  est minimale, Kalman a montré que :

$$K_k = \frac{(\emptyset_{k-1} \cdot P_{k-1} \cdot \emptyset_{k-1}^T + Q_{k-1}) C_k^T}{(C_k (\emptyset_{k-1} \cdot P_{k-1} \cdot \emptyset_{k-1}^T + Q_{k-1}) C_k^T + R_k)}$$

$$\text{et } P_{k-1} = (\emptyset_{k-1} \cdot P_{k-1} \cdot \emptyset_{k-1}^T + Q_{k-1})$$

$$P_k = (P_{k-1} - K_k \cdot C_k) P_{k-1}$$

Pour l'application du filtre, la première étape consiste à choisir la variable d'état  $X$  ; le choix ne sera pas le même si on fait de la prévision ou de l'identification : pour la prévision les paramètres du modèle initial sont parfaitement connus par contre pour l'identification les paramètres sont à réévaluer.

La deuxième étape est celle de l'information a priori : au temps 0 il faut estimer la valeur de  $\hat{X}_0$  et  $P_0$ . On peut se permettre une certaine erreur sur ces estimations car cette information est de moins en moins déterminante au fur et à mesure que l'on avance grâce aux corrections du filtre.

Cependant, une erreur trop importante rendra le filtre trop "mou" (correction faible) ou trop "énergique" (correction forte).

Il faut aussi définir les matrices  $\emptyset$ ,  $B$ ,  $C$  en fonction du temps ainsi que les estimations des matrices  $Q$  et  $R$  des covariances des résidus aléatoires. (les erreurs d'estimation peuvent aussi rendre le filtre trop mou ou trop énergique).

La dernière étape consiste à appliquer les différentes équations du filtre décrites précédemment au temps  $k$  à partir de l'information du temps  $k-1$ .

**III.2.f3 - Sous-programme de correction des débits**

— 4 —

III.2.g - sous-programme GR3' combinant les données d'évaporation et d'humidité pour réévaluer le niveau du réservoir S



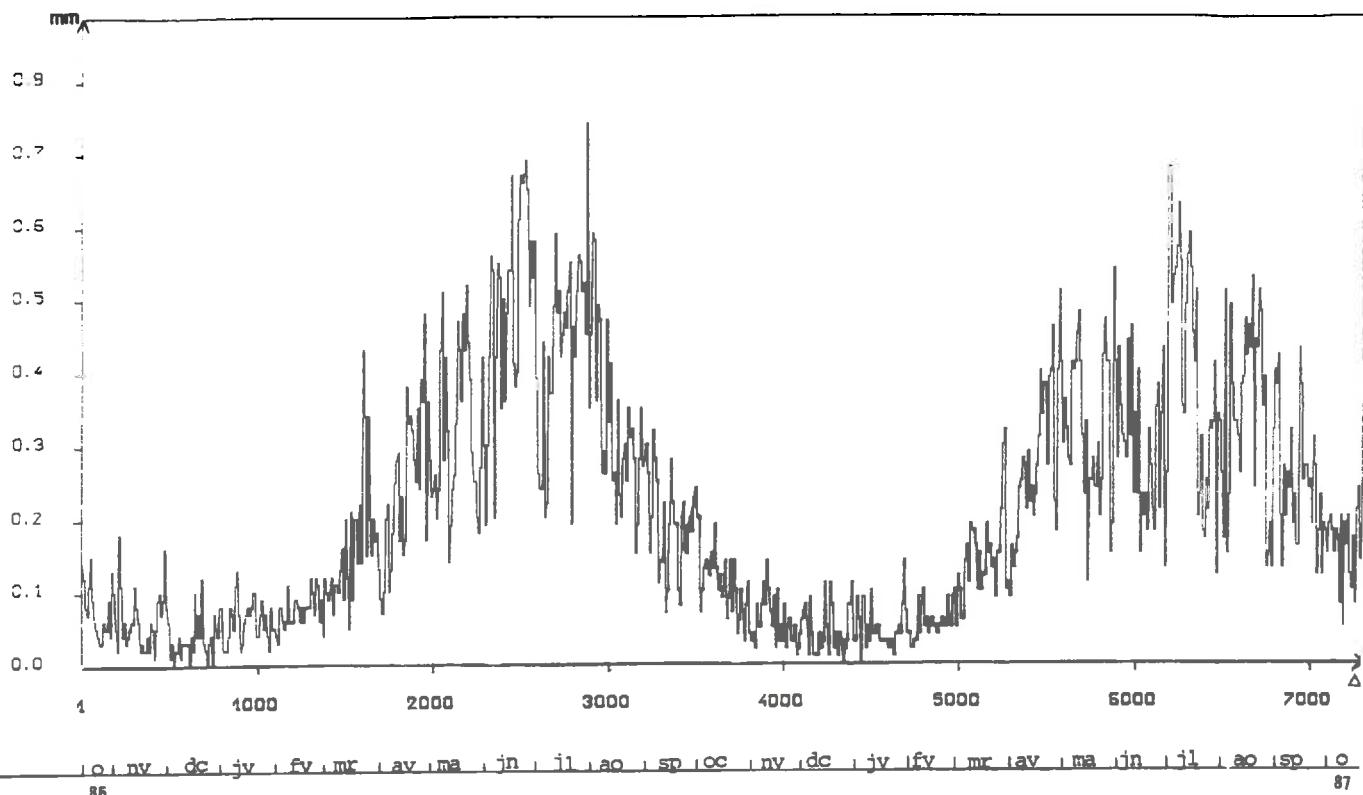
A N N E X E IV

Dessin des chroniques de variation des données

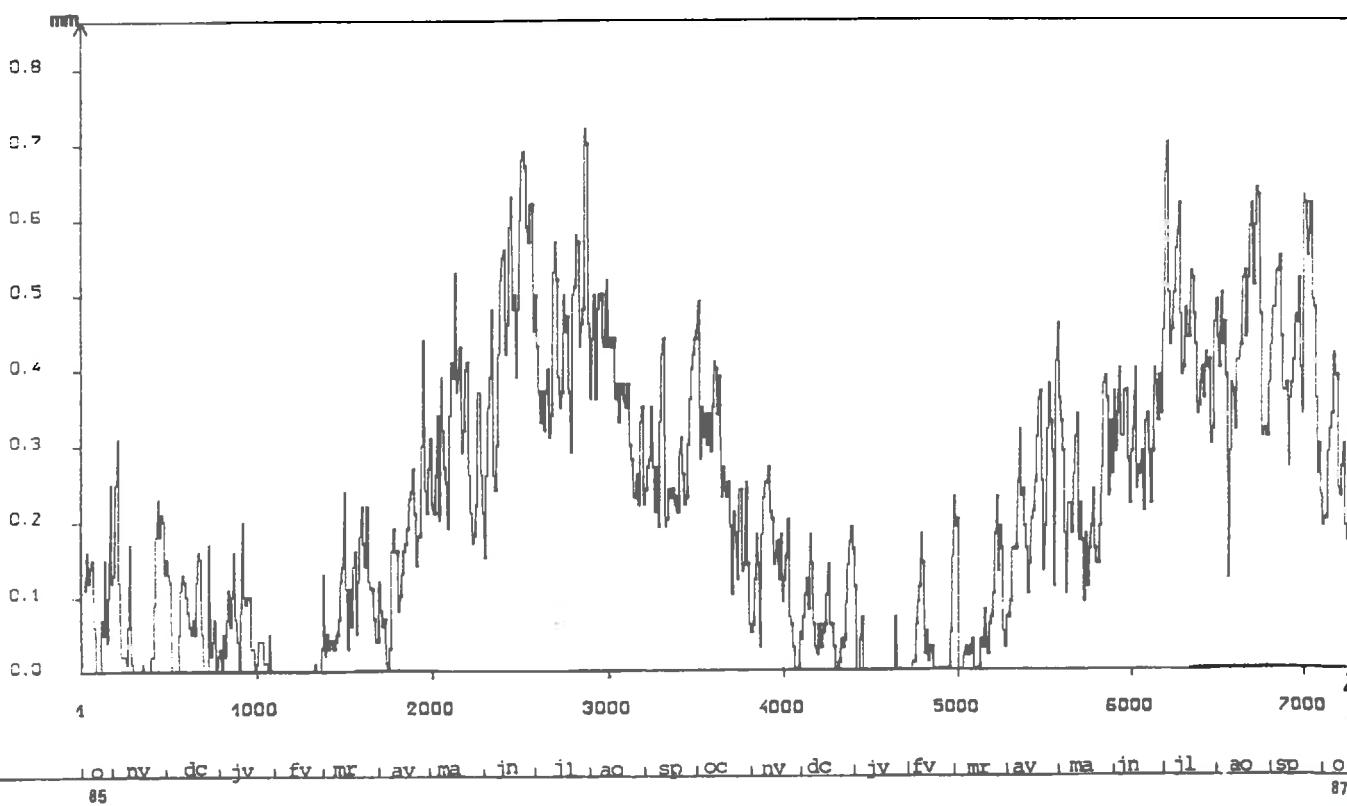
**IV.1 - Chroniques des lames d'eau évaporées (10/85-10/87)**

- avec  $E = (t/6)1.4$
- avec ETP de PENMAN

Lame d'eau évaporée en mm avec  $E=(t/6)^{1.4}$  (10/85-10/87)



Lame d'eau évaporée en mm avec ETP de PENMAN (10/85-10/87)



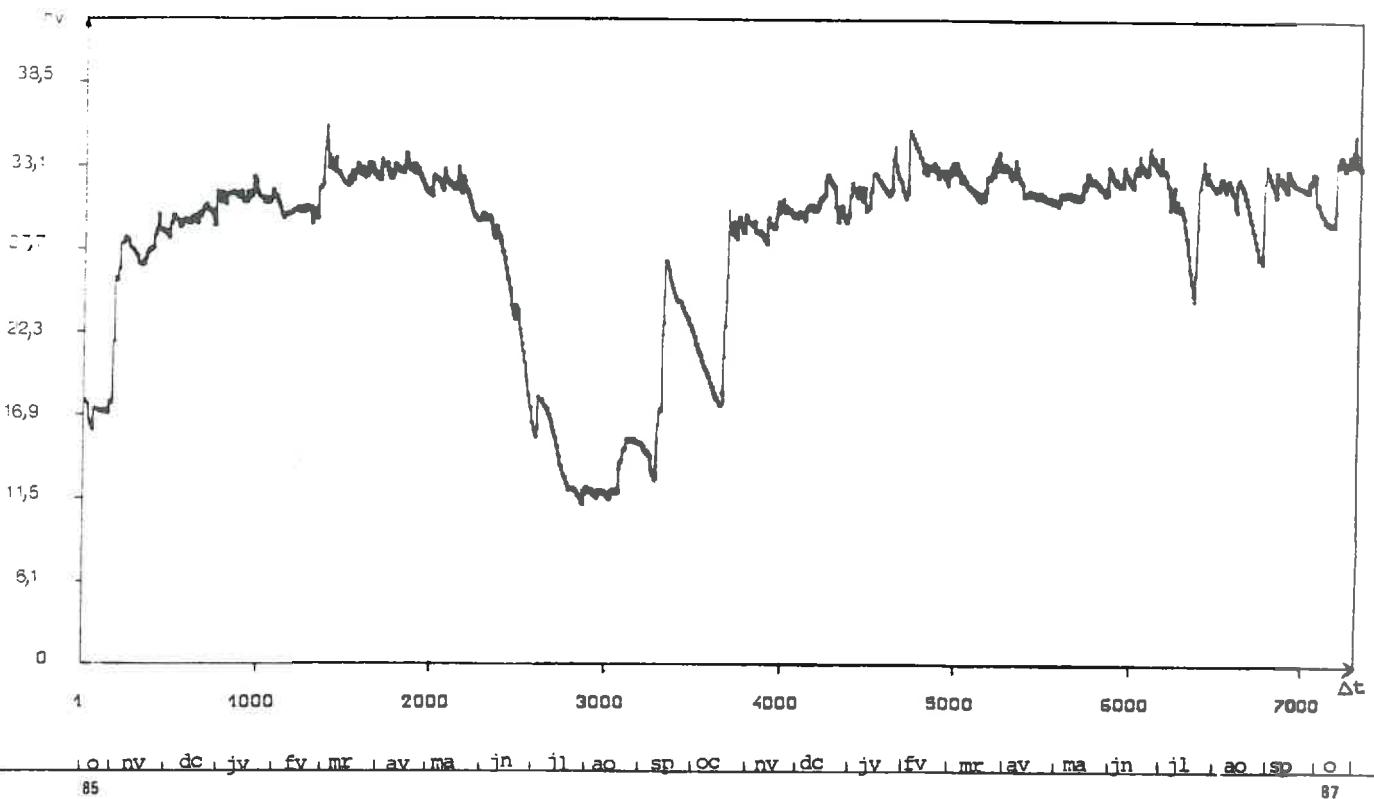
**IV.2 - Chroniques d'humidité (10/85-10/87)**

**a - à différentes profondeurs**

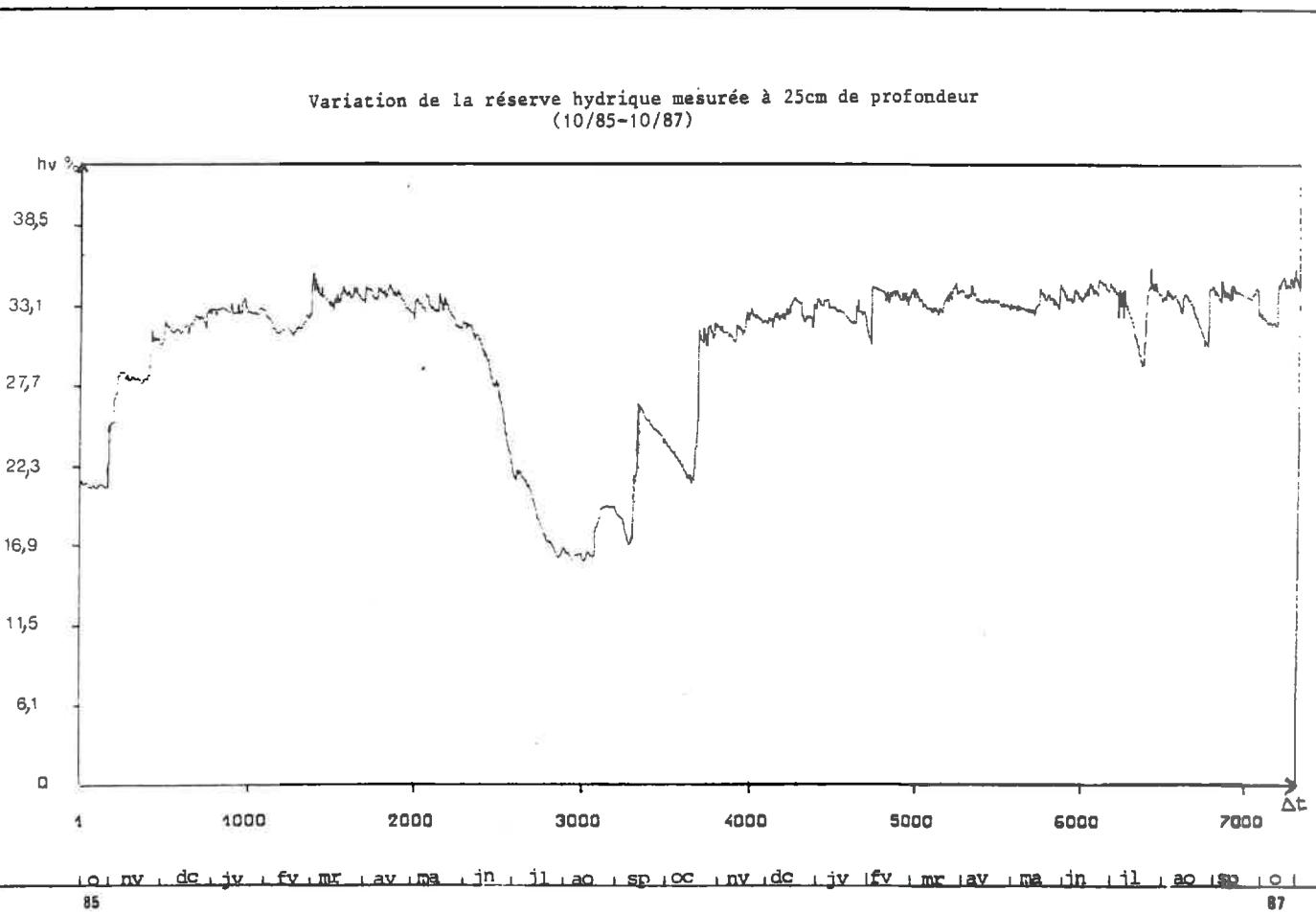
**b - en cumulant les profondeurs**

**IV.2.a - Chroniques d'humidité à différentes profondeurs**

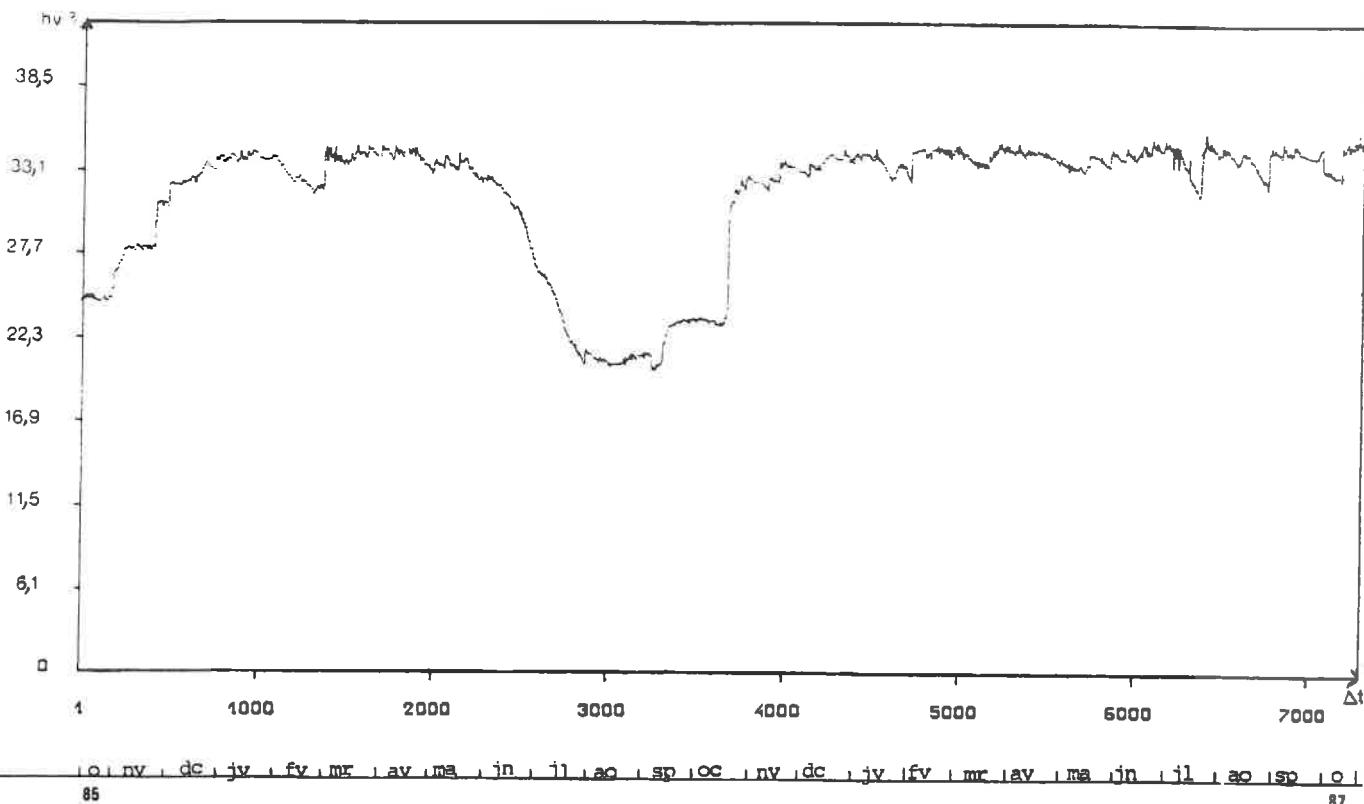
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 15cm de profondeur  
(10/85-10/87)



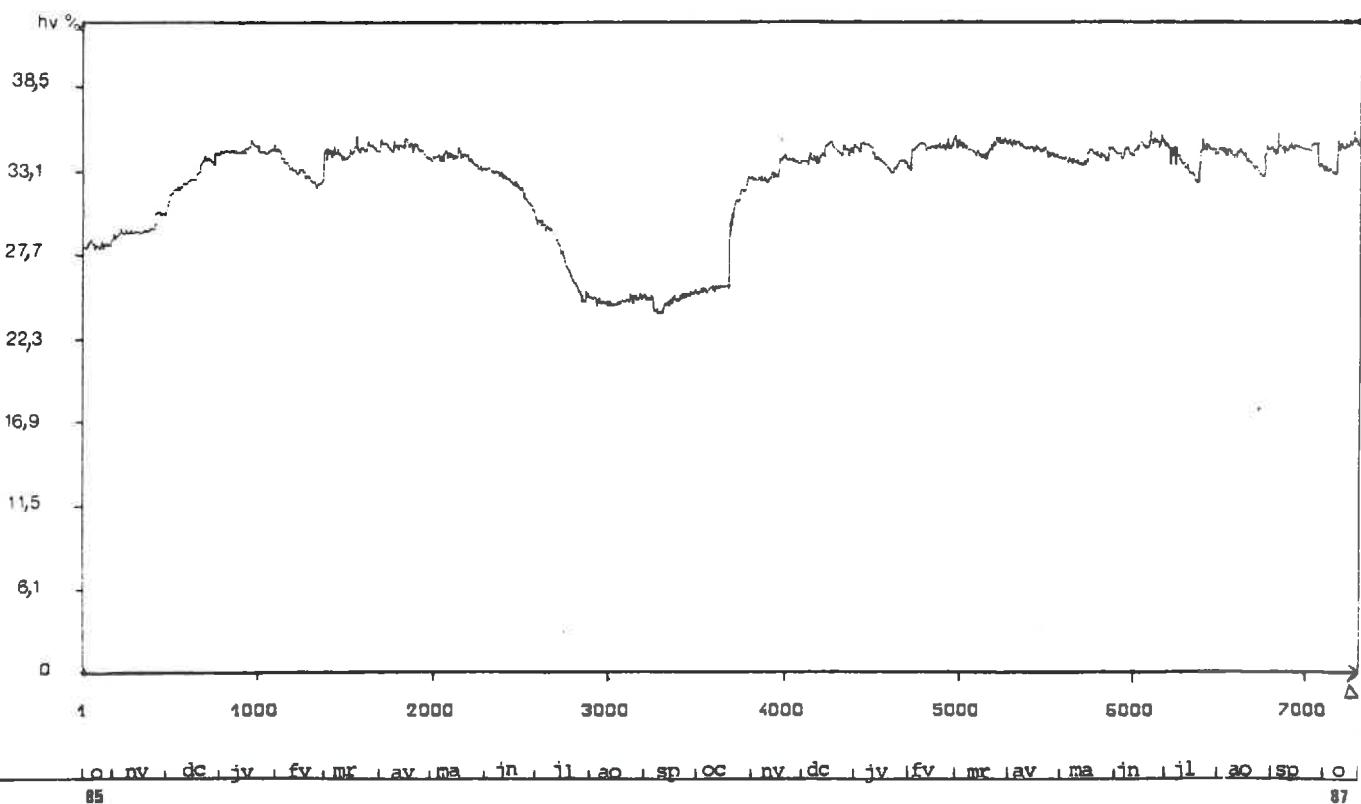
Variation de la réserve hydrique mesurée à 25cm de profondeur  
(10/85-10/87)



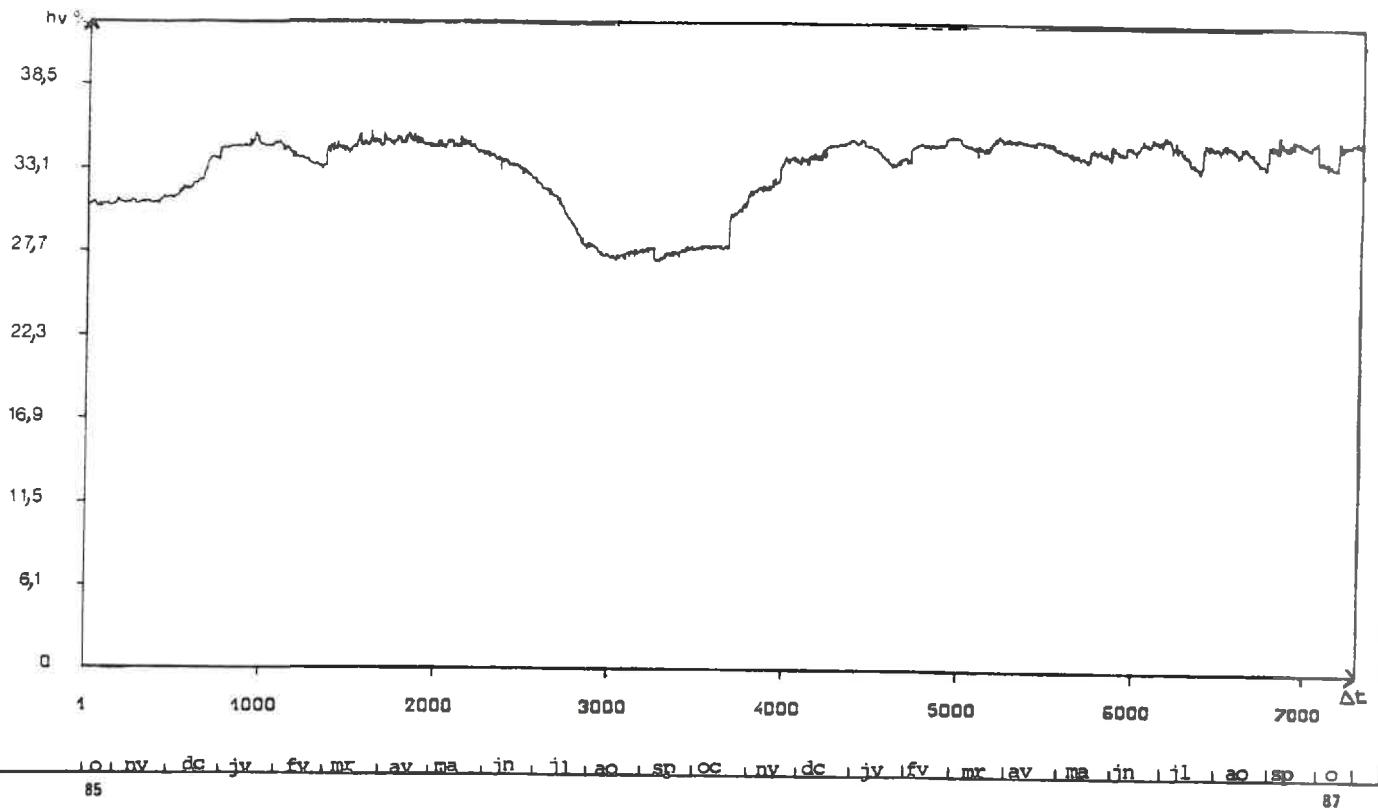
Variation de la réserve hydrique mesurée à 35cm de profondeur  
(10/85-10/87)



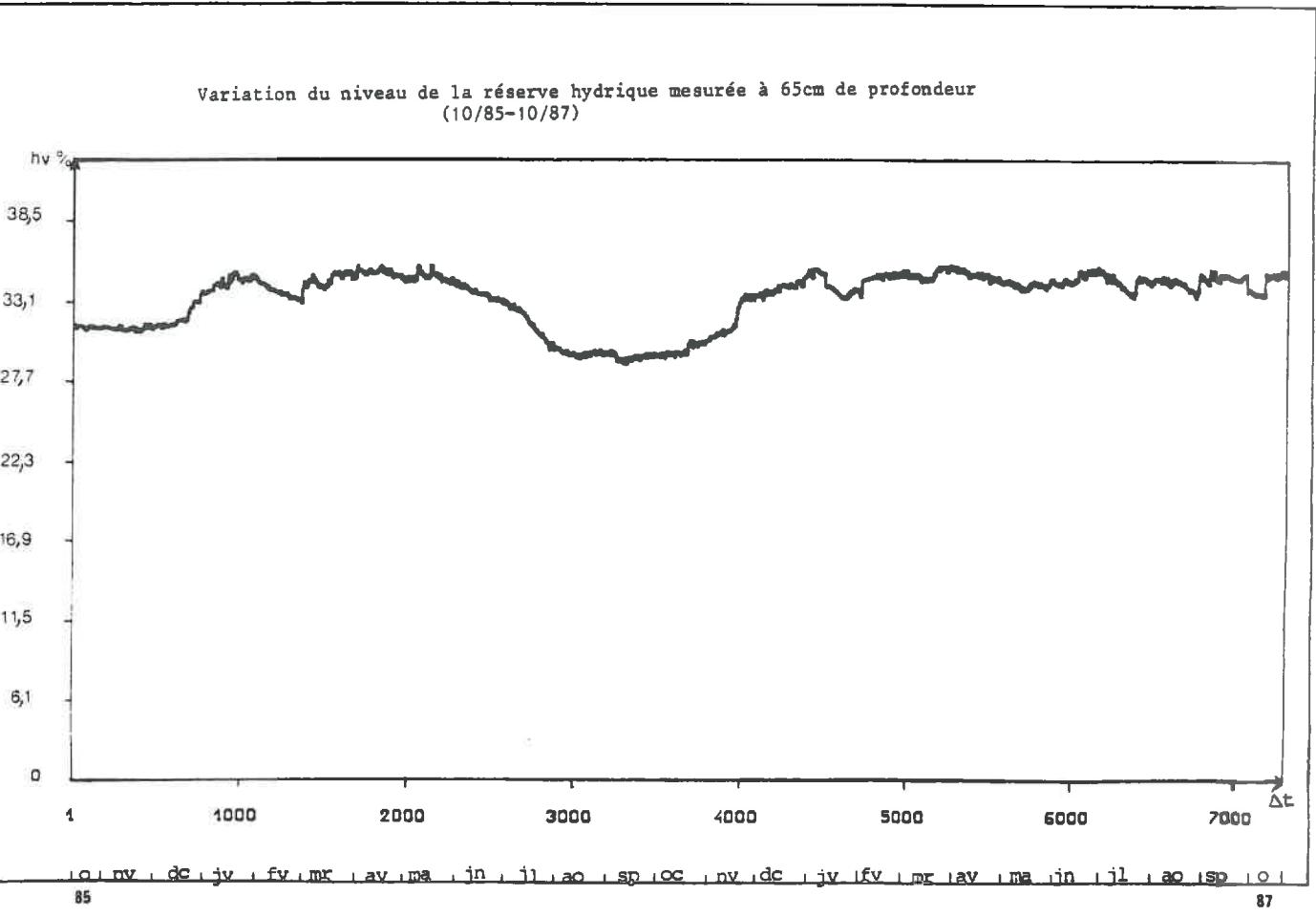
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 45cm de profondeur  
(10/85-10/87)



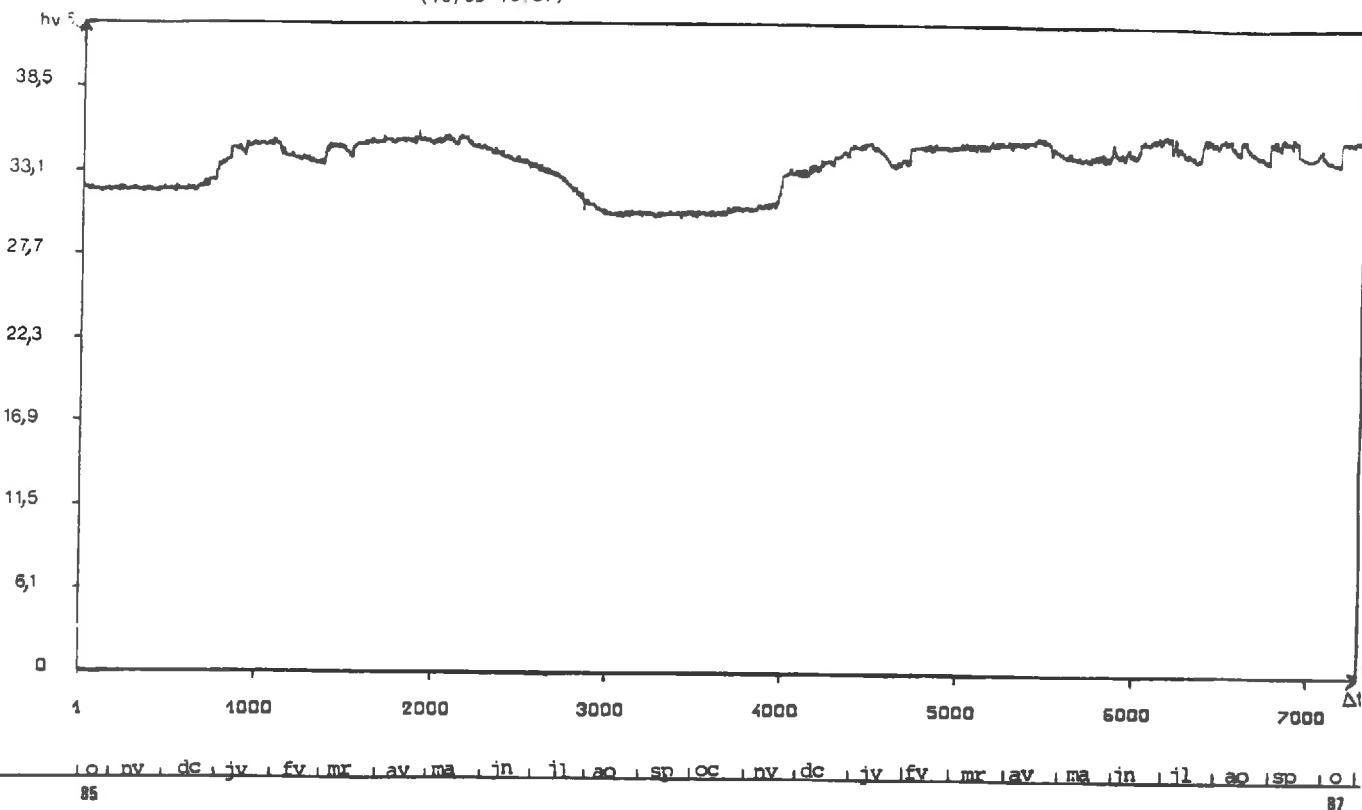
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 55cm de profondeur  
(10/85-10/87)



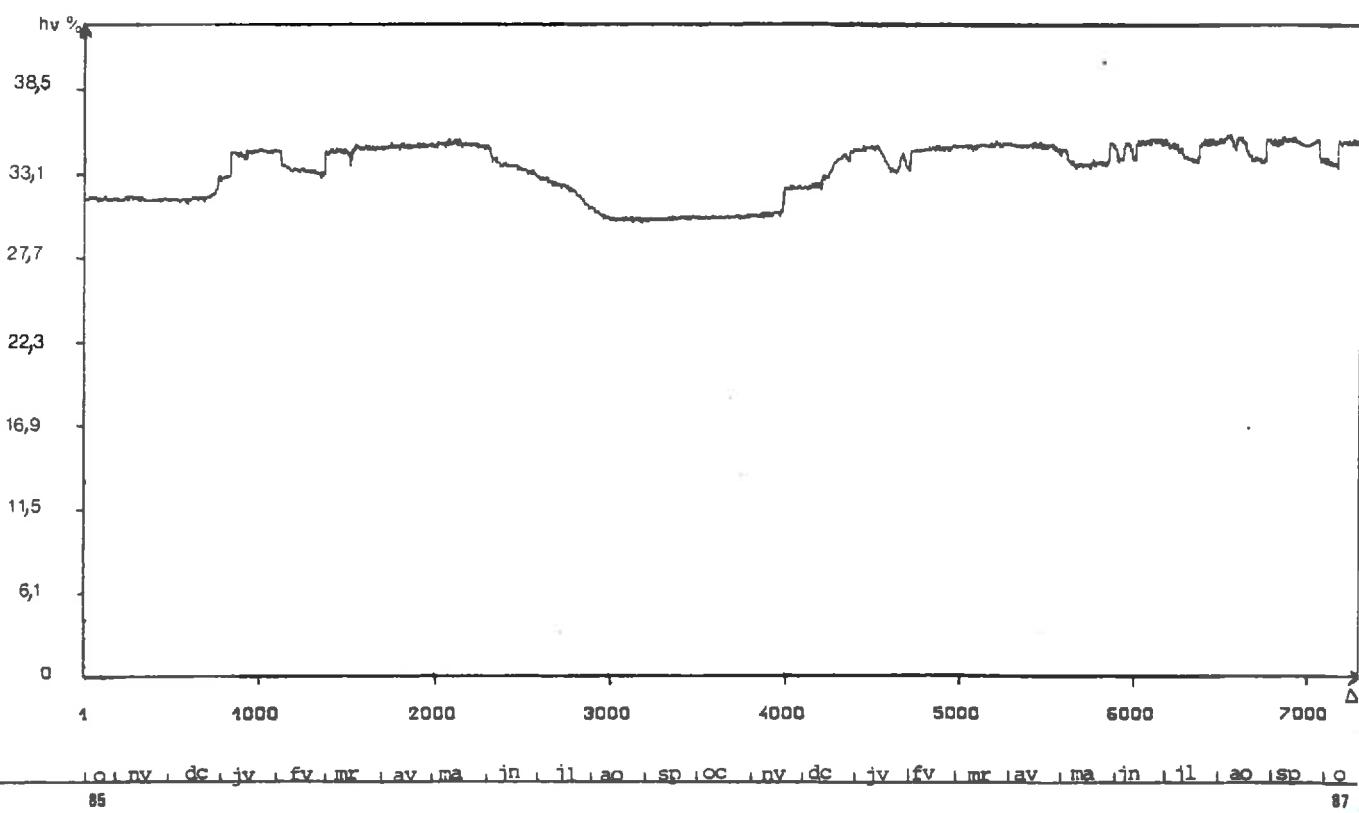
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 65cm de profondeur  
(10/85-10/87)



Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 75cm de profondeur  
(10/85-10/87)

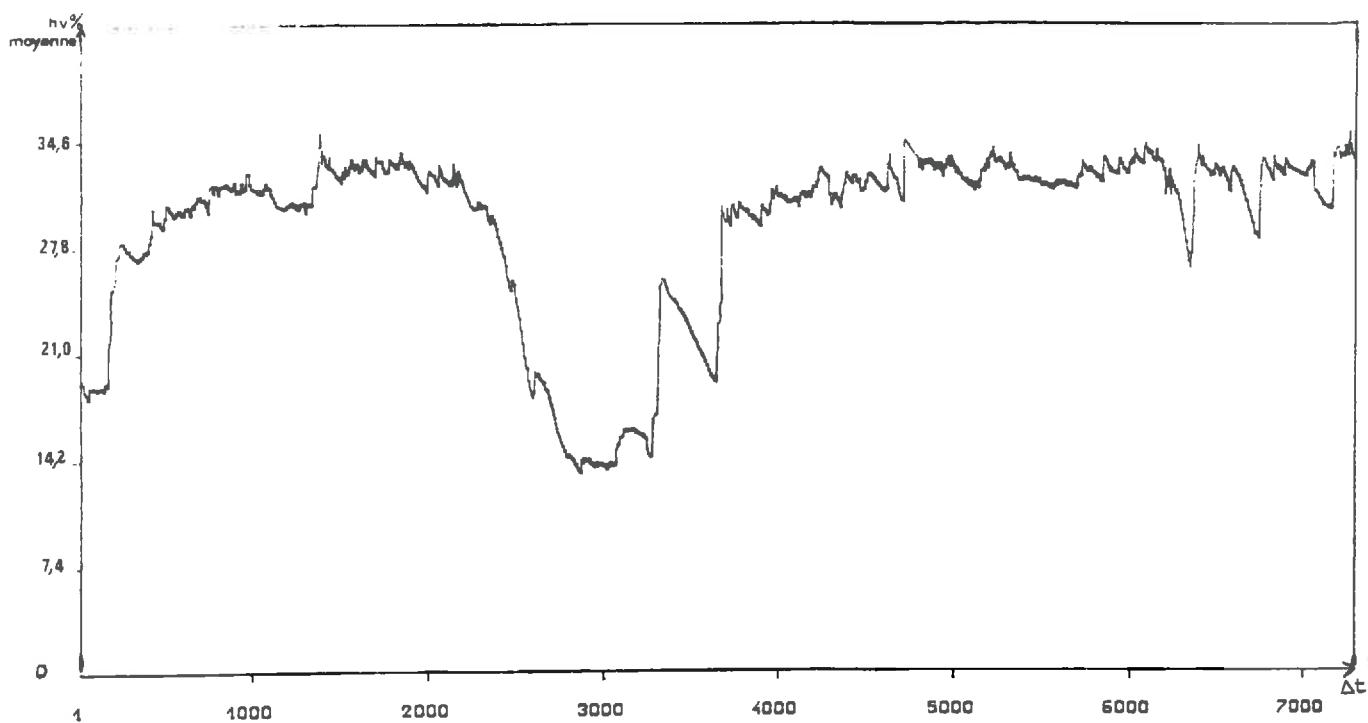


Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 85cm de profondeur  
(10/85-10/87)



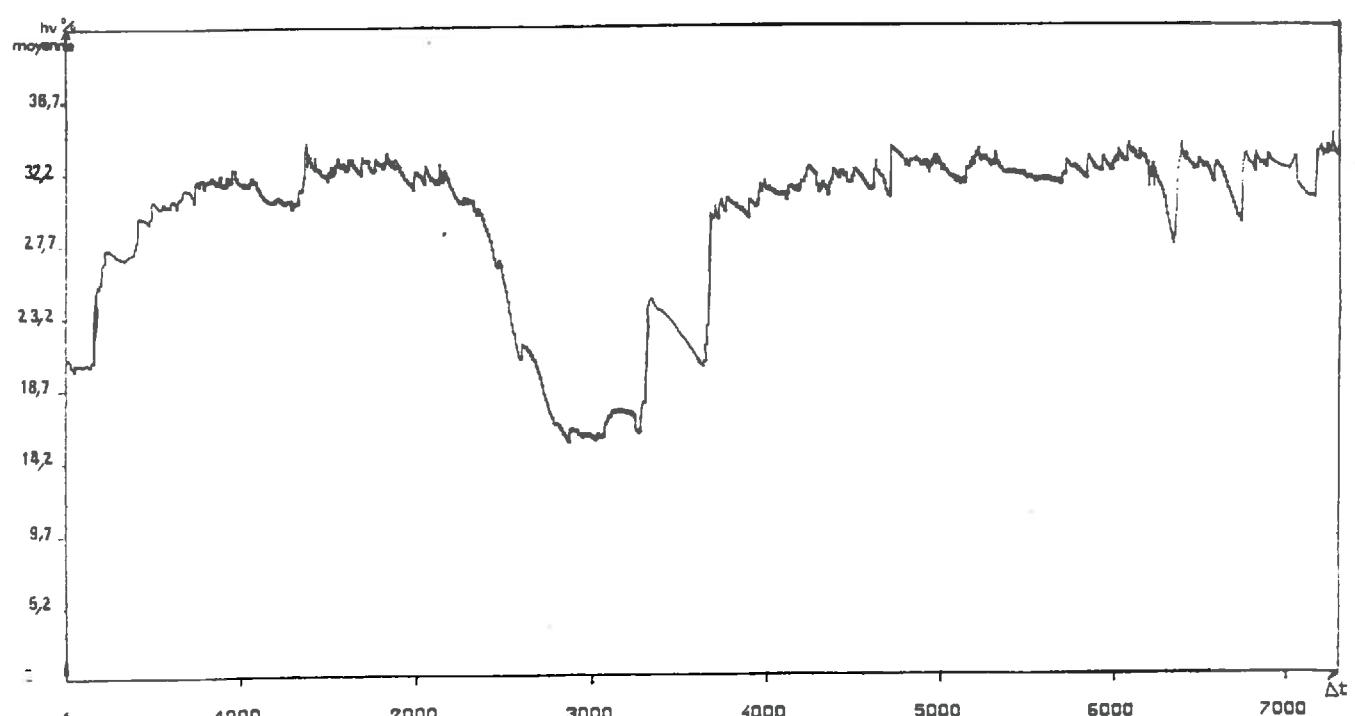
**IV.2.b - Chroniques d'humidité en cumulant les profondeurs**

Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée en cumulant  
les valeurs pour 15+25cm de profondeur (10/85-10/87)



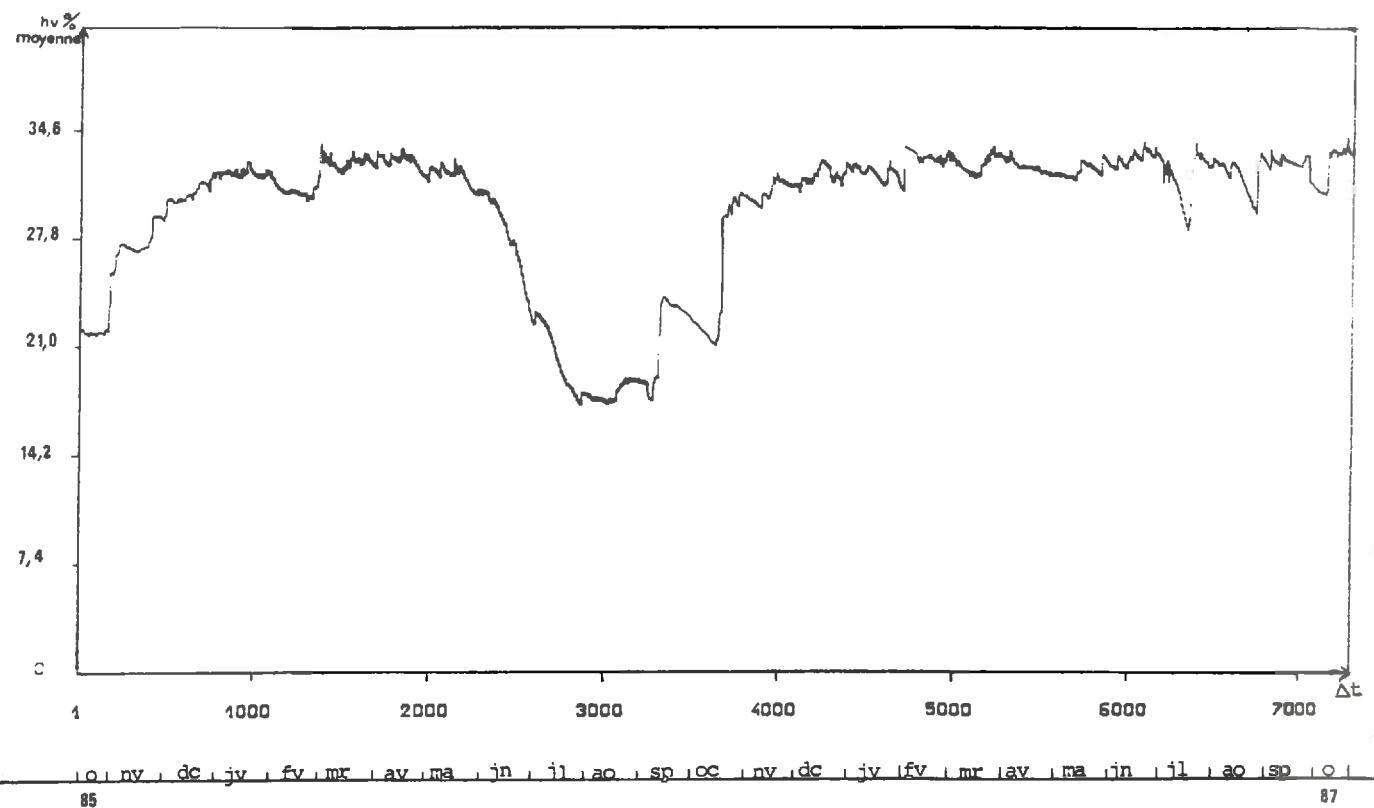
10 nv dc jv fv mr av ma jn j1 ao sp oc nv dc jv fv mr av ma jn j1 ao sp 10  
85 87

Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée en cumulant  
les valeurs pour 15+25+35cm de profondeur (10/85-10/87)

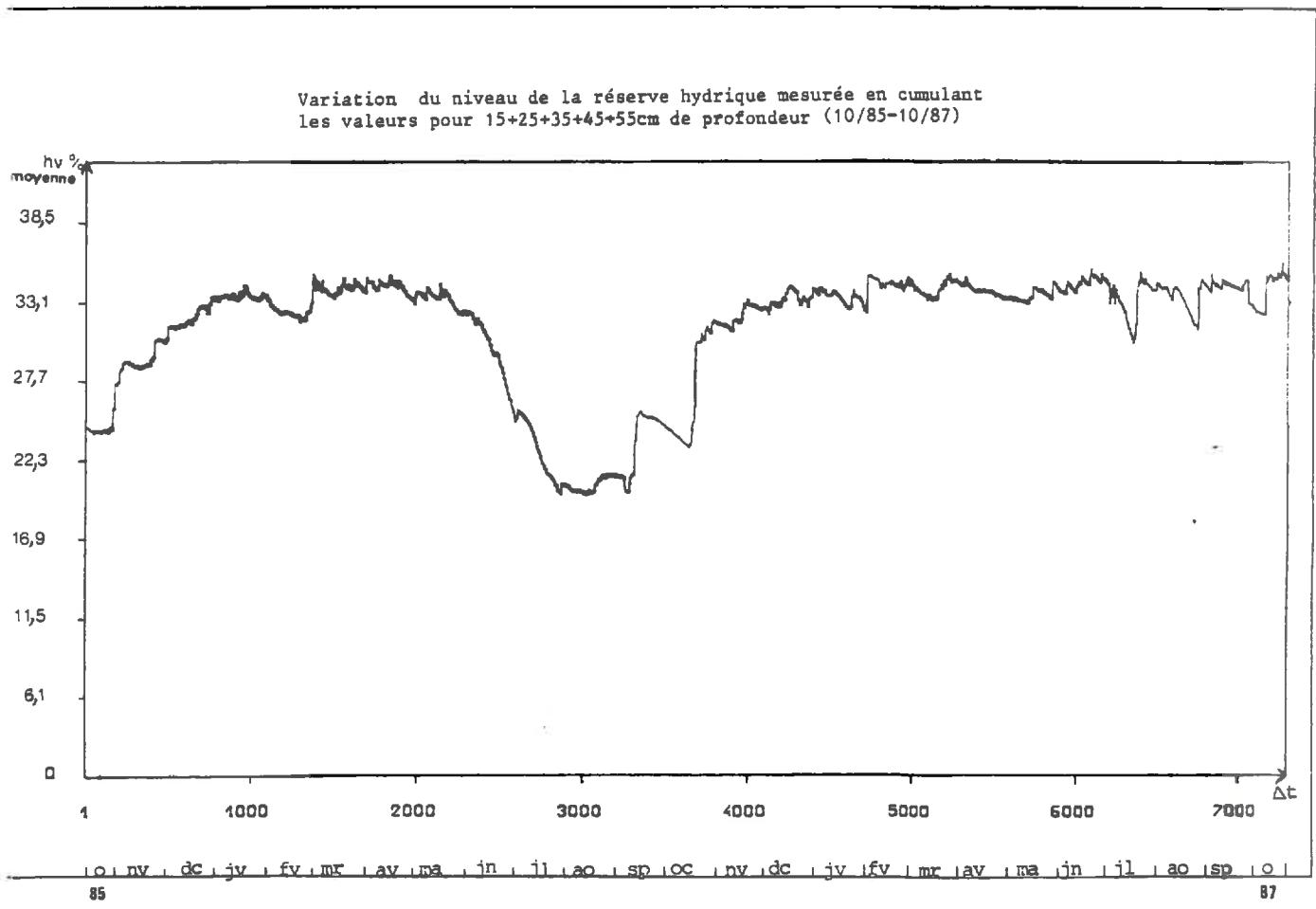


10 nv dc jv fv mr av ma jn j1 ao sp oc nv dc jv fv mr av ma jn j1 ao sp 10  
85 87

Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée en cumulant  
les valeurs pour 15+25+35+45cm de profondeur (10/85-10/87)



Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée en cumulant  
les valeurs pour 15+25+35+45+55cm de profondeur (10/85-10/87)



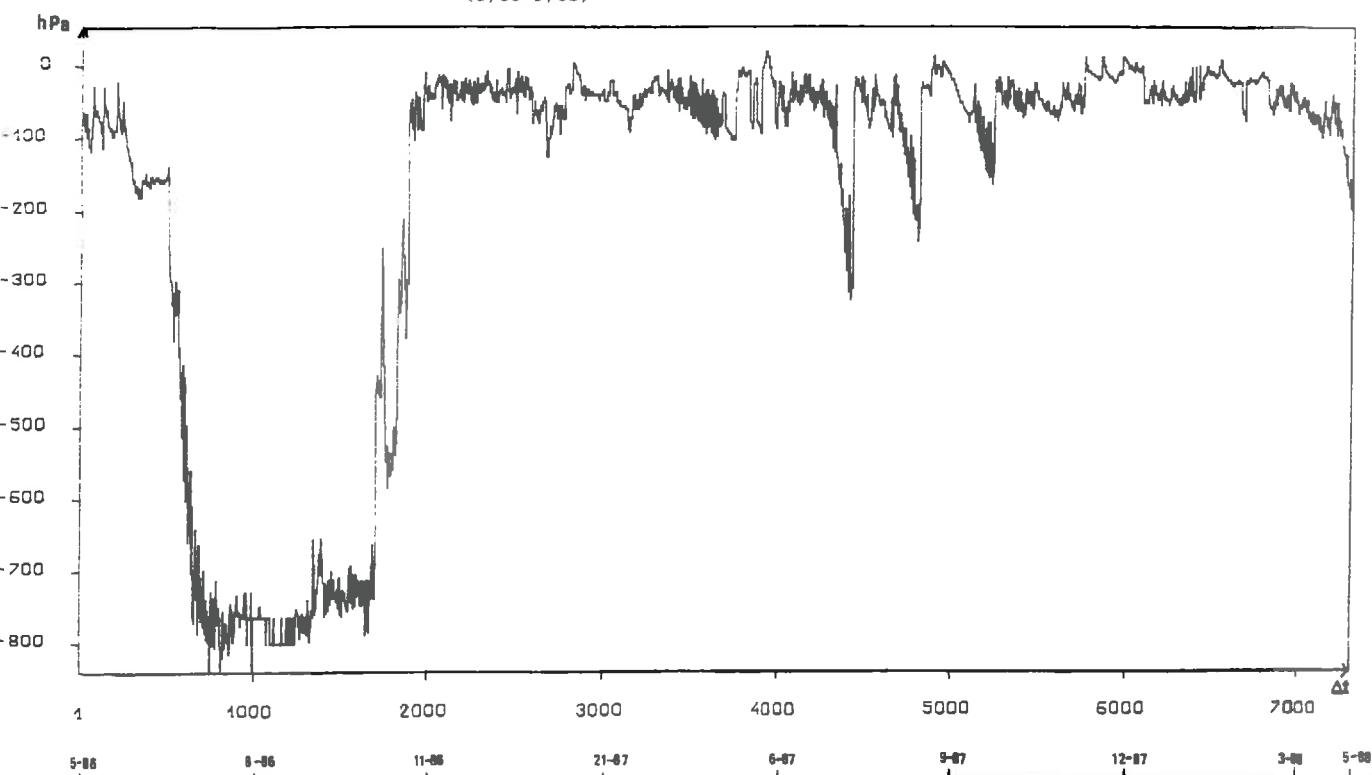
IV.3 - Chroniques de potentiel hydrique (5/86-5/88)

- a - à différentes profondeurs
- b - pour les références
- c - exemples de profils de potentiel incohérents

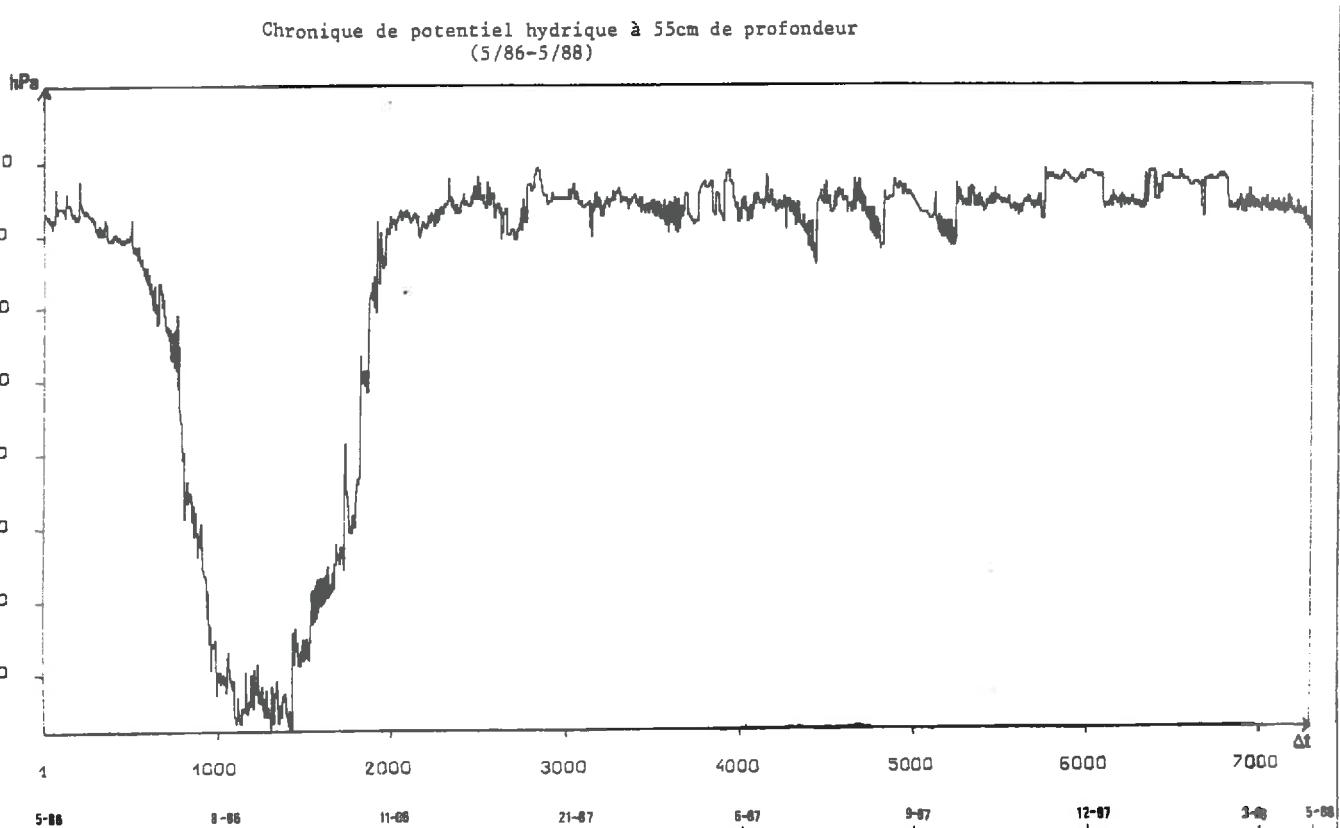
**IV.3 - Chroniques de potentiel hydrique**

- a - à différentes profondeurs**
- b - pour les références**

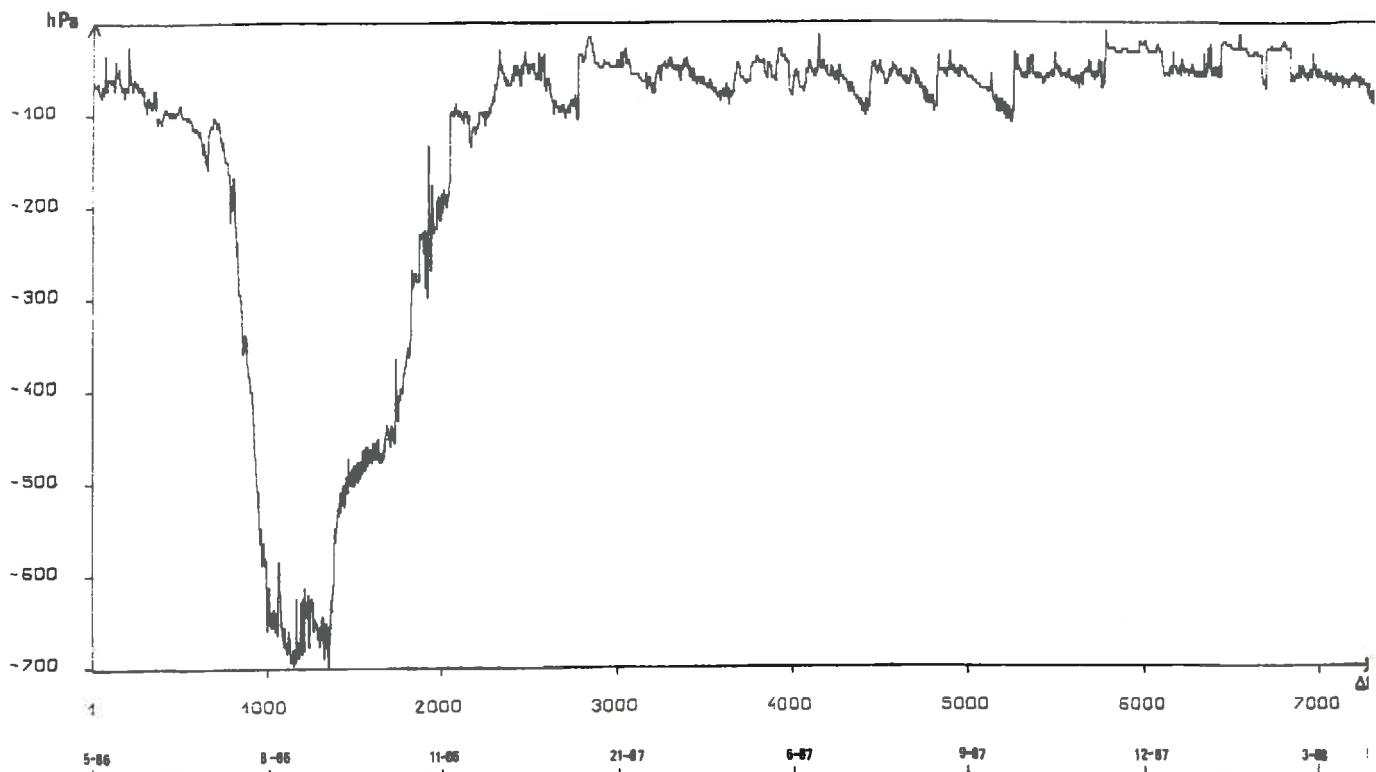
Chronique de potentiel hydrique à 25cm de profondeur  
(5/86-5/88)



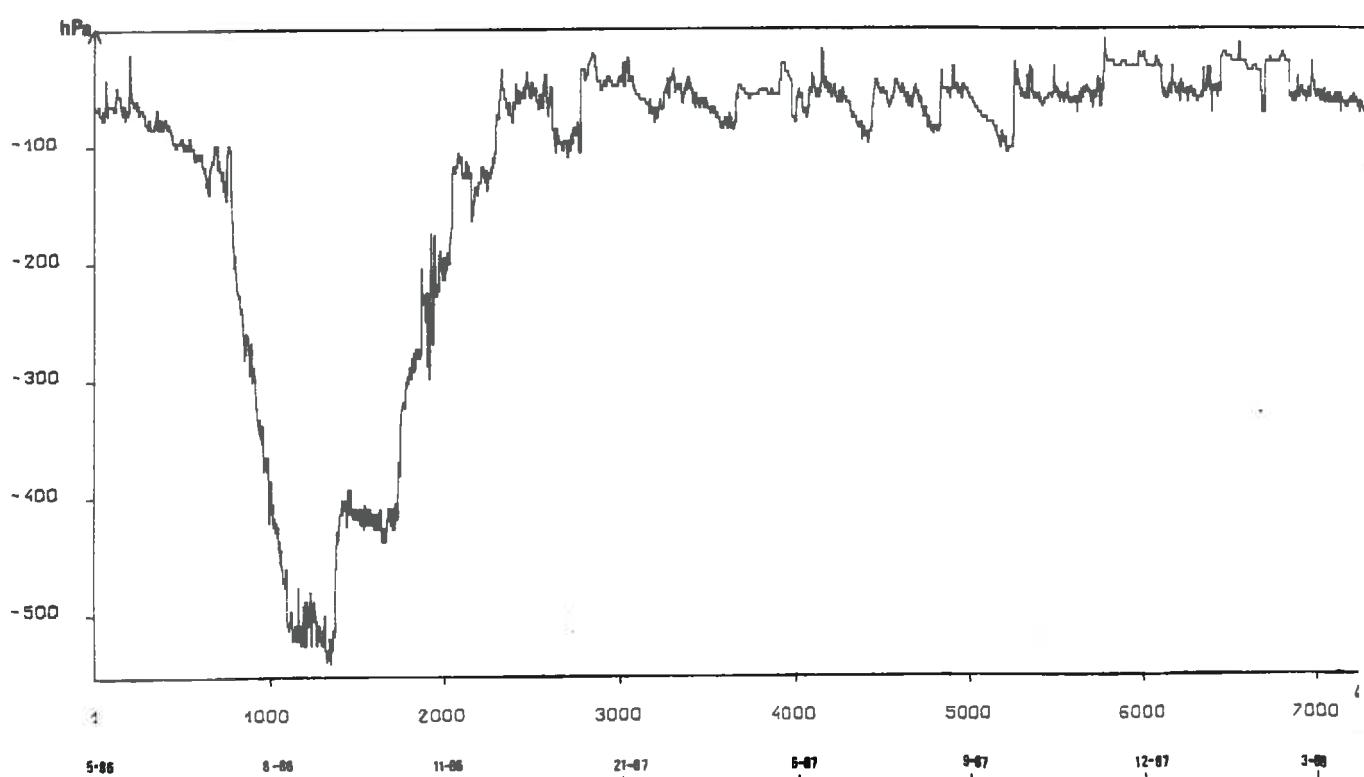
Chronique de potentiel hydrique à 55cm de profondeur  
(5/86-5/88)



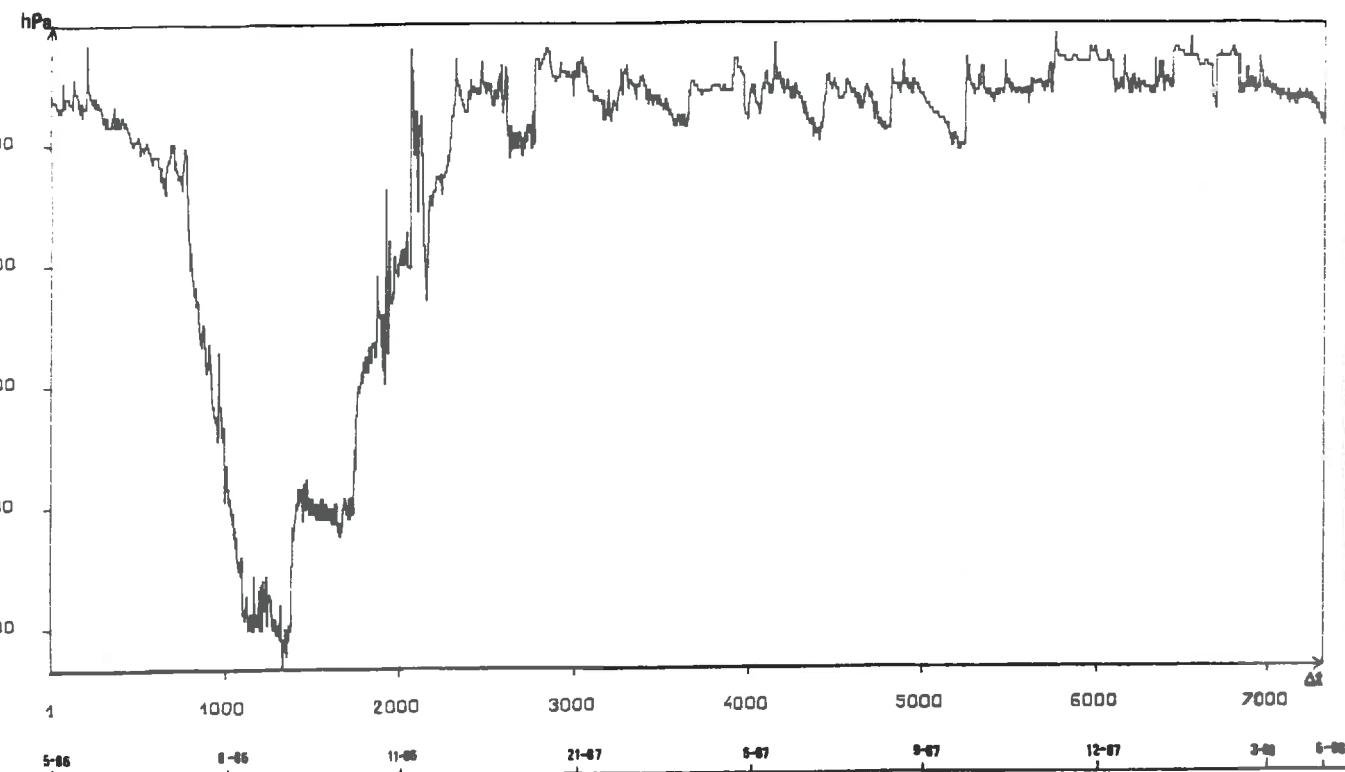
Chronique de potentiel hydrique à 75cm de profondeur  
(5/86-5/88)



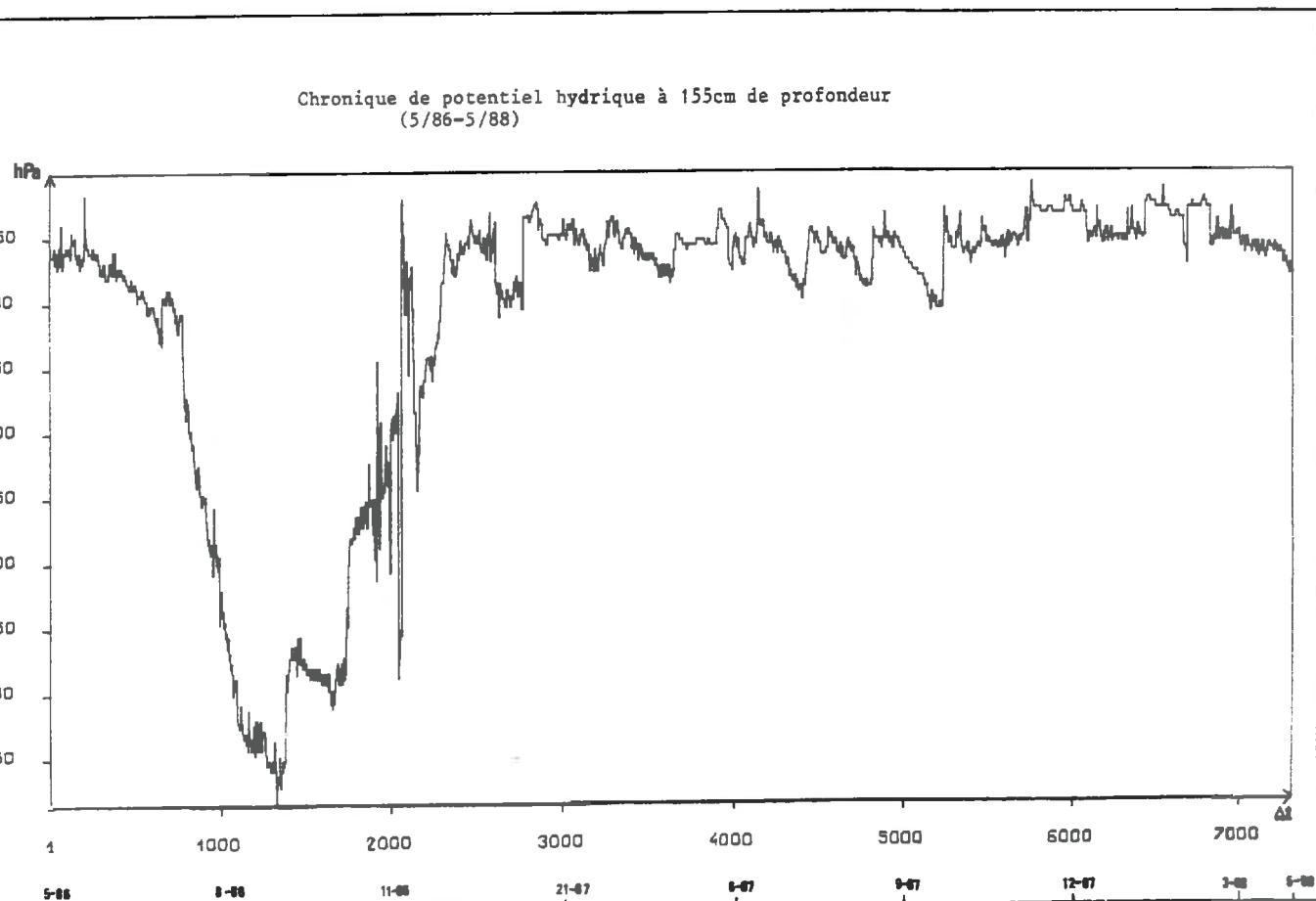
Chronique de potentiel hydrique à 115cm de profondeur  
(5/86-5/88)



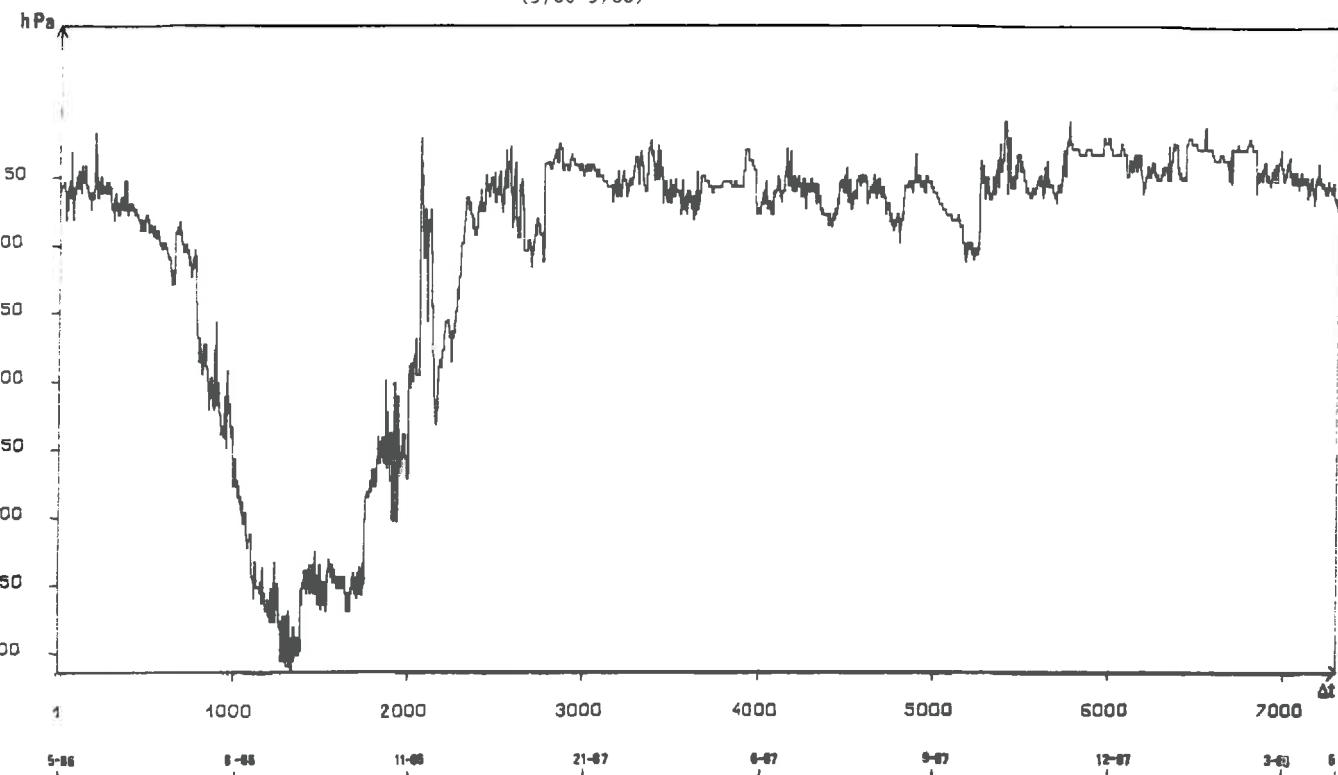
Chronique de potentiel hydrique à 135cm de profondeur  
(5/86-5/88)



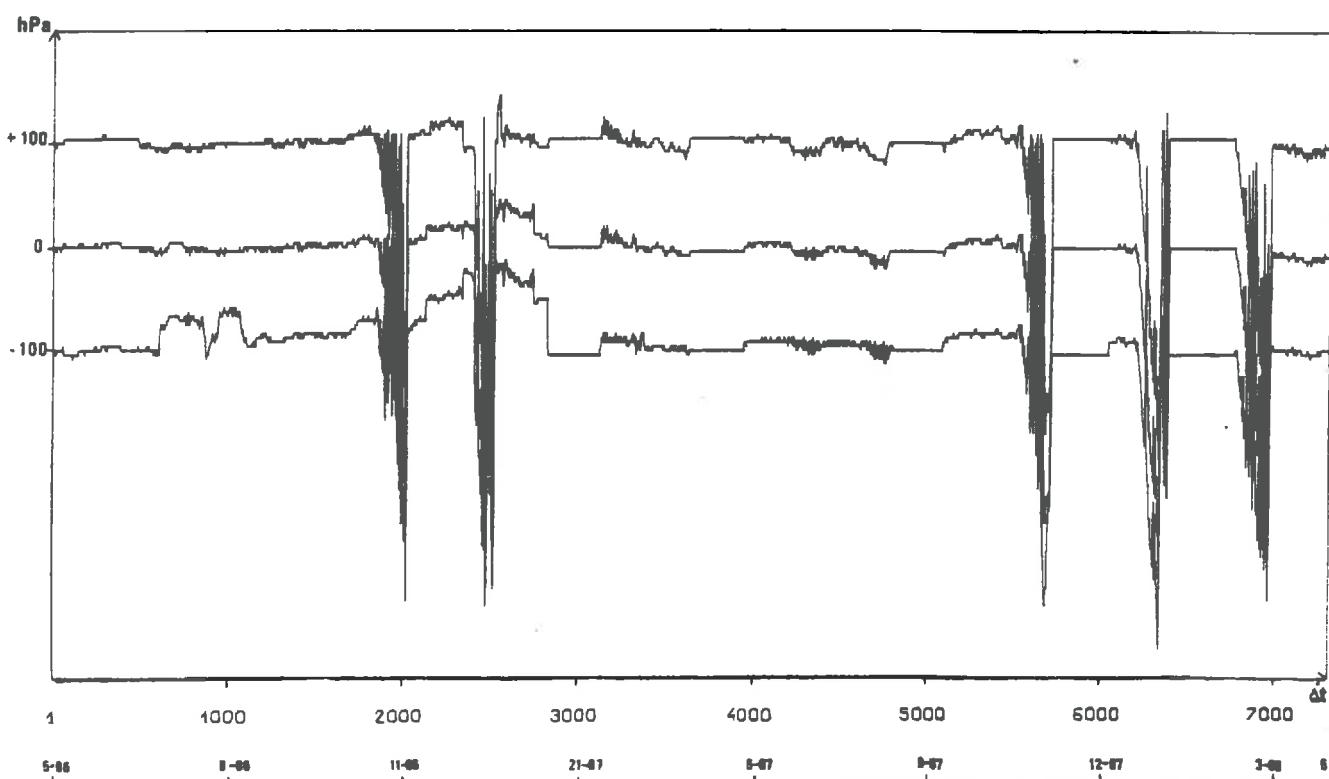
Chronique de potentiel hydrique à 155cm de profondeur  
(5/86-5/88)



Chronique de potentiel hydrique à 195cm de profondeur  
(5/86-5/88)



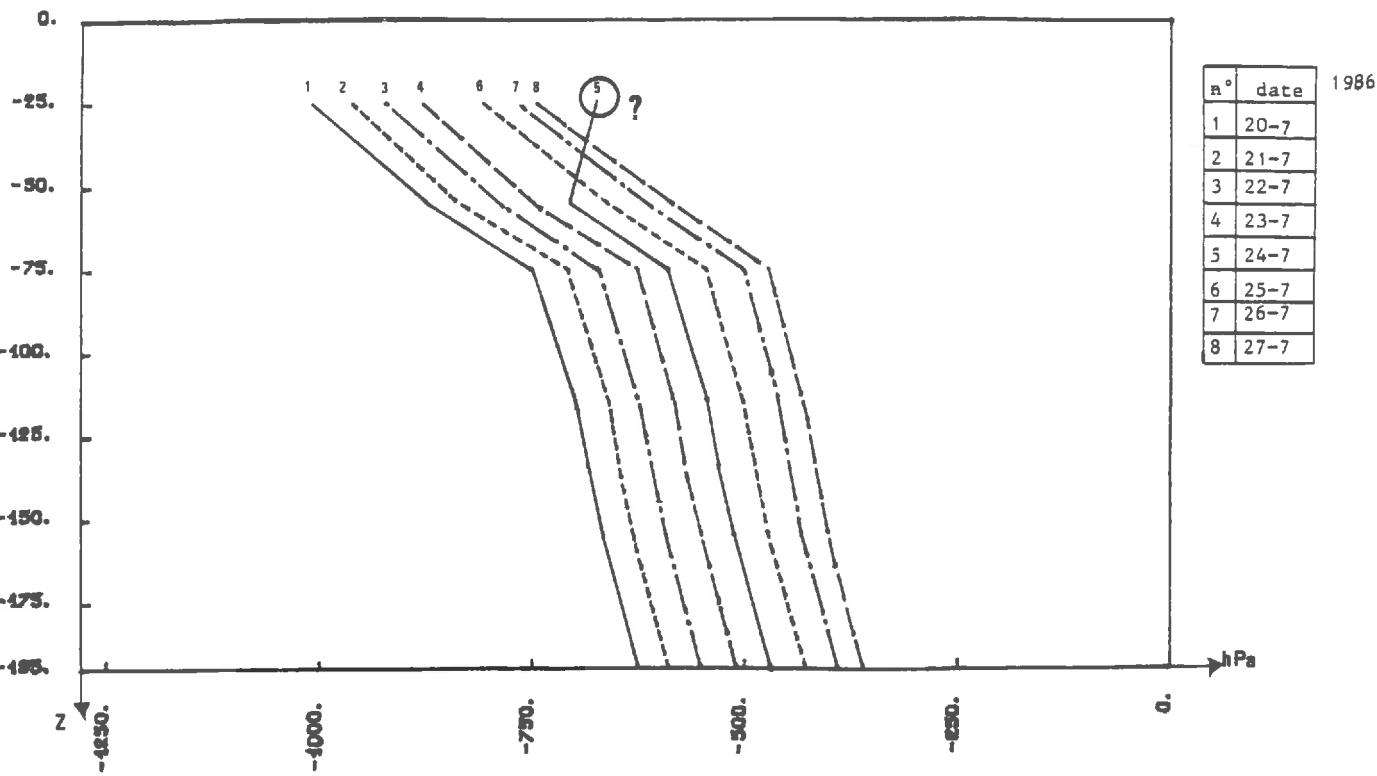
REFERENCES à -100hPa, 0hPa, +100hPa



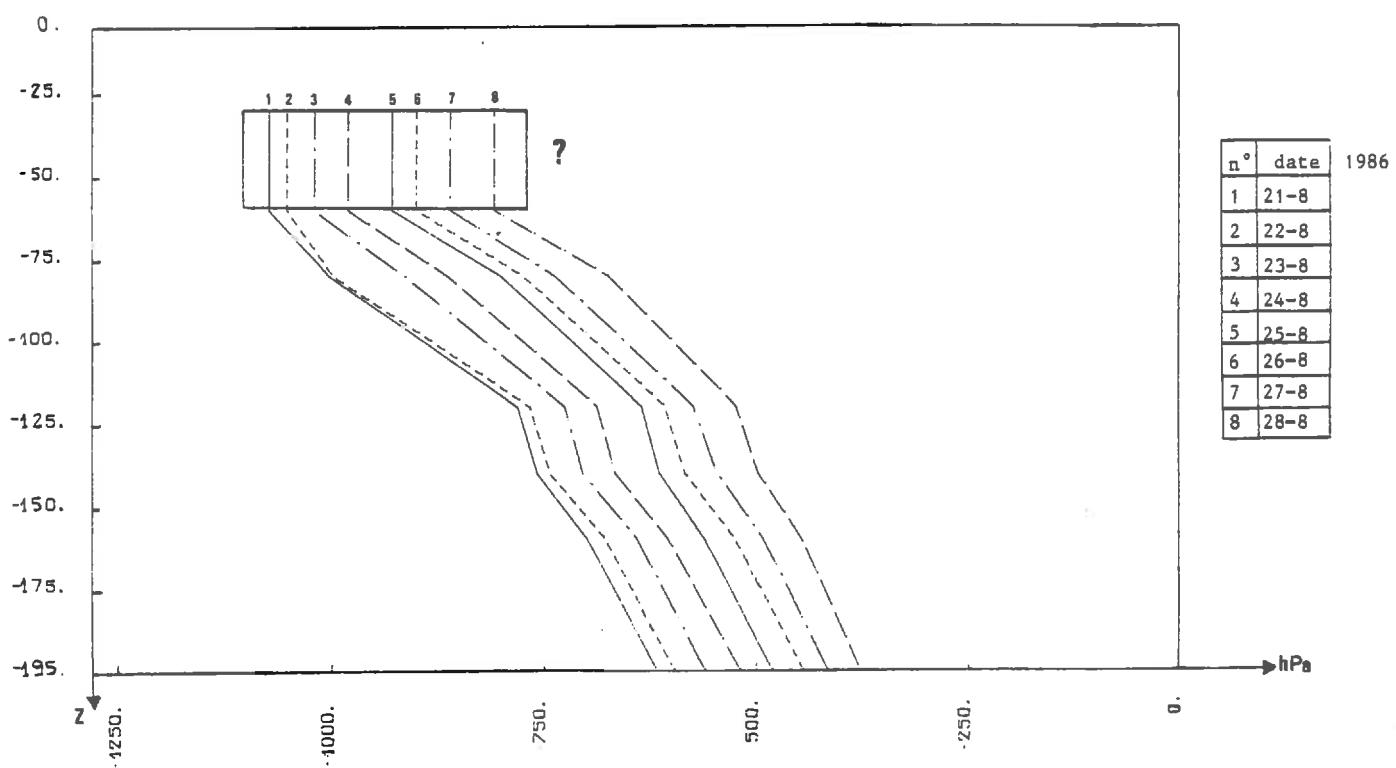
**IV.3.c - Exemples de profils de potentiel incohérents**

- c1 - profil n°5 à 25 cm
- c2 - à 25 cm le tensiomètre a "décroché"
- c3 - profil n°1 à 175 cm
- c4 - profil n°6 à 150 cm

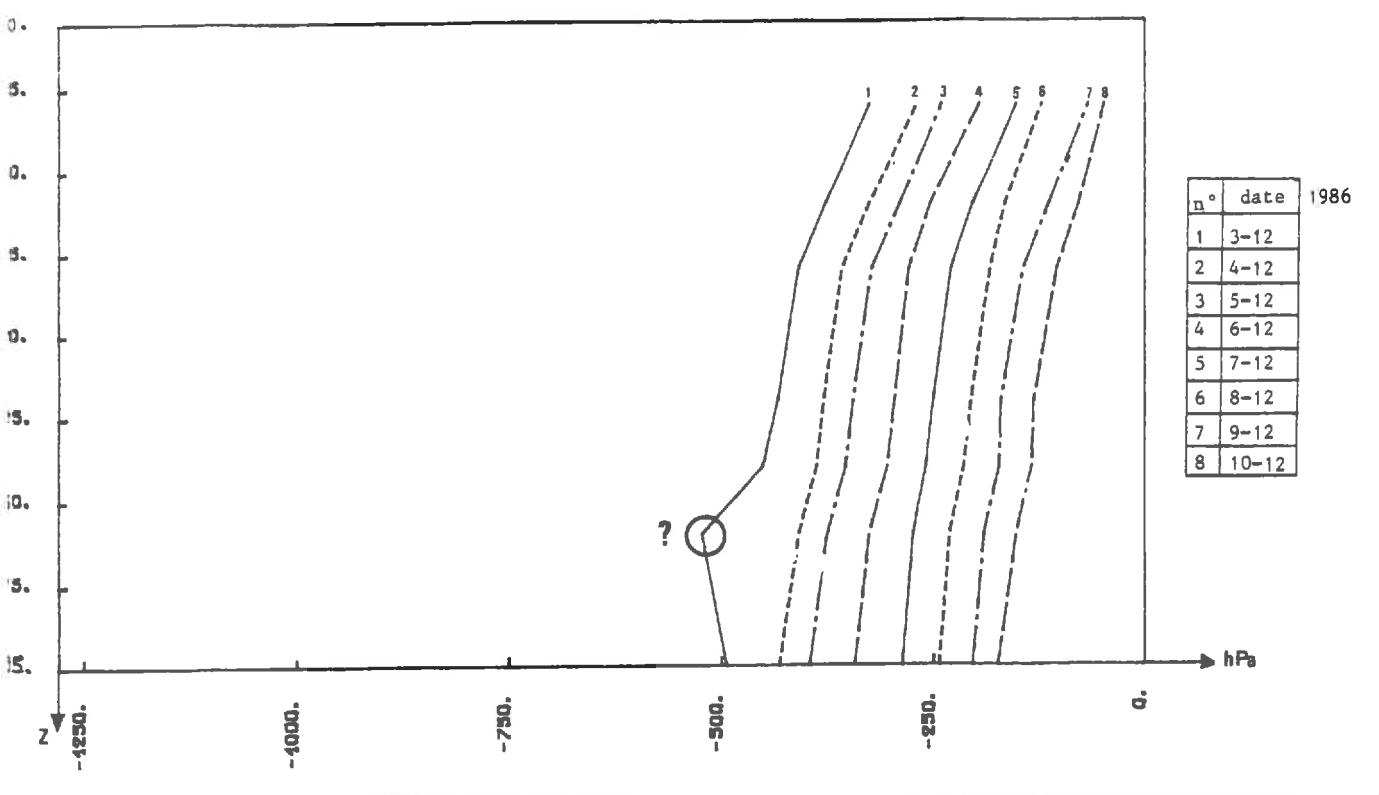
Profil de potentiel hydrique n°5 incohérent



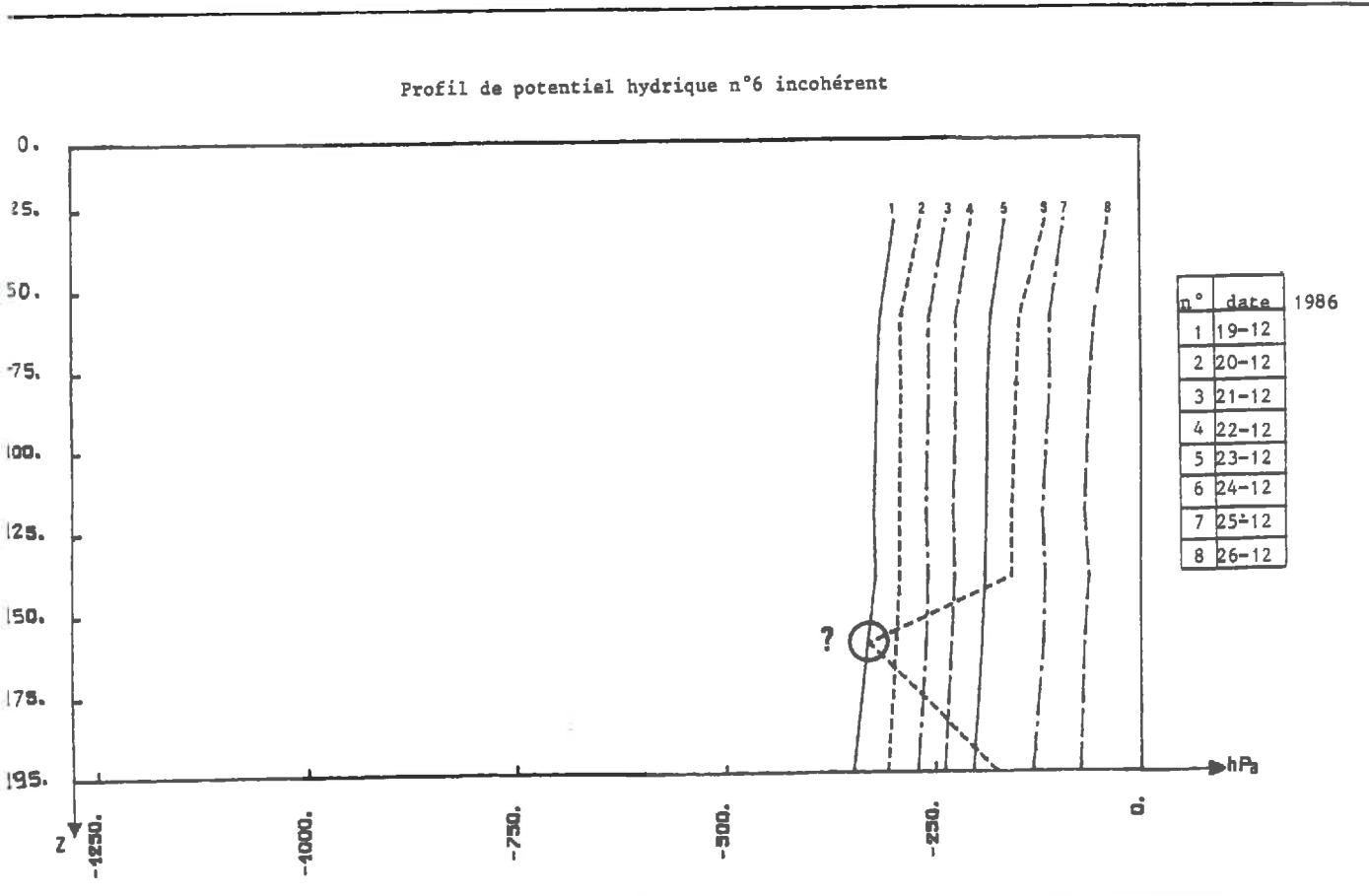
Tous les profils de potentiel hydrique sont incohérents à 25cm



Profil de potentiel hydrique n°1 incohérent



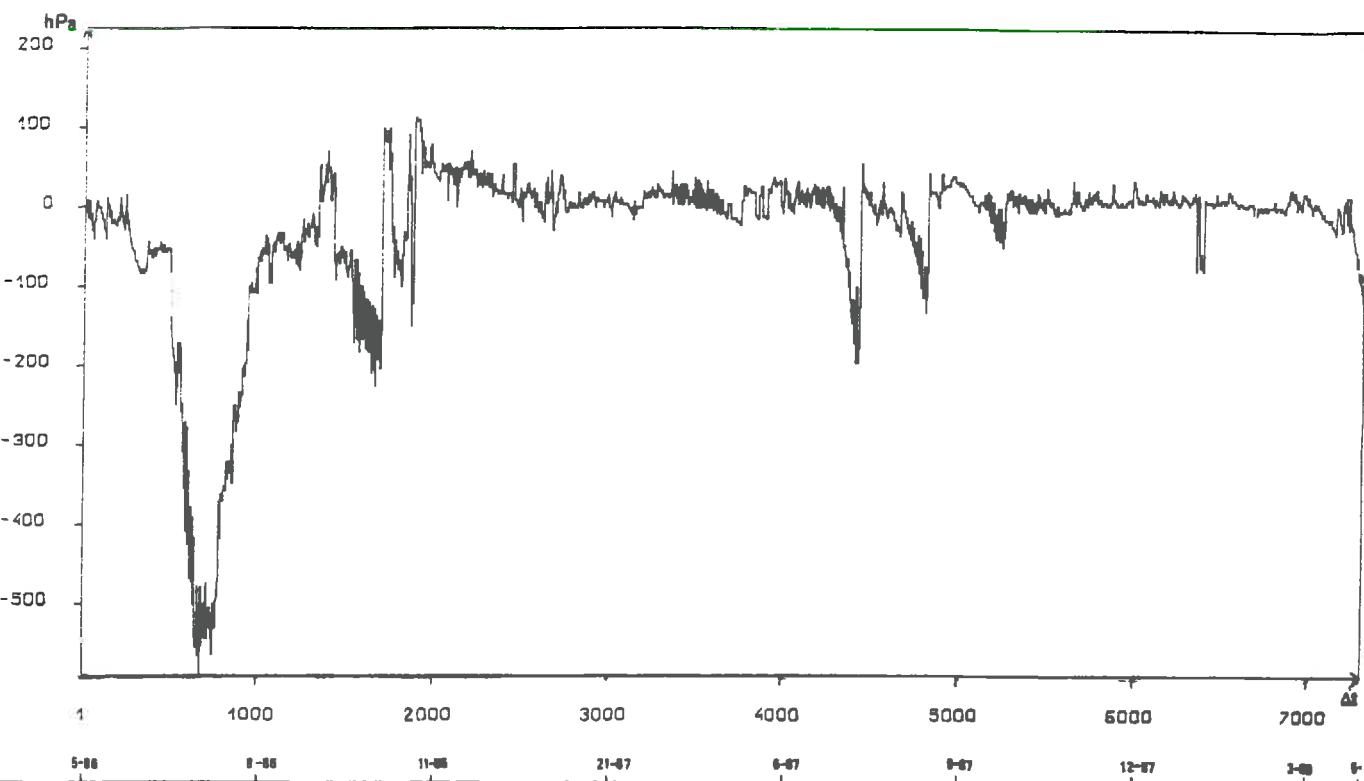
Profil de potentiel hydrique n°6 incohérent



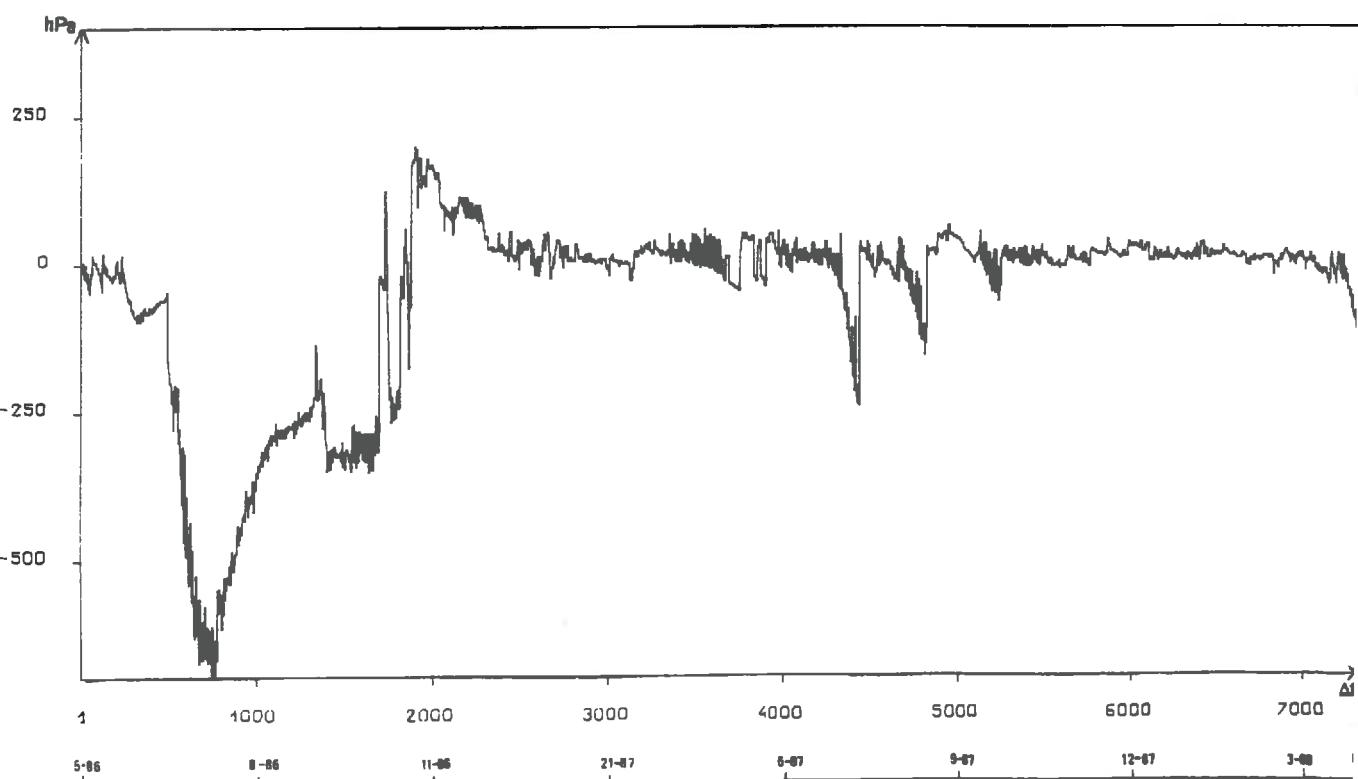
**IV.4 - Chroniques des différences potentiels**

- à différentes profondeurs (5/86-5/88)

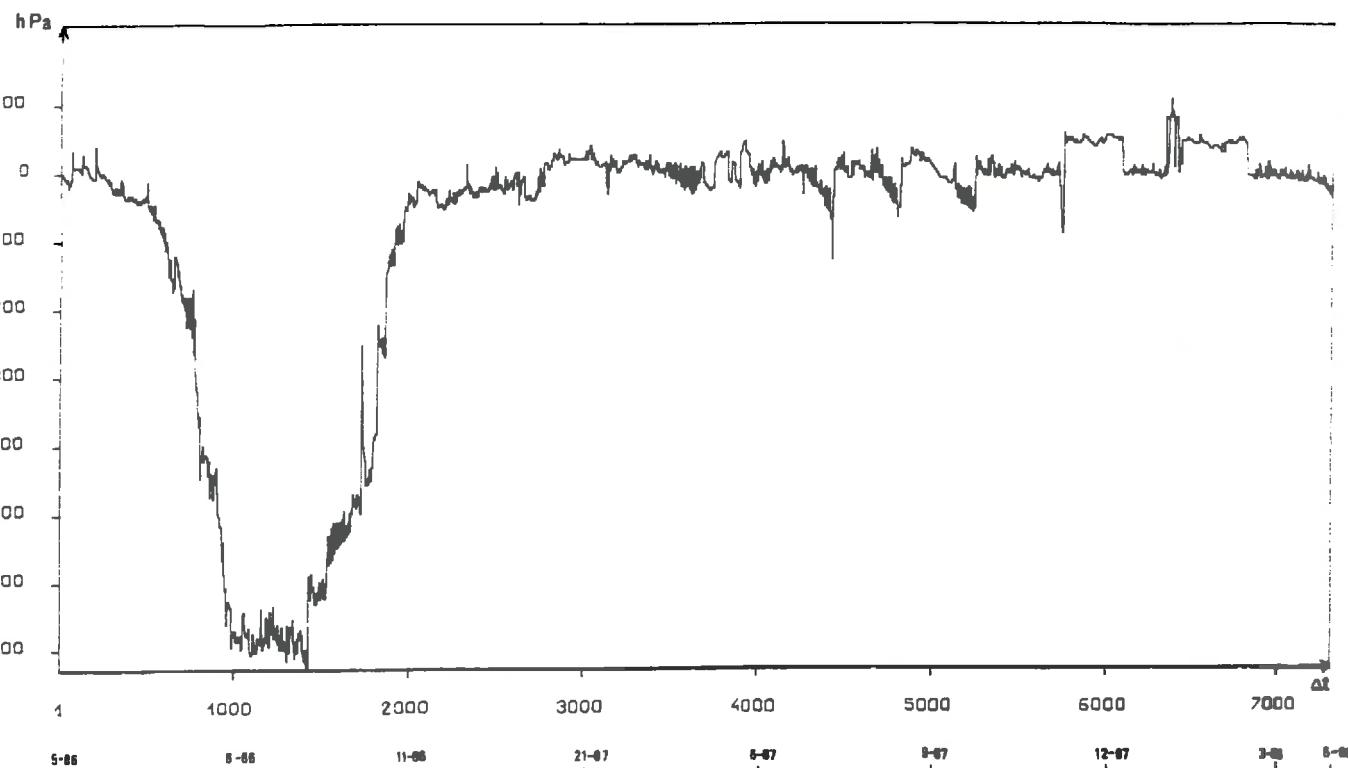
Chronique de la différence de potentiel entre 25 et 55cm de profondeur  
(5/86-5/88)



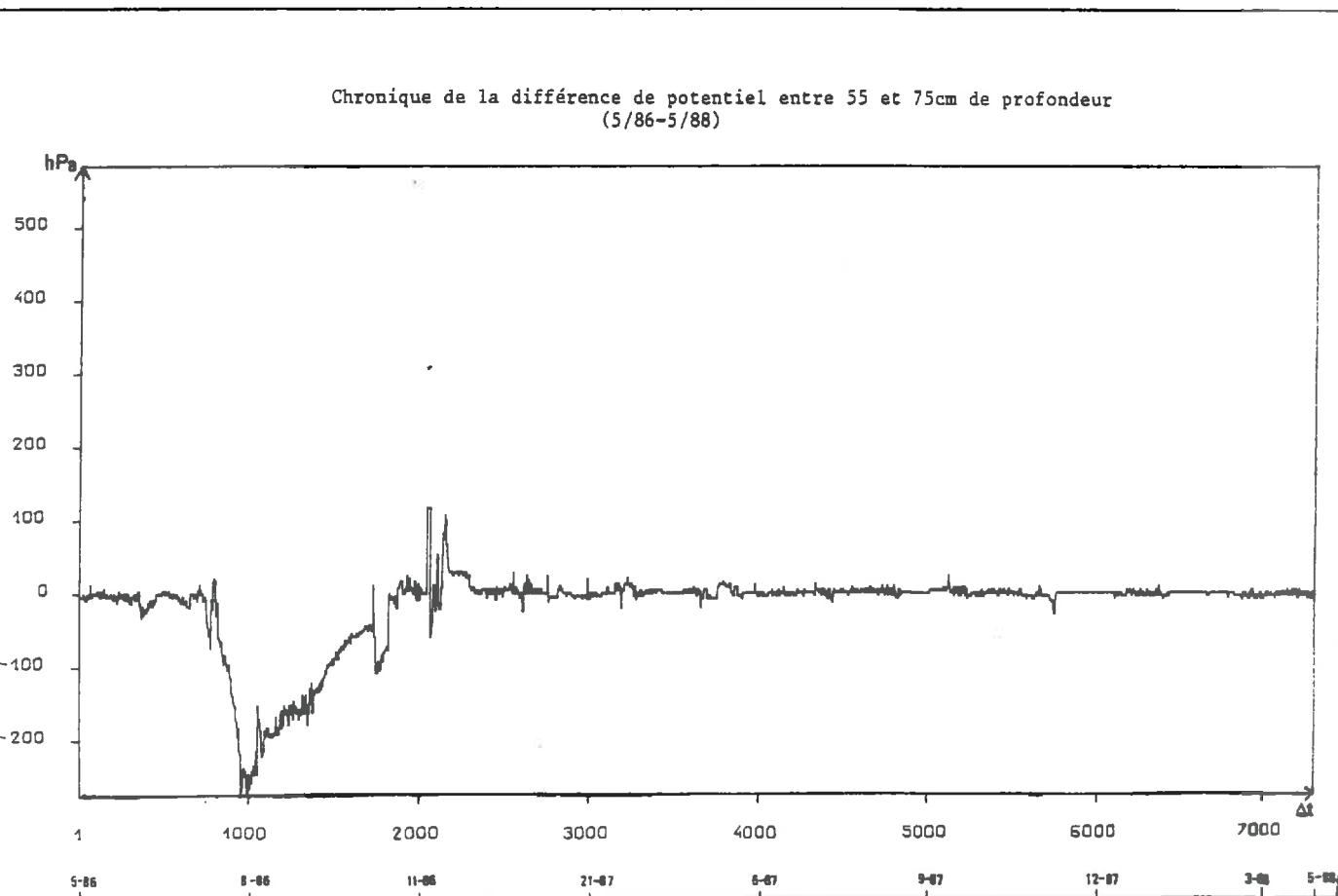
Chronique de la différence de potentiel entre 25 et 115cm de profondeur  
(5/86-5/88)



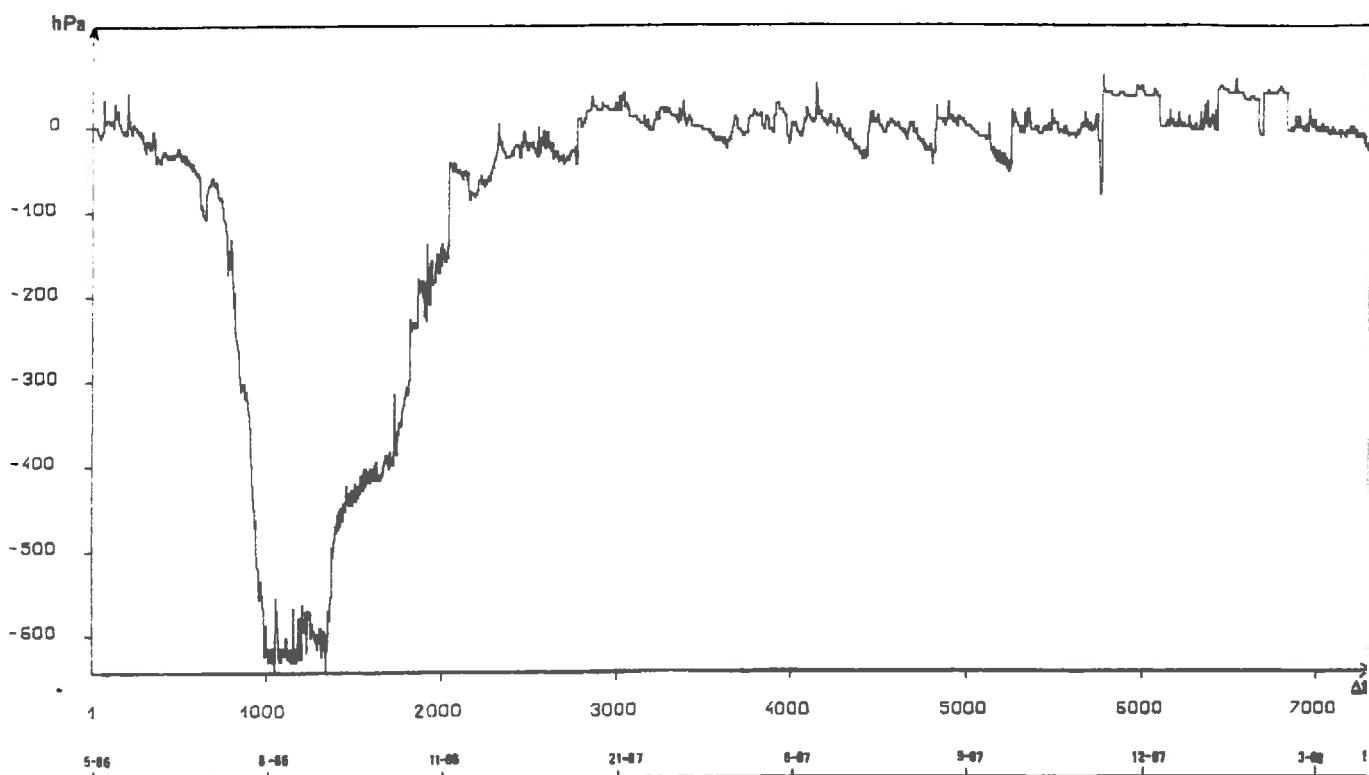
Chronique de la différence de potentiel entre 25 et 195cm de profondeur  
(5/86-5/88)



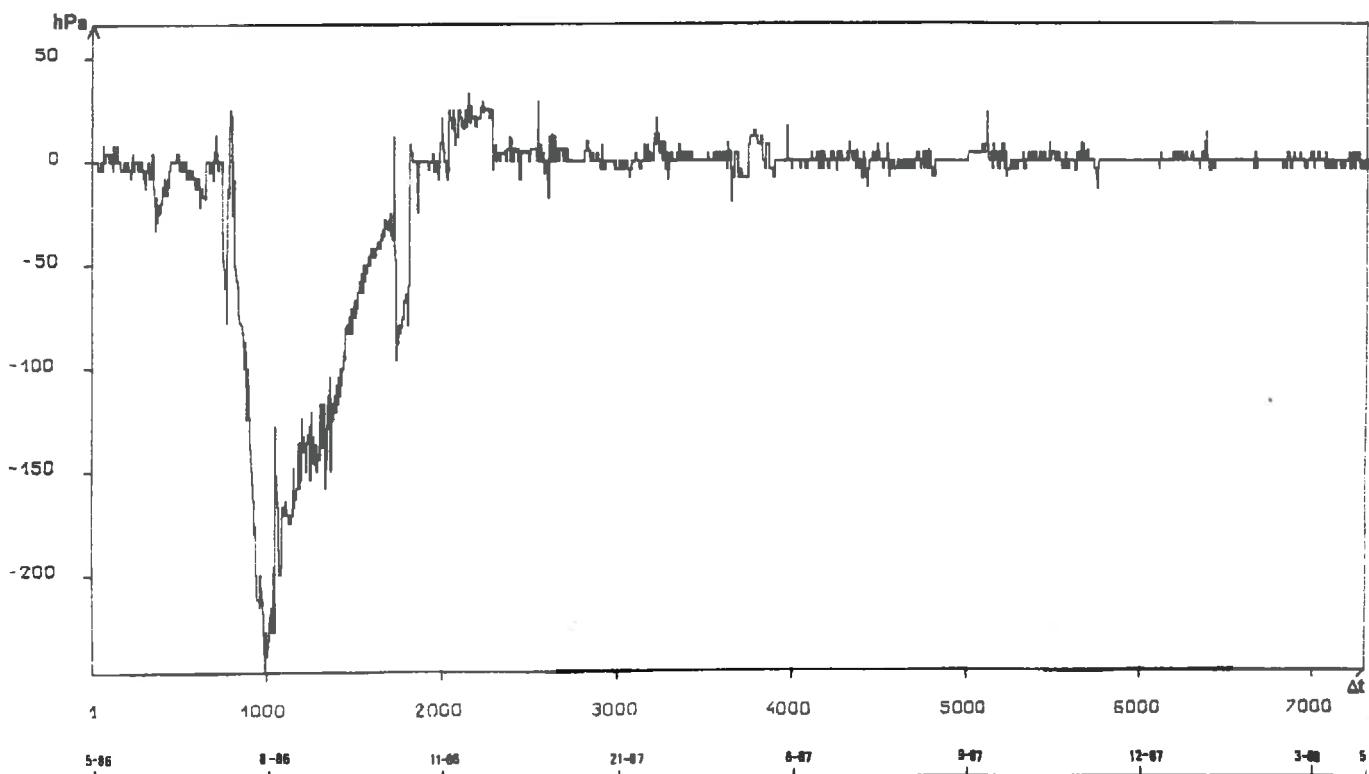
Chronique de la différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur  
(5/86-5/88)



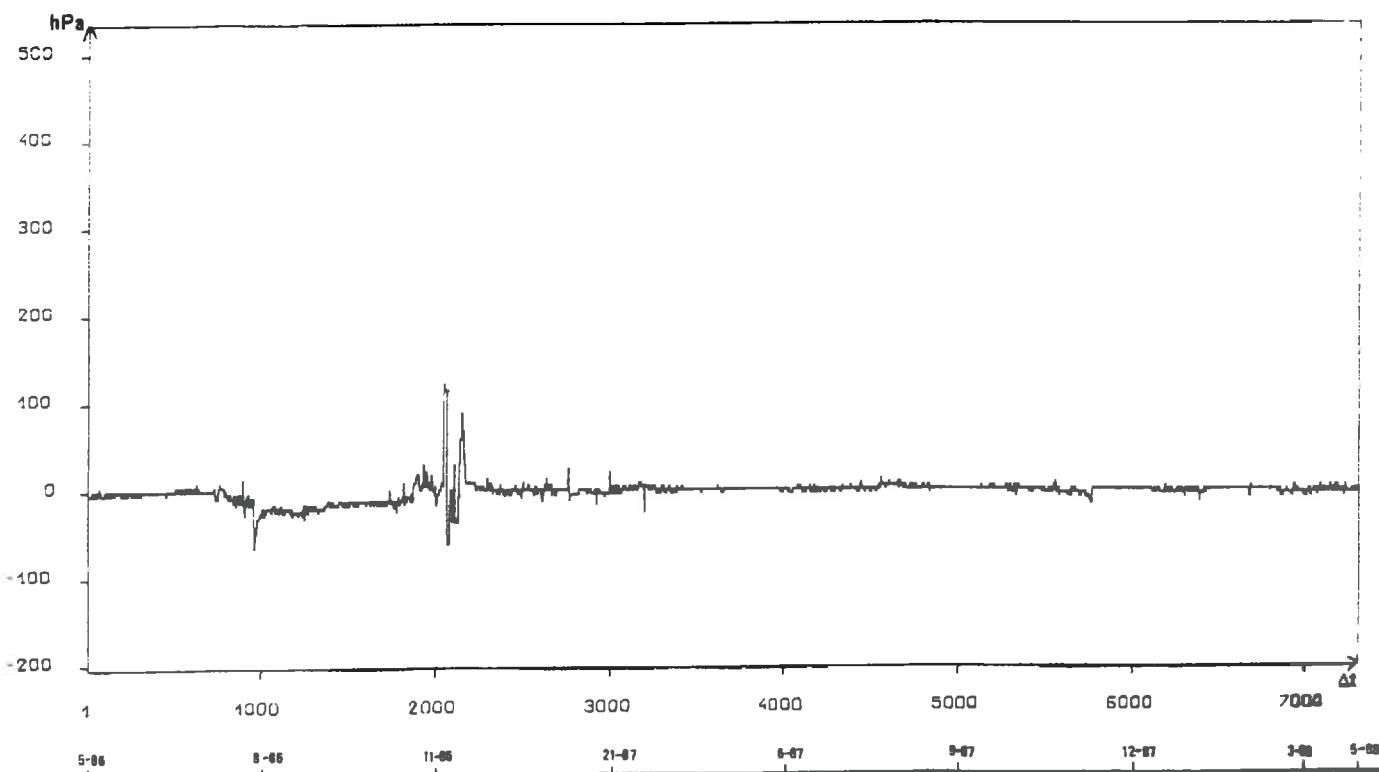
Chronique de la différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur  
(5/86-5/88)



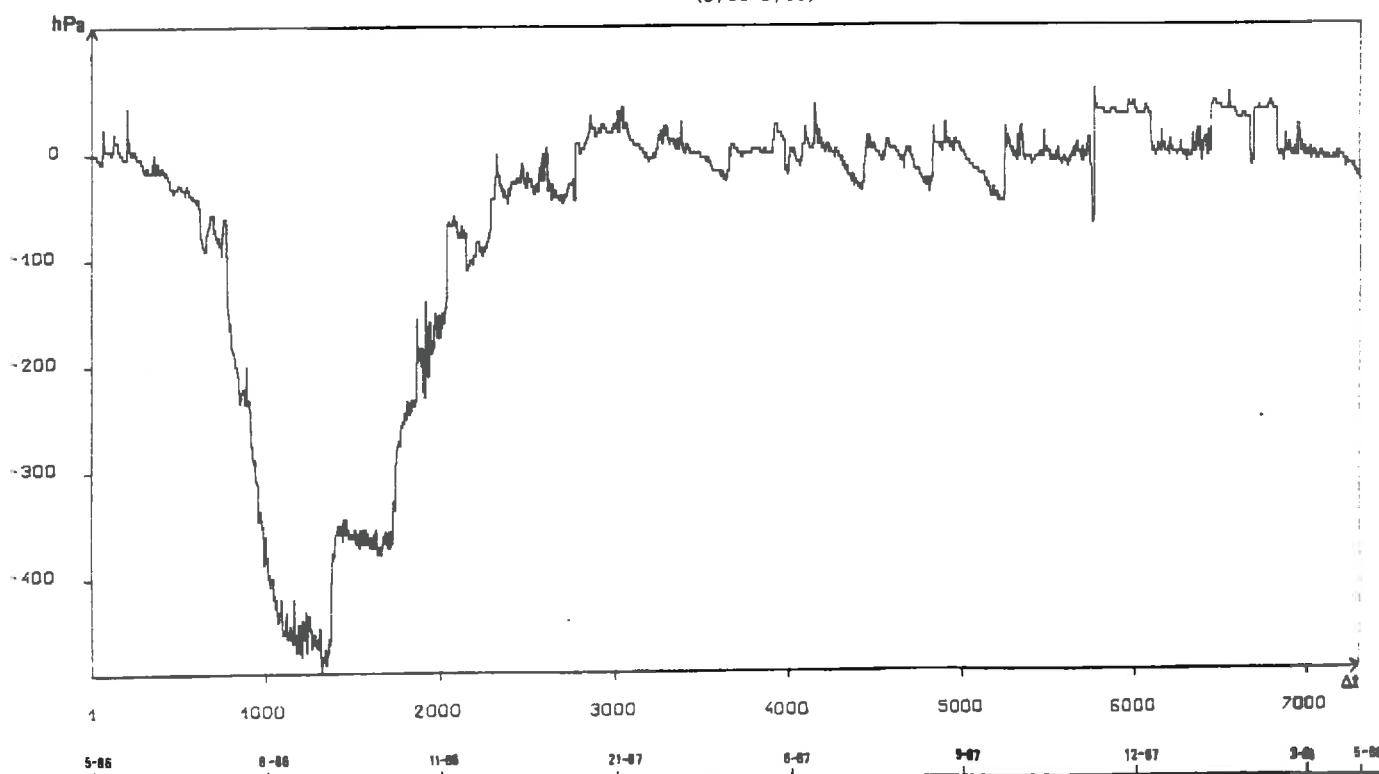
Chronique de la différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur  
(5/86-5/88)



Chronique de la différence de potentiel entre 75 et 115cm de profondeur  
(5/86-5/88)



Chronique de la différence de potentiel entre 75 et 195cm de profondeur  
(5/86-5/88)



**A N N E X E V**

**Traitemen<sup>t</sup> des données**

V.1 - Equation de PENMAN

La formule développée de l'E.T.P. PENMAN prend la forme {BROCHET et GERBIER, 1975} :

$$\text{E.T.P. mm/j} = \left[ \text{Ig}_a (1 - a) (0,18 + 0,62 \frac{h}{H}) - \sigma T_m^4 (0,56 - 0,08 \sqrt{e}) \right. \\ \left. (0,10 + 0,90 \frac{h}{H}) \right] \cdot \frac{\frac{F'_T}{\gamma}}{1 + \frac{T}{\gamma}} + \frac{0,26}{1 + \frac{T}{\gamma}} \cdot (e_w - e) \cdot (1 + 0,4 V)$$

Les différentes données du calcul sont de 3 types :

1 - données de base

- $\phi$  : latitude en degrés  
 $J$  : numéro du jour dans l'année:  $J = 1$  le 1er Janvier  
 $T_m$  : température minimale  $J = 365$  le 31 Décembre  
 $T_x$  : température maximale  
 $h$  : insolation du jour en heure et dixième  
 $V$  : vitesse du vent mesurée à 10 m ou à 2 m de la surface du sol en m/s

2 - données intermédiaires

- $\text{Ig}_a$  : radiation solaire directe en l'absence d'atmosphère en cal/cm<sup>2</sup>/jour ;  
 $\text{Ig}_a = f (J, \phi)$   
 $H$  : durée maximale possible d'insolation en heures et dixièmes  
 $H = f (J, \phi)$   
 $e$  : tension de la vapeur d'eau en m.b. ;  $e = f (T_d)$   
 $e_w$  : tension maximale de vapeur d'eau en m.b. ;  $e_w = f (T_m)$   
 $F'_T$  : pente de la courbe des tensions de vapeur d'eau à la température  $T_m$  ;  $F'_T = f (T_m)$   
 $T_m$  : température de référence : température moyenne =  $\frac{T_x + T_n}{2}$   
 $T_d$  : température du point de rosée qui peut être estimée à l'aide de la température mini (BROCHET et GERBIER, 1975)  
 $T_d = T_n + \epsilon$  ;  $\epsilon$  variant suivant les régions climatiques cf. annexe 1  
 $V$  : vitesse du vent mesurée à 10 m de la surface du sol en m/s pour un vent mesuré à 2 m de la surface du sol, le coefficient à adopter est 0,54 au lieu de 0,40 :  $(1 + 0,54 V)$  (BROCHET et GERBIER, 1975)

3 - constantes

- $a$  : albedo de la surface évaporante ; pour une culture verte  
 $a = 0,2$   
 $\sigma$  : constante de STEFAN BOLTZMAN :  $1,18 \cdot 10^{-7}$  cal/cm<sup>2</sup>/jour/°K  
 $\gamma$  : constante psychrométrique = 0,65

**V.2 - Exemple de sortie imprimante de la sonde SOLO 40**

No	P,cm	Comptage	HV,%	0	10	20	30	40	50
1	16	546	31,1				*		
2	26	568	32,6	1			*		
3	36	587	32,6	1			*		
4	46	576	32,0	1			*		
5	56	584	32,4	1			*		
6	66	595	33,0	1			*		
7	76	592	32,8	1			*		
8	86	595	33,0	1			*		
9	96	600	33,3	1			*		
10	106	584	32,4	1			*		
11	116	578	32,1	1			*		
12	126	614	34,0	1			*		
13	136	645	35,7	1			*		
14	146	663	36,7	1			*		
15	156	663	36,7	1			*		
16	166	661	36,6	1			*		
17	176	655	36,3	1			*		
18	186	671	37,1	1			*		
19	196	689	38,1	1			*		
20	206	689	38,1	1			*		
21	216	685	37,9	1			*		
22	226	683	37,8	1			*		
23	236	690	38,1	1			*		
24	246	696	38,5	1			*		
25	256	707	39,1	1			*		
26	266	708	39,1	1			*		
27	276	703	38,8	1			*		
28	286	707	39,1	1			*		
29	296	709	39,2	1			*		
30	306	714	39,4	1			*		

V.3 - Résultats de la régression pour la transposition d'étalonnage  
NEA-SOLO 40

COEFF. DE REGRESSION = 0.5482

COEFFICIENTES DE RÉGRESSION = 0.5482

	Nombre d'observations	276	Nombre de variables	2
VAR	COMPT	MOYENNE	ECART-TYPE	
1	COMPT	598.942	81.339	
VAR. EXPLIQUEE	HUMIL	335.159	44.943	

MATRICE DES CORRELATIONS

	COMPT	HUMIL
COMPT	1.0000	
HUMIL	0.9921	1.0000

VARIABLE EXPLIQUEE = HUMIL

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,274)	PROBA(%)
COMPT	0.5482	0.0042	17106.844	0.00

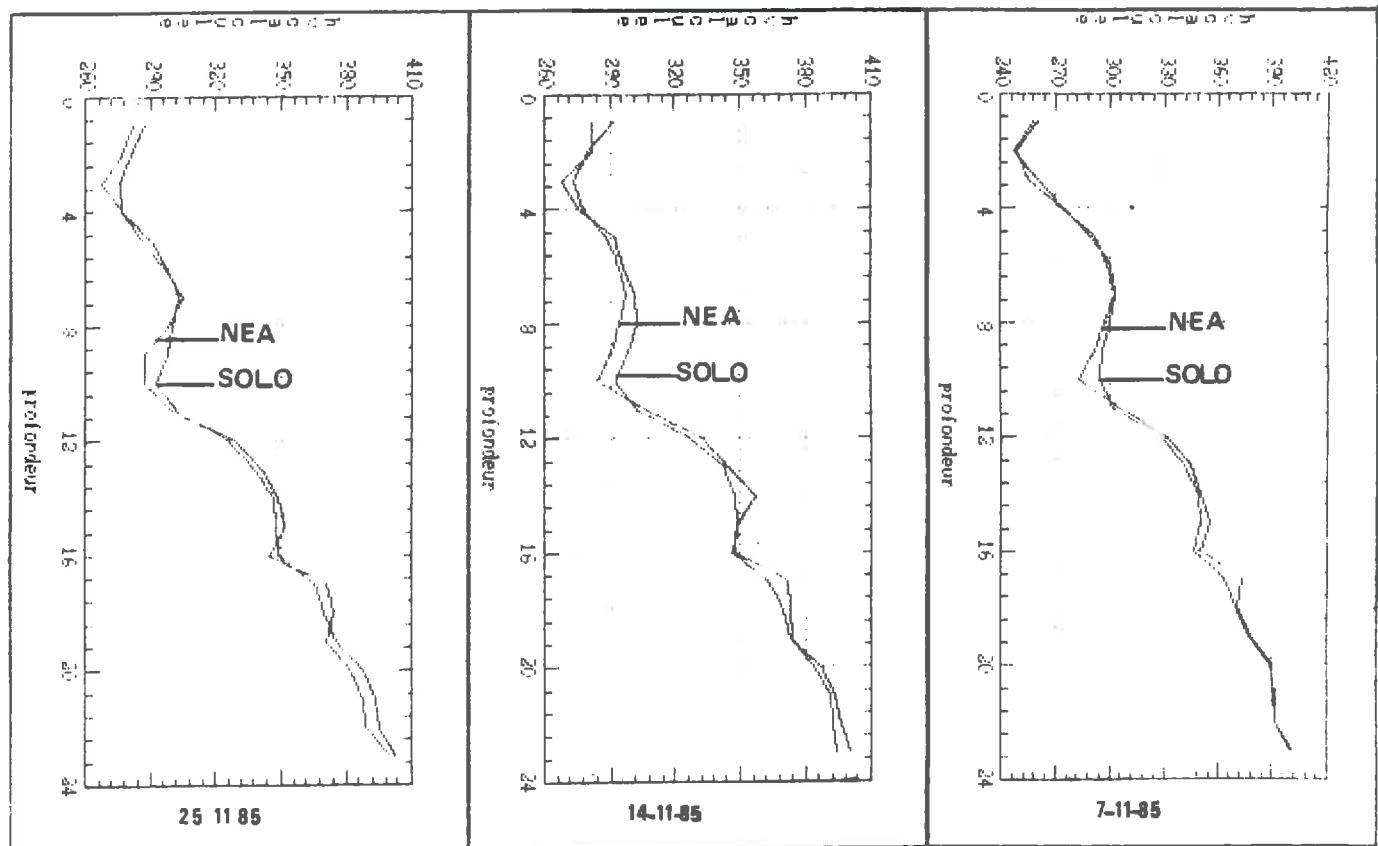
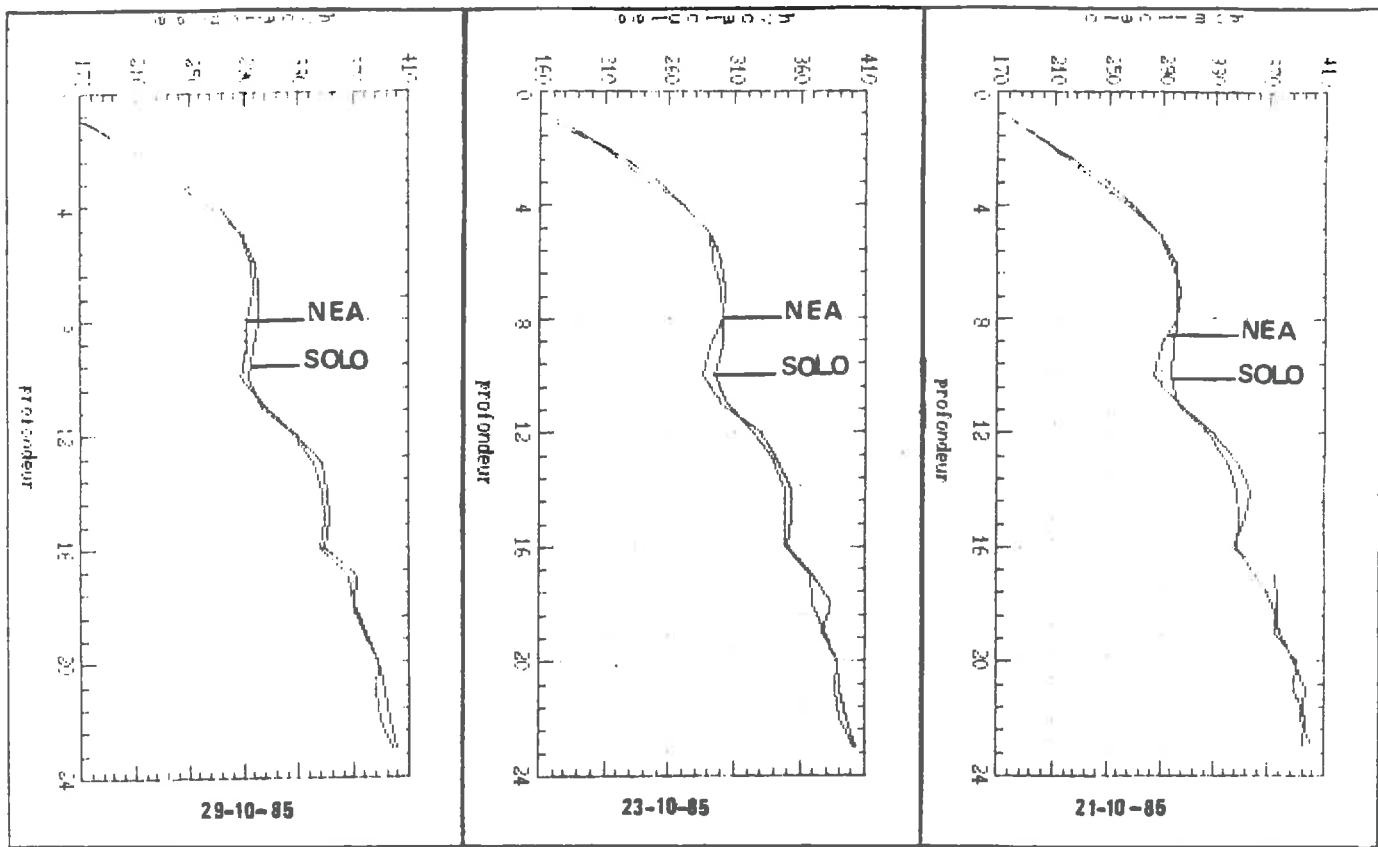
TERME CONSTANT = 5.9374

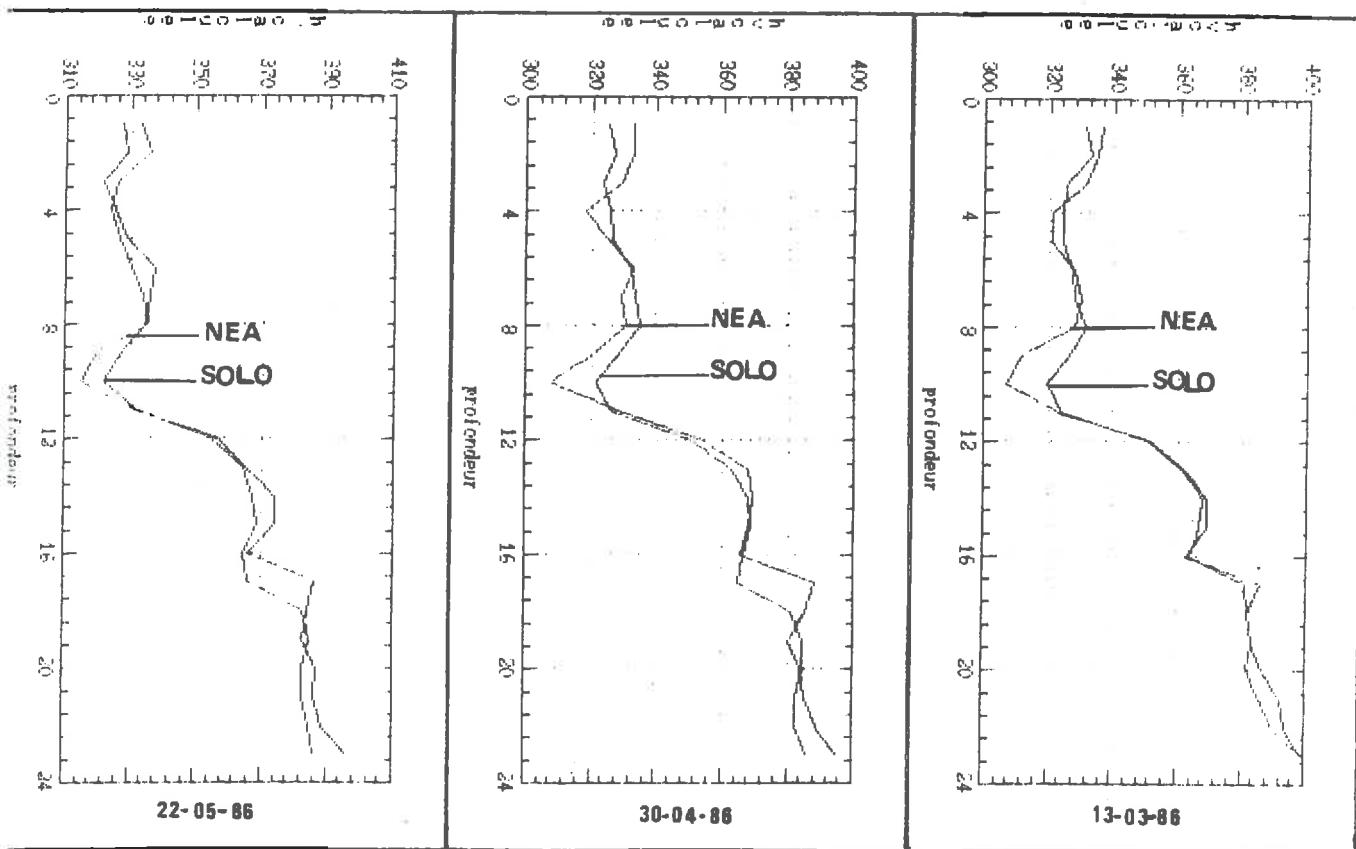
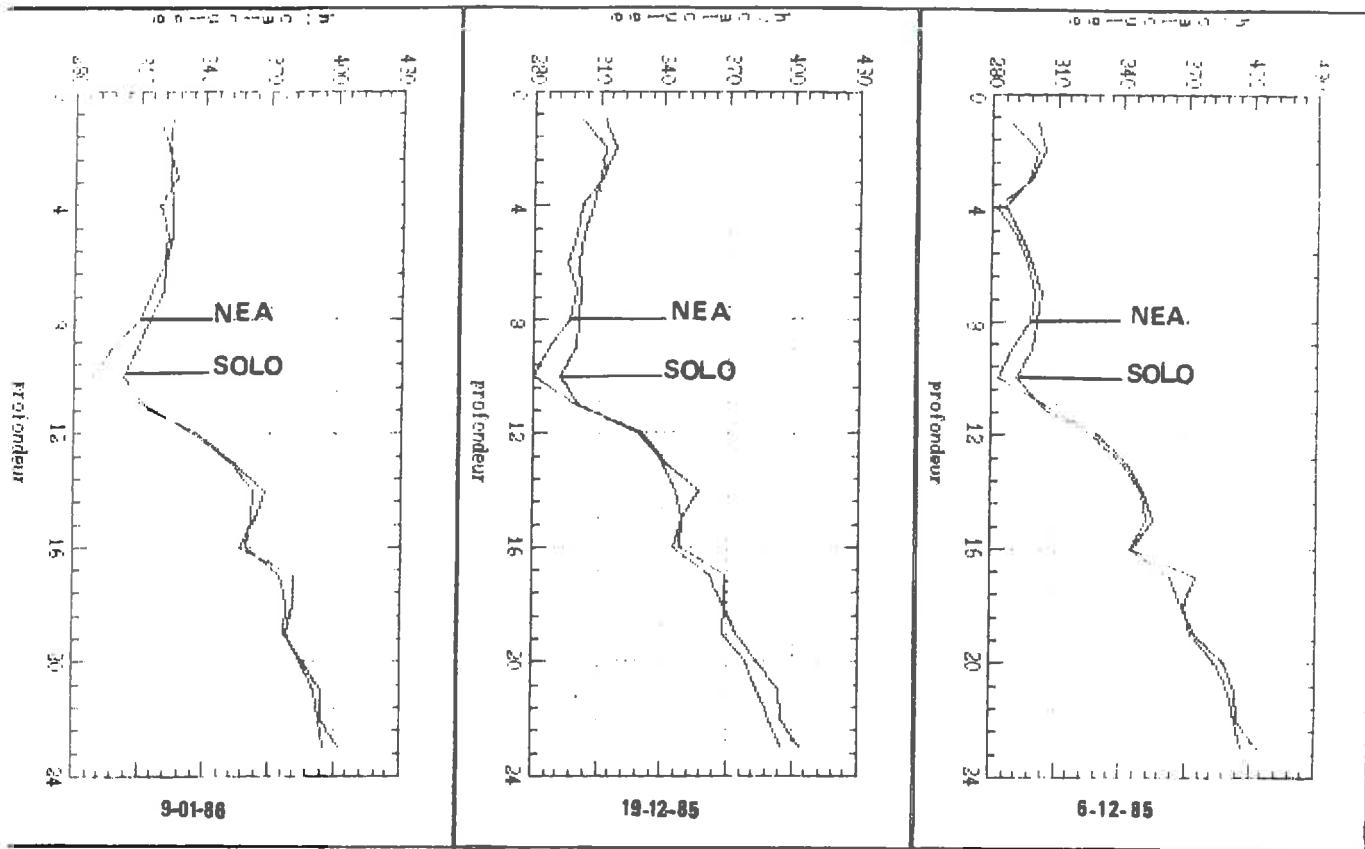
ECART-TYPE RESIDUEL = 5.4630  
RES2 = 0.9942  
z = 0.9921

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SSE	D.D.L	CARRES MOYENS	F
TOTALE	555469.390	275		
REGRESSION	546712.690	1	546712.6900	17106.8416
RESIDUELLE	8736.698	274	31.9587	

**V.4 - Profils hydriques avec l'humidité volumique observée (NEA)  
et calculée (SOLO)**



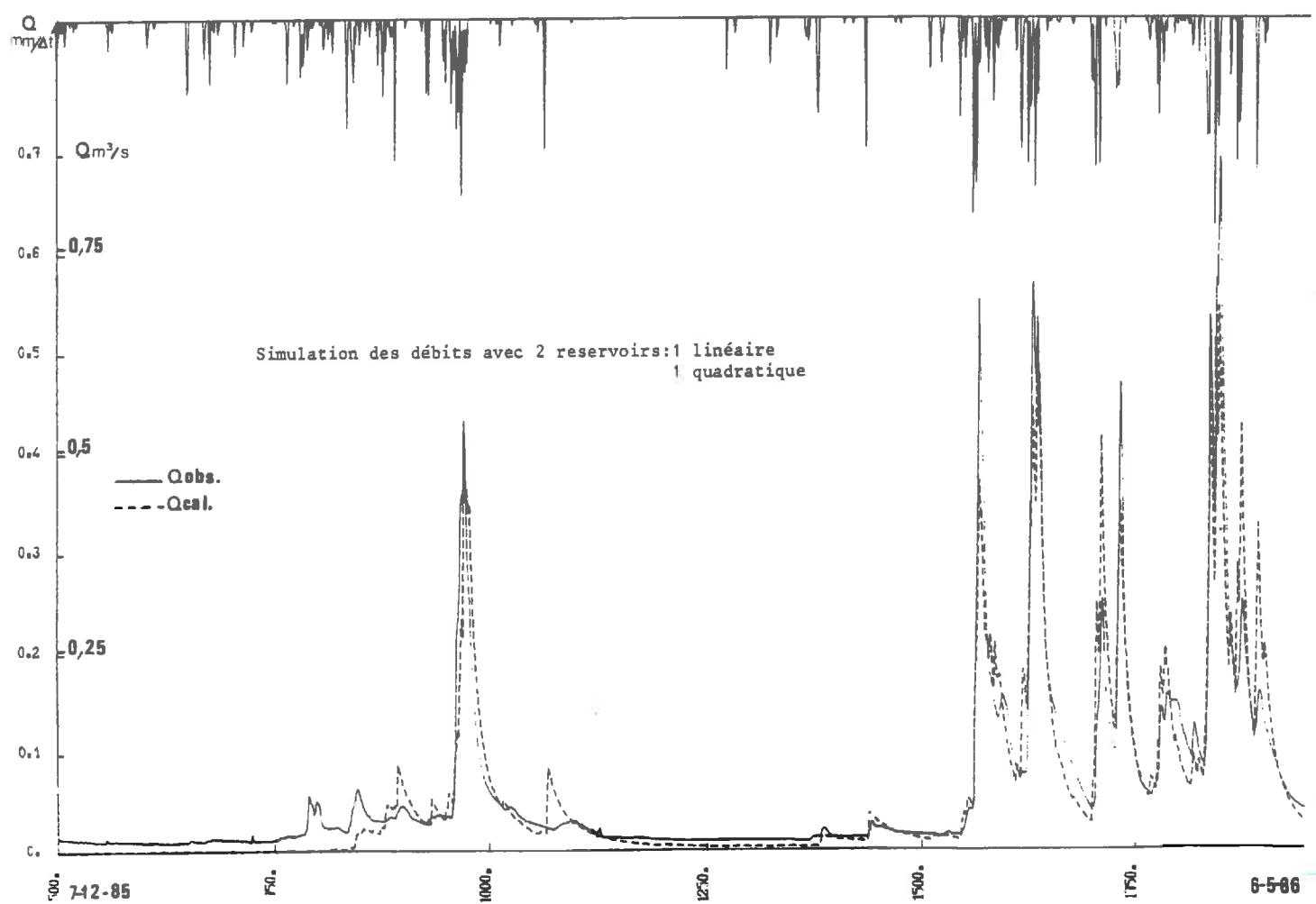
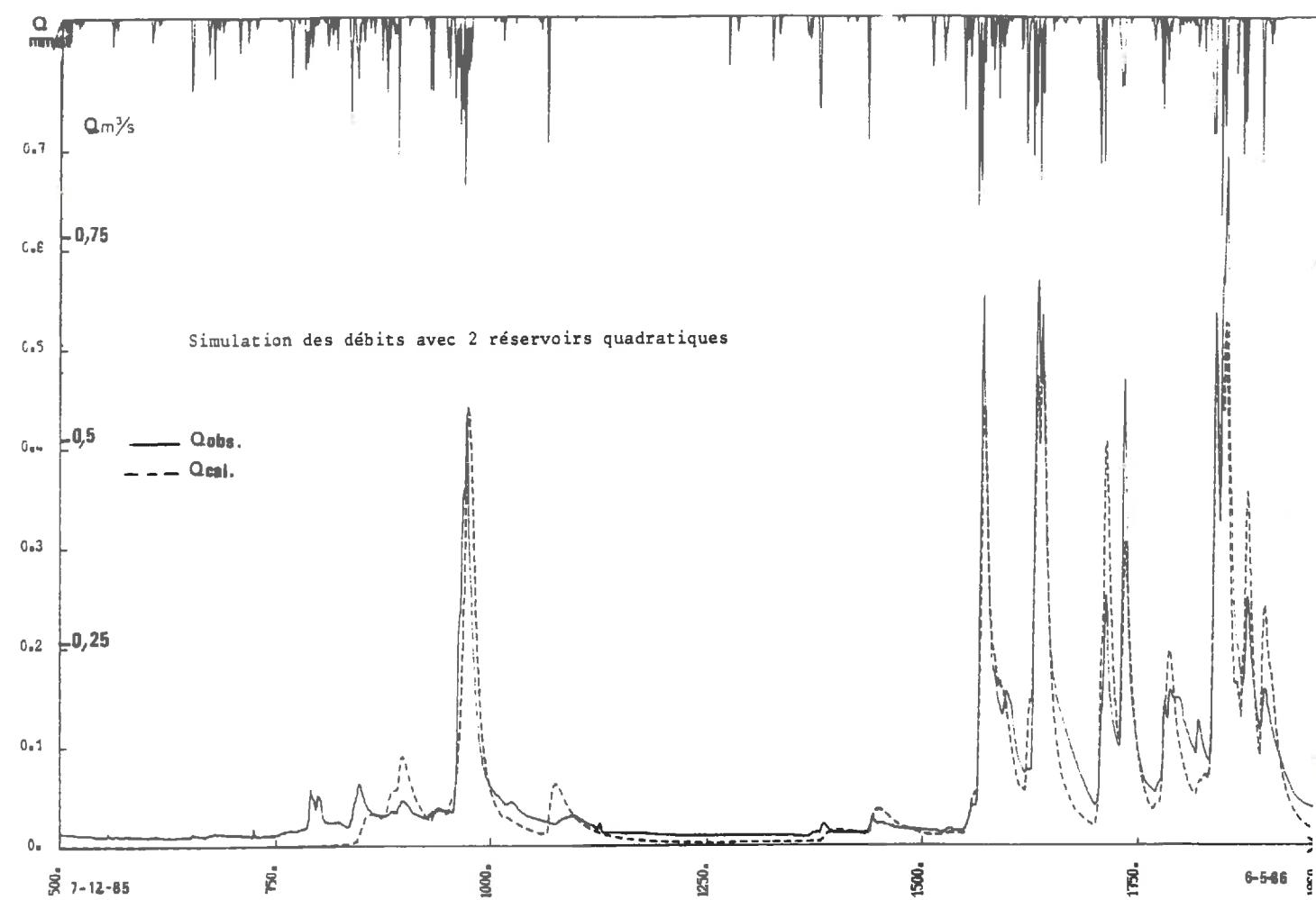


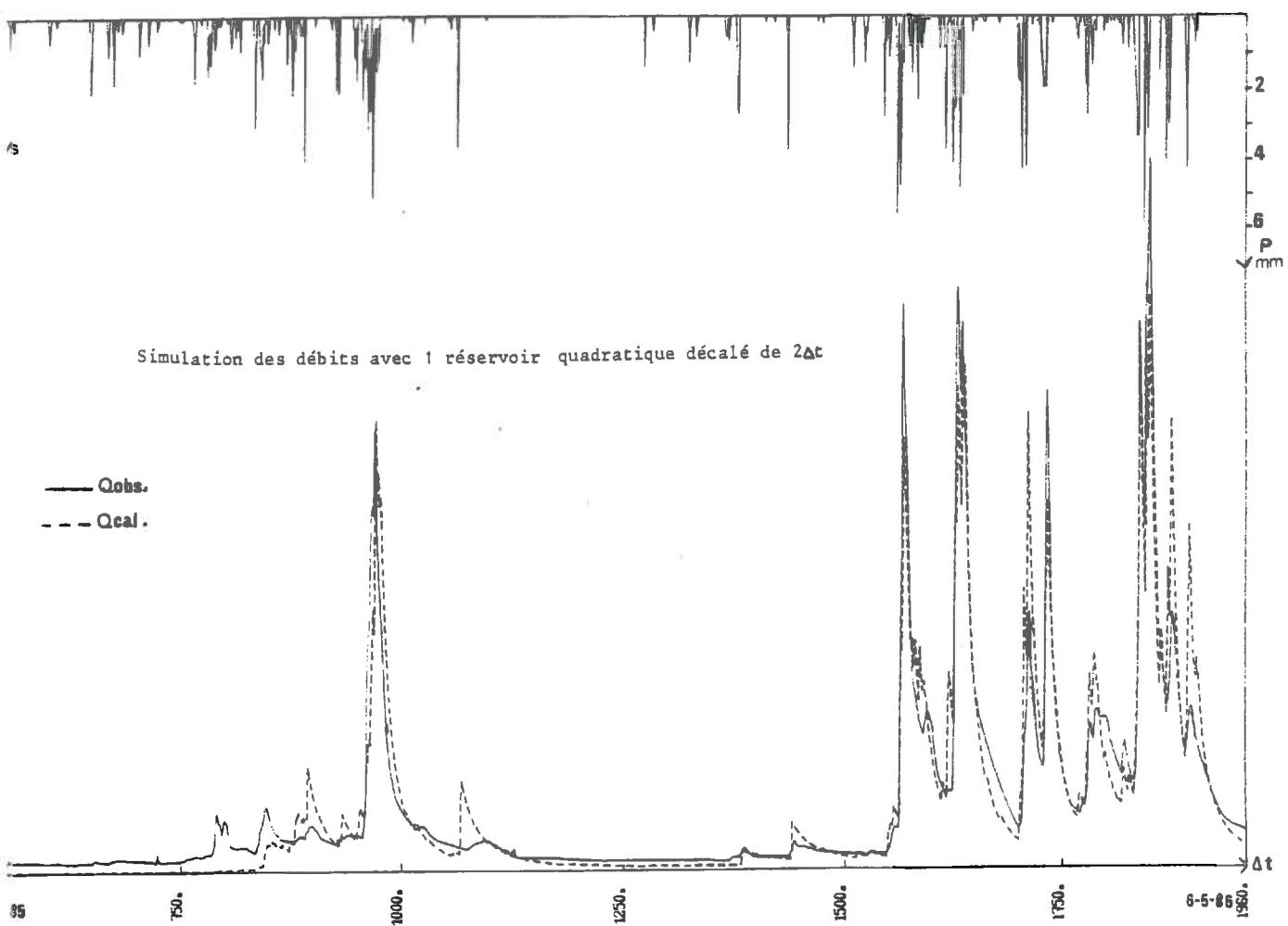
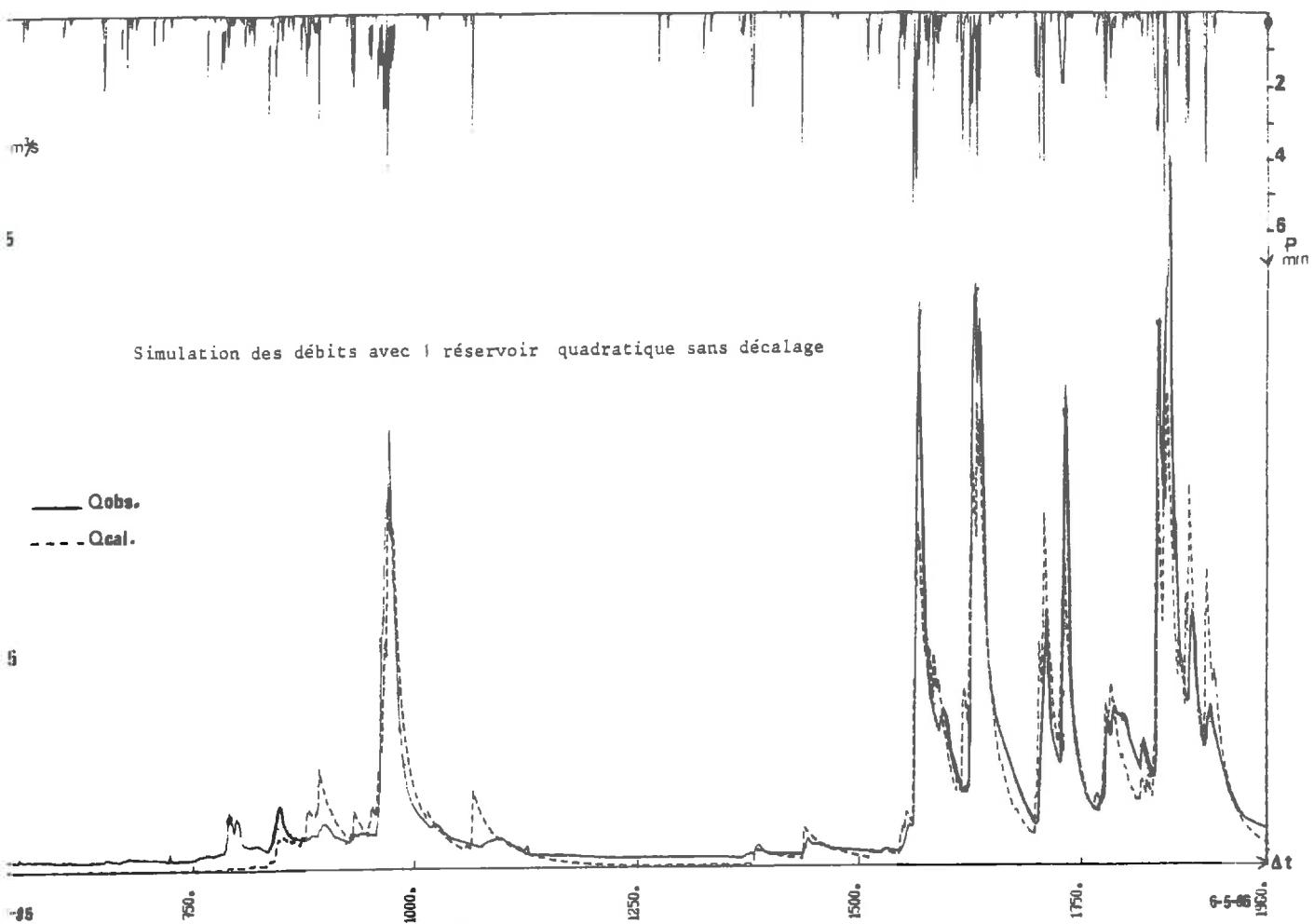
**A N N E X E VI**

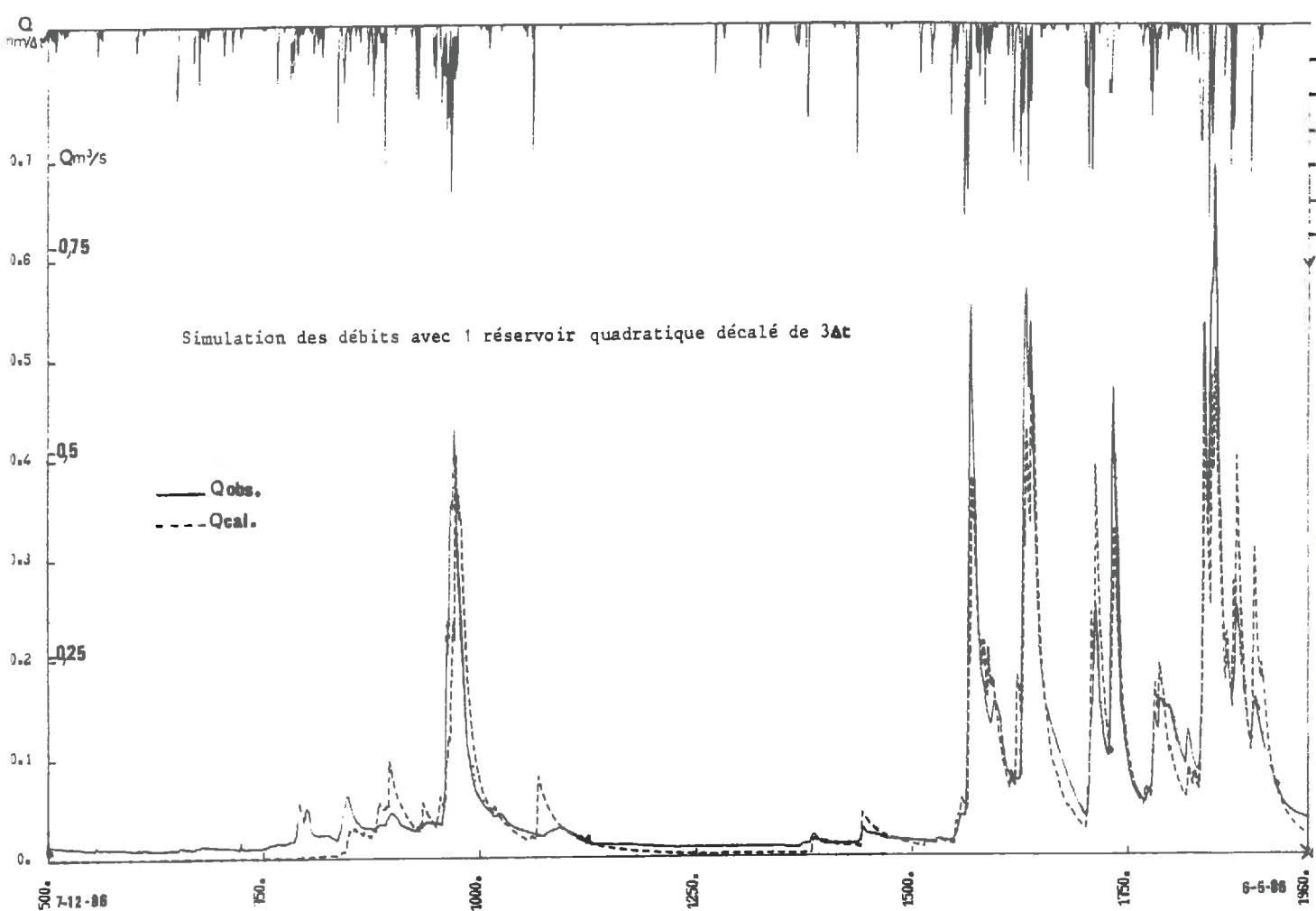
**Calage des paramètres de la fonction de transfert et de production**

VI.1 - Etude du déphasage à adopter pour la fonction de transfert sur une période de simulation de 6 mois

- a - avec 2 réservoirs quadratiques
- b - avec 2 réservoirs : 1 quadratique et 1 linéaire
- c - avec 1 réservoir quadratique sans décalage
- d - avec 1 réservoir quadratique décalé de 2 pas de temps
- e - avec 1 réservoir quadratique décalé de 3 pas de temps







#### VI.2 - Etude du domaine de recherche des paramètres

- a - pour la réserve hydrique à 55 cm = H55
- b - pour la réserve hydrologique = S
- c - pour le potentiel hydrique à 55 cm = P55
- d = pour le "gradient" d'humidité = H15/H55
- e - pour la différence de potentiel entre 25 et 55 cm = P25-55

450 < H55 < 630 cptage

on a donc:

$$\begin{cases} a + 0,45 * b = 3 \\ a + 0,63 * b = -,62 \end{cases}$$

et:

$$\begin{array}{l} \text{u} \begin{cases} x=0 \\ y=0 \end{cases} \begin{cases} \alpha_1=12 \\ \alpha_2=-,2 \end{cases} \quad \text{v} \begin{cases} x=1 \\ y=0 \end{cases} \begin{cases} \alpha_1=93,5-\gamma_1 \\ \alpha_2=-,173-\gamma_2 \end{cases} \\ \text{w} \begin{cases} x=0 \\ y=-1 \end{cases} \begin{cases} \beta_1=-9+\gamma_1 \\ \beta_2=,42+\gamma_2 \end{cases} \end{array}$$

alors :

$$x = 81,5a + 3b + 12 + (-,153a - ,22b - ,02)H$$

$0,05 \leq S \leq 0,95$  mm

on a donc:

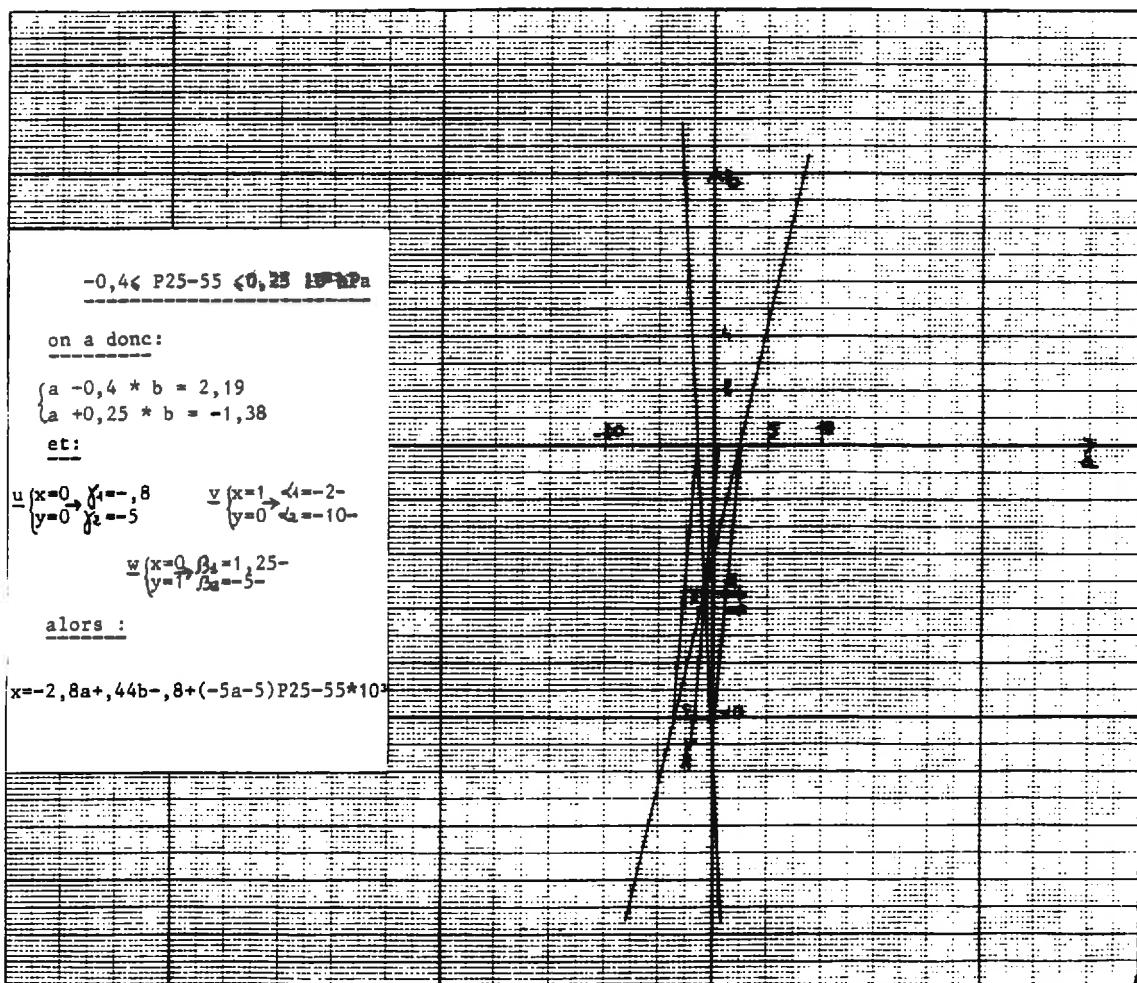
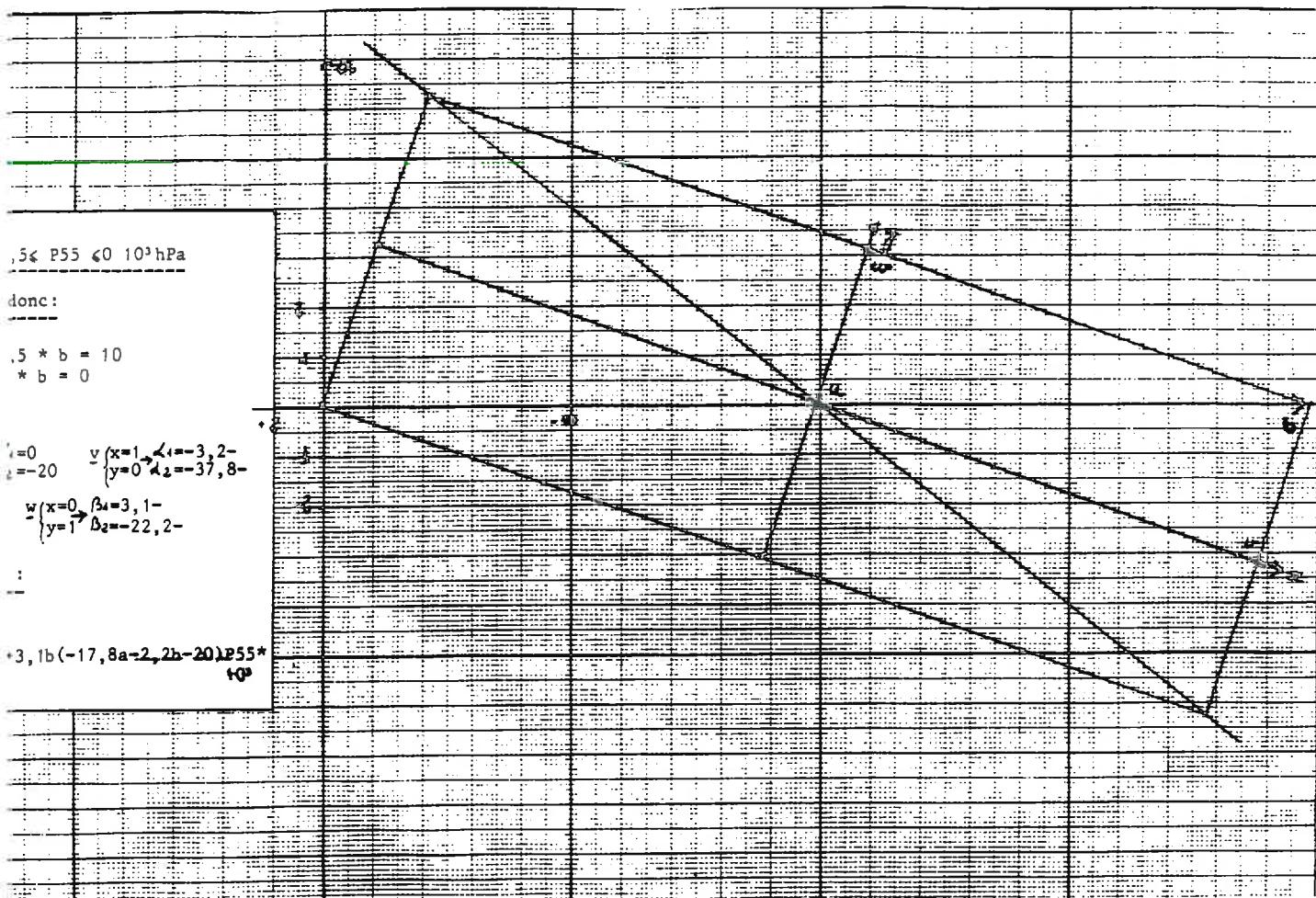
$$\begin{cases} a + 0,05 * b = 2,19 \\ a + 0,95 * b = -1,38 \end{cases}$$

et:

$$\begin{array}{l} \text{u} \begin{cases} x=0 \\ y=0 \end{cases} \begin{cases} \alpha_1=2,38 \\ \alpha_2=-3,96 \end{cases} \quad \text{v} \begin{cases} x=1 \\ y=0 \end{cases} \begin{cases} \alpha_1=3,4- \\ \alpha_2=-6,8- \end{cases} \\ \text{w} \begin{cases} x=0 \\ y=1 \end{cases} \begin{cases} \beta_1=3,15- \\ \beta_2=-2,8- \end{cases} \end{array}$$

alors :

$$x = 1,02a + ,77b + 2,38 + (-2,8a + 1,16b - 3,9)S$$



0,42 € H15/H55 €1,08

on a done:

$$\begin{cases} a + 0,422 * b = 2,19 \\ a + 1,082 * b = -1,38 \end{cases}$$

272

$$\begin{array}{l} \text{if } \begin{cases} x=0 \\ y=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha_1 = 4, 47 \\ \alpha_2 = -5, 4 \end{cases} \quad \text{if } \begin{cases} x=1 \\ y=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha_1 = 33- \\ \alpha_2 = -45- \end{cases} \\ \text{if } \begin{cases} x=1 \\ y=1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha_1 = 3, 75+ \\ \alpha_2 = 11, 25+ \end{cases} \end{array}$$

alors :

$$x=28, 5a+8, 2b+4, 47+(-39, 6a+5, 8b-5.4) \text{ H15/H5}$$

### VI.3 - Méthode d'optimisation de ROSENBROCK

## METHODE DE ROSEN BROCK

### Principe :

Soit,  $F$  à minimiser (ou à maximiser) et  $X_1, \dots, X_p$  les paramètres à identifier.

On définit initialement un jeu de  $P$  vecteurs unités orthogonaux  $v_1^0, v_2^0 \dots v_p^0$  déterminant un système de  $p$  axes et un jeu de pas de recherche de longueur arbitraire  $e_i$  :  $e_1, e_2 \dots e_p$  ( $< 0$  ou  $> 0$ ).

Les modifications successives apportées aux différents paramètres seront alors  $e_1 v_1^0, e_2 v_2^0 \dots e_p v_p^0$

### Processus de calcul :

#### Recherche directe :

Après chaque modification d'un paramètre la nouvelle valeur de la fonction critère  $F = F(X_i + e_i v_i^0)$  est comparée à la valeur optimale obtenue jusqu'alors.

S'il s'agit d'un succès, le pas de recherche  $e_i$  est multiplié par  $\lambda > 1$ .

S'il s'agit d'un échec,  $e_i$  est multiplié par  $\delta < 1$ .

On prend généralement (d'après les expériences réalisées par l'auteur) :

$$\lambda = 3 \quad \delta = 1/2$$

Une suite d'échecs sur la direction  $v_i$  produira des pas  $e_i$  diminuant régulièrement et oscillant en signe.

Une suite de succès produira des pas  $e_i$  croissant régulièrement avec le même signe. On comprend alors que si  $e_i$  est au départ trop petit ou trop grand, il puisse être ajusté aux dimensions correctes.

Ce processus est poursuivi jusqu'à ce que dans chaque direction on ait trouvé un succès suivi d'un échec ( $e_i$  adapté aux dimensions correctes).

A ce niveau, les axes des vecteurs unitaires  $v_1^0, v_2^0 \dots v_p^0$  sont remplacés par de nouveaux axes de vecteurs unitaires déterminés comme suit.

. Rotation des axes de recherche :

Au fur et à mesure du calcul qui précède, on a défini la somme algébrique  $d_1$  de tous les pas de recherche ayant entraîné un succès dans la direction  $v_1^0$ , puis  $d_2$  dans la direction  $v_2^0$ , et ainsi de suite.

On écrit alors :

$$\alpha_1 = d_1 v_1^0 + d_2 v_2^0 \dots + d_p v_p^0$$

$$\alpha_2 = d_2 v_2^0 + \dots + d_p v_p^0$$

$$\alpha_p = d_p v_p^0$$

$\alpha_1$  est alors le vecteur joignant le point initial au point final obtenu par l'utilisation du système de vecteurs  $v_1^0 \dots v_p^0$  et la méthode de recherche directe précédente ;

$\alpha_2$  est la somme des progressions effectuées dans les directions autres que la première.

$\alpha_3$  est la somme des progressions effectuées dans les directions autres que la première et la seconde.

$\alpha_1$  détermine ainsi la direction préférentielle de recherche.

La seconde, déterminée par  $\alpha_2$  doit être orthogonale à la première pour former un système d'axes orthonormés cohérent.

Pour ce faire, l'auteur utilise la méthode d'orthogonalisation de GRAM - SCHMIDT en écrivant que :

$$\beta_1 = \alpha_1$$

$$\beta_2 = \alpha_2 - \frac{\beta_1 \cdot \alpha_2}{\beta_1 \cdot \beta_1} \beta_1$$

$$\beta_3 = \alpha_3 - \frac{\beta_2 \cdot \alpha_3}{\beta_2 \cdot \beta_2} \beta_2 - \frac{\beta_1 \cdot \alpha_3}{\beta_1 \cdot \beta_1} \beta_1$$

.....

$$\beta_p = \alpha_p - \frac{\beta_{p-1} \cdot \alpha_p}{\beta_{p-1} \cdot \beta_{p-1}} \quad \beta_{p-1} = \dots$$

$$\beta_p = \alpha_p - \sum_{i=1}^p \frac{\alpha_p \cdot \beta_i}{\beta_i \cdot \beta_i} \cdot \beta_i$$

alors les valeurs unitaires  $v_i^1 = \frac{\beta_i}{\|\beta_i\|}$  sont mutuellement orthogonaux en formant une base orthogonale de  $v_p^m \quad \|\beta_i\| = \sqrt{\sum_{i=1}^p \beta_i^2}$  (norme).

Dans la méthode de calcul les nouveaux vecteurs sont normalisés au fur et à mesure du calcul :

$$\beta_1 = \alpha_1$$

$$v_1^1 = \frac{\beta_1}{\|\beta_1\|}$$

$$\beta_2 = \alpha_2 - (\alpha_2 \cdot v_1) v_1$$

$$v_2^1 = \frac{\beta_2}{\|\beta_2\|}$$

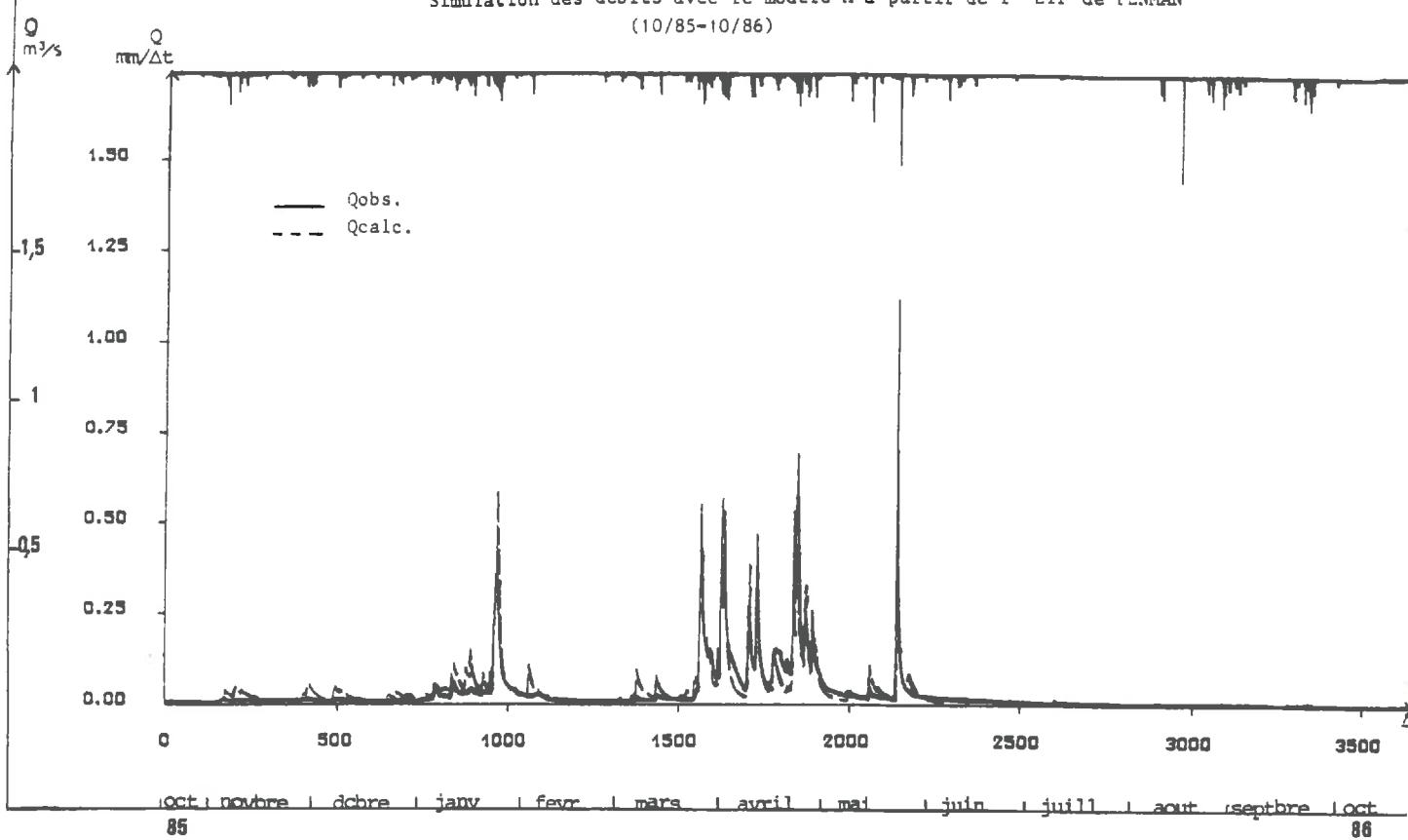
A N N E X E VII

Dessins des chroniques de pluie et de débit (observé et calculé)

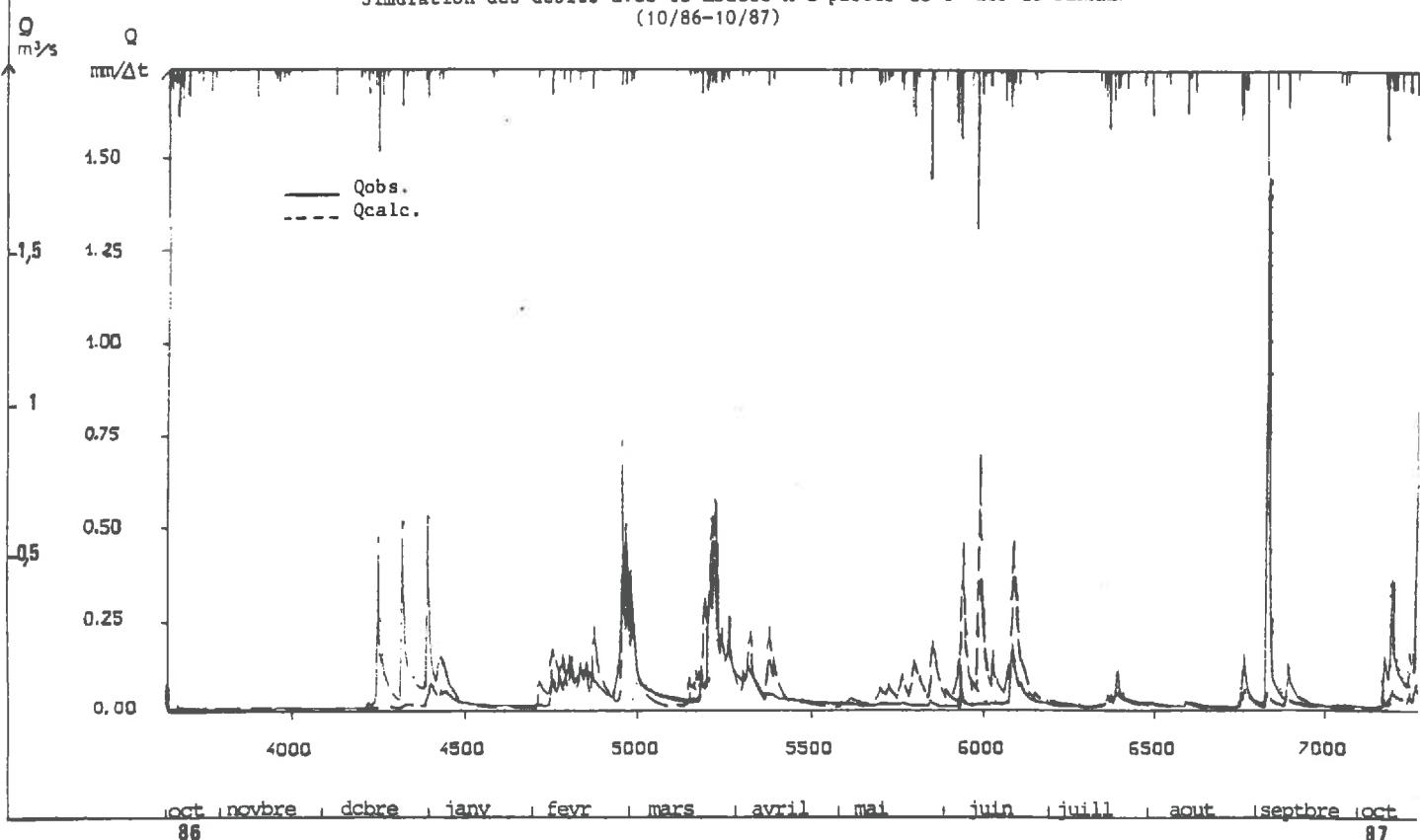
VII.1 - Simulation des débits avec le modèle A sur une période de 2 ans (10/85-10/87)

- a - à partir des données d'ETP PENMAN
- b - à partir des données de températures journalières

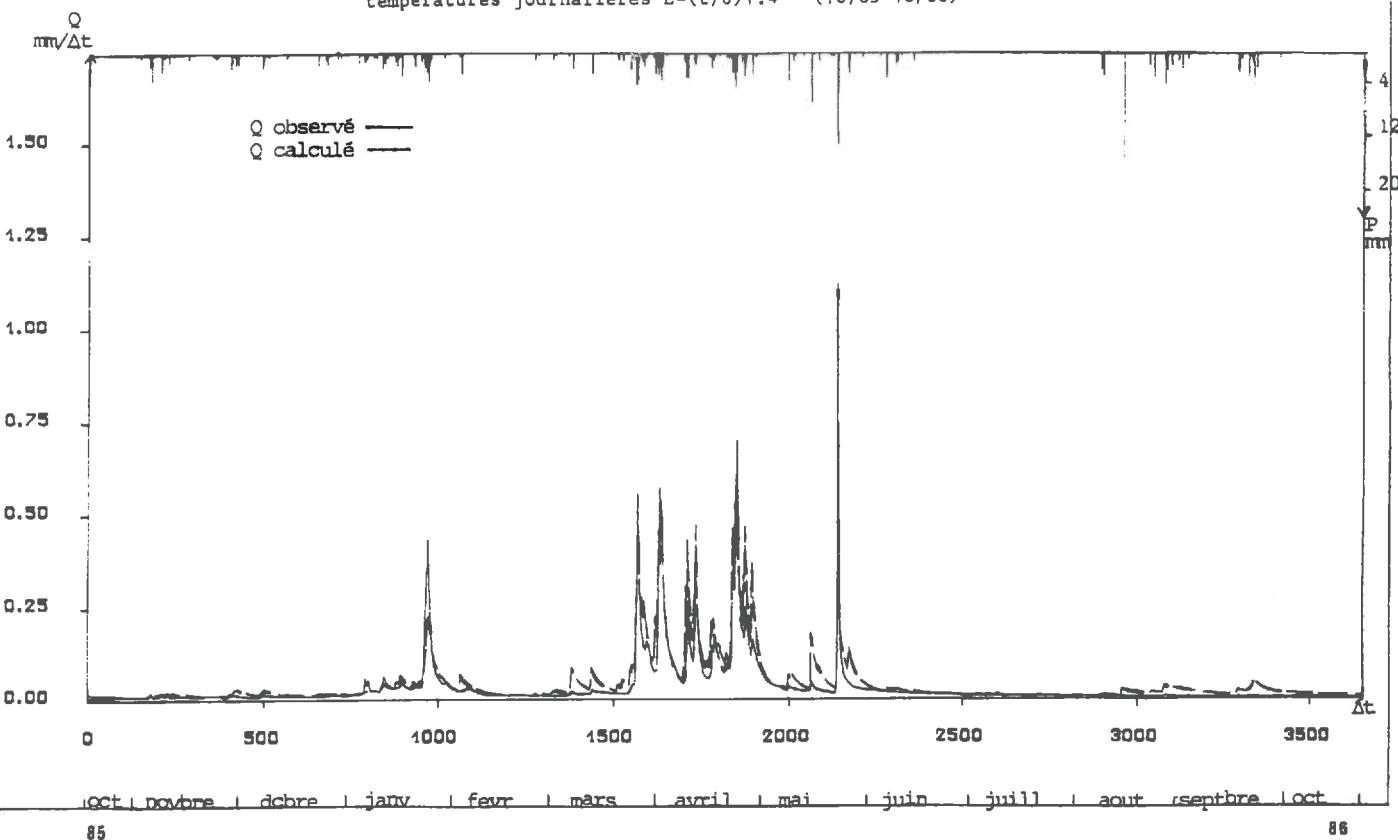
Simulation des débits avec le modèle A à partir de l' ETP de PENMAN  
(10/85-10/86)



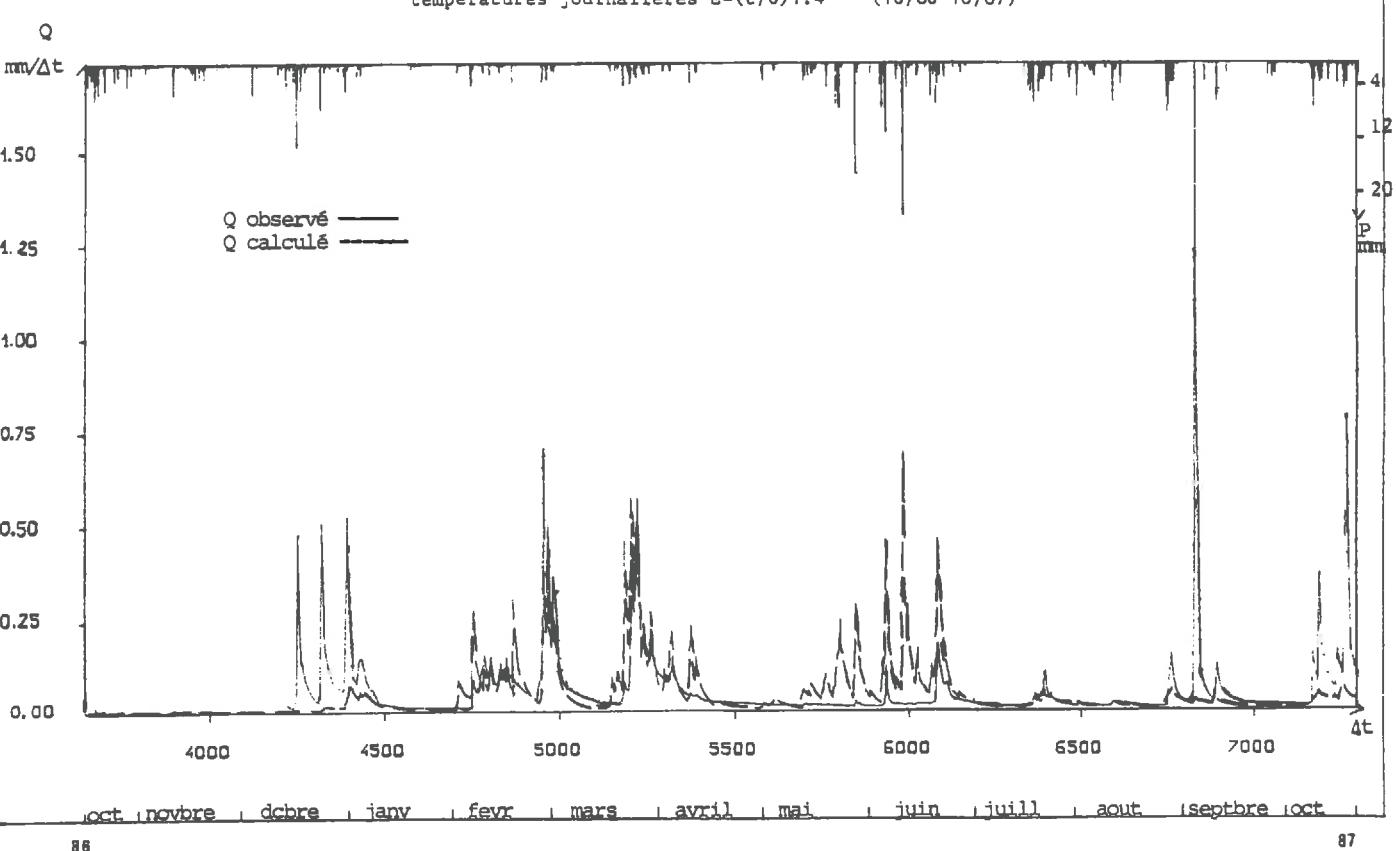
Simulation des débits avec le modèle A à partir de l' ETP de PENMAN  
(10/86-10/87)



Simulation des débits avec le modèle de base A à partir des  
températures journalières  $E = (t/6)1.4$  (10/85-10/86)



Simulation des débits avec le modèle de base A à partir des  
températures journalières  $E = (t/6)1.4$  (10/86-10/87)

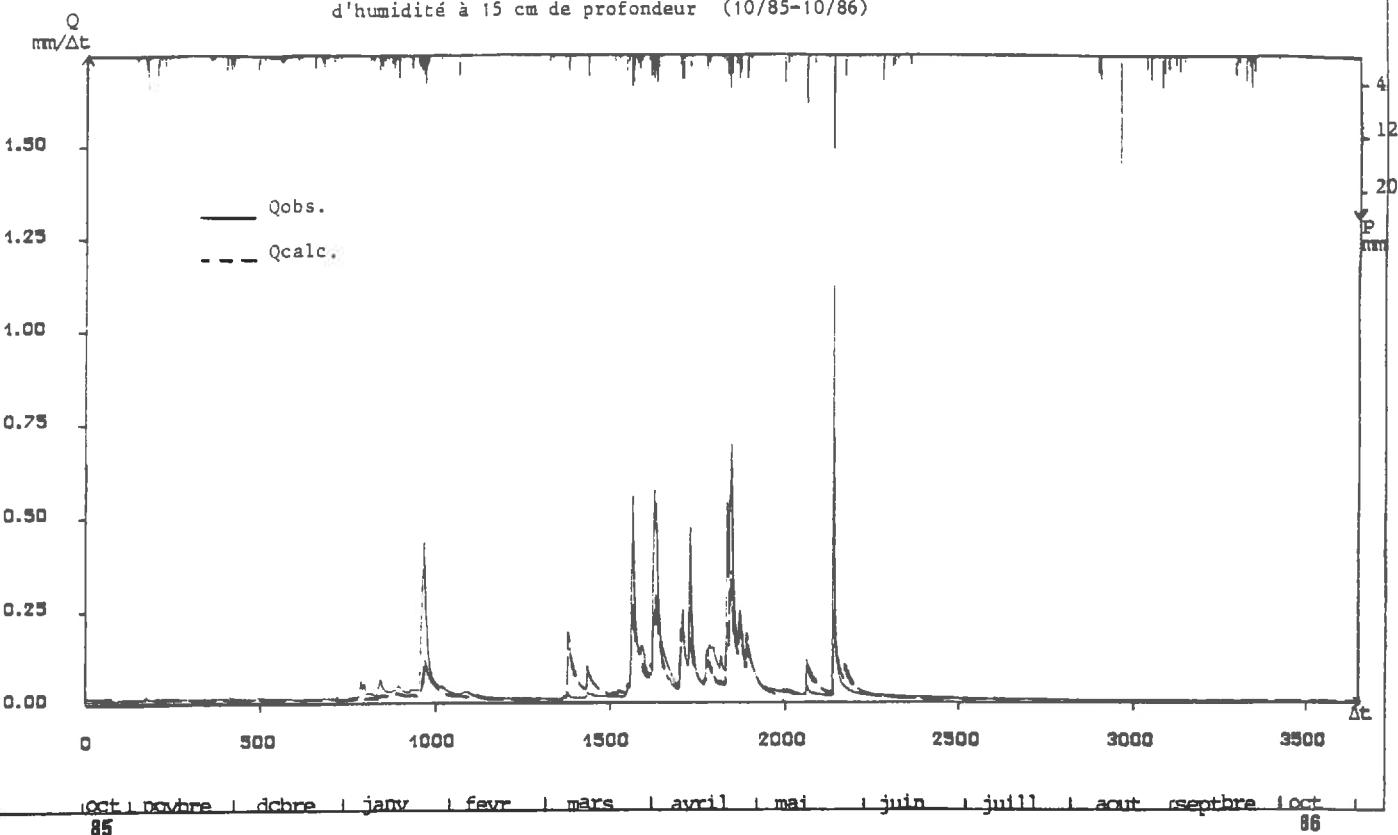


VII.2 - Simulation des débits avec le modèle B sur une période de 2 ans  
(10/85-10/87)

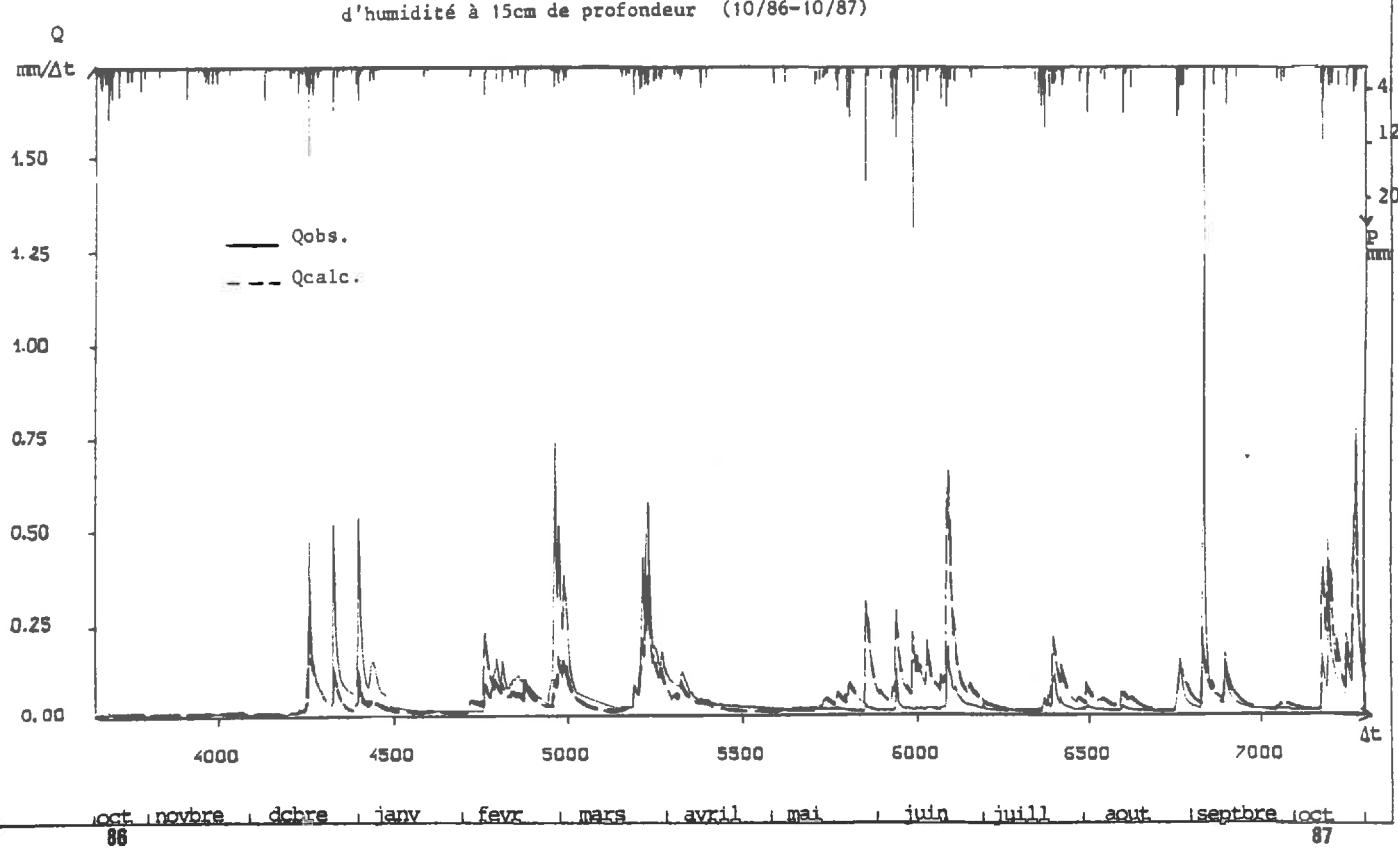
- a - pour les variations d'humidité à différentes profondeurs  
(15 - 85 cm)
- b - pour les variations d'humidité en cumulant les valeurs  
de plusieurs profondeurs
- c - pour les variations du "gradient" d'humidité

**VII.2.a - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations d'humidité à différentes profondeurs (15 - 85 cm)**

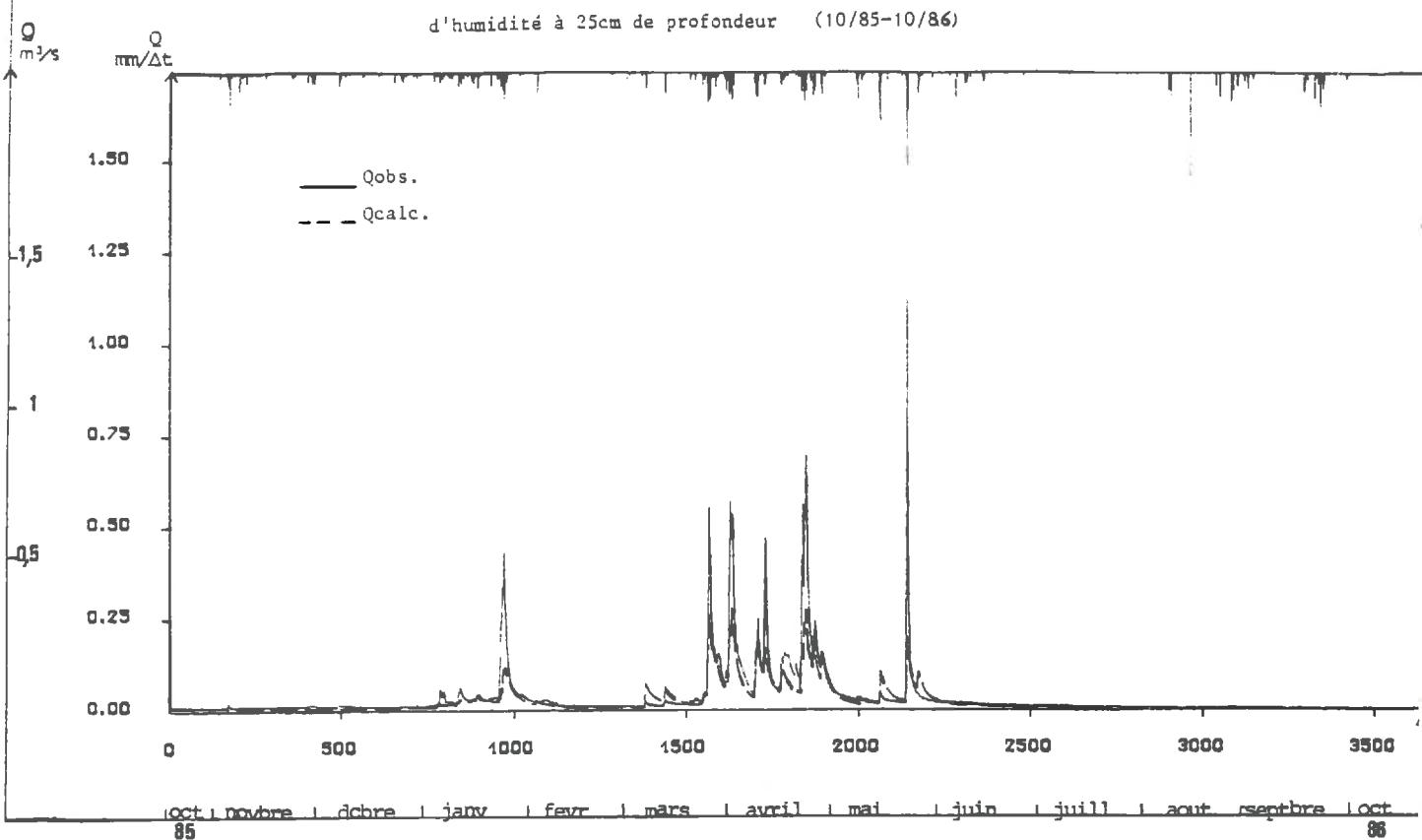
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 15 cm de profondeur (10/85-10/86)



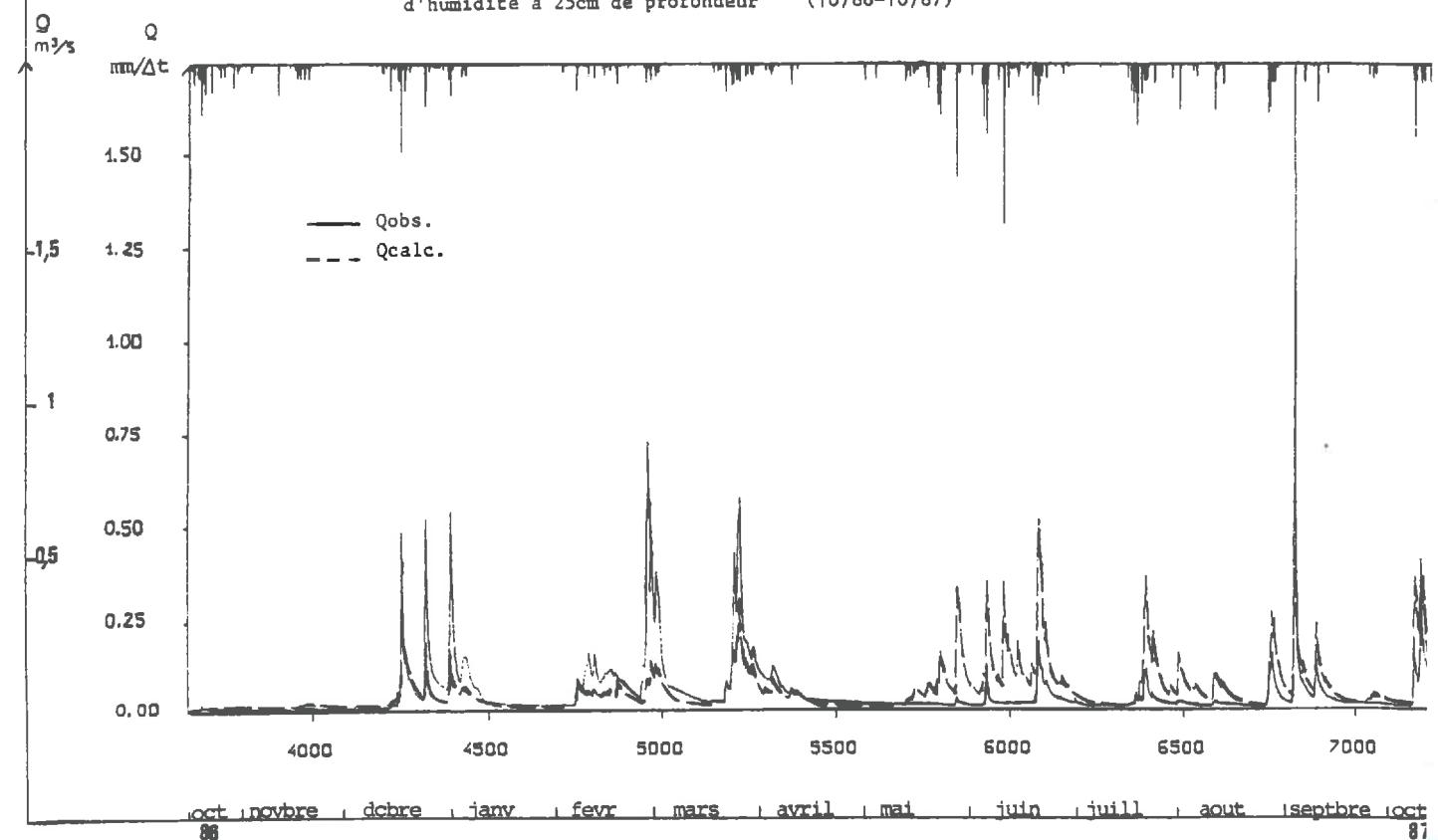
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 15cm de profondeur (10/86-10/87)



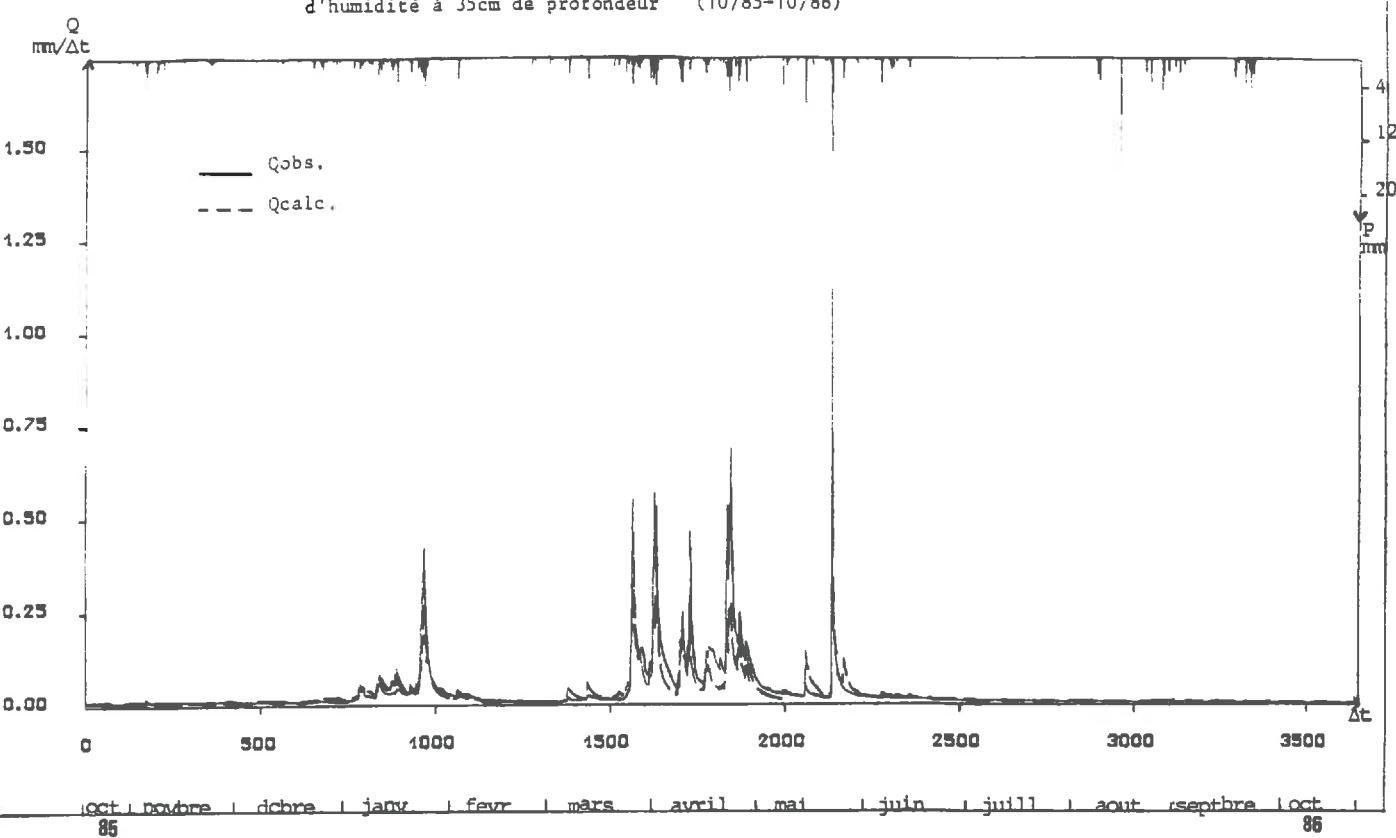
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 25cm de profondeur (10/85-10/86)



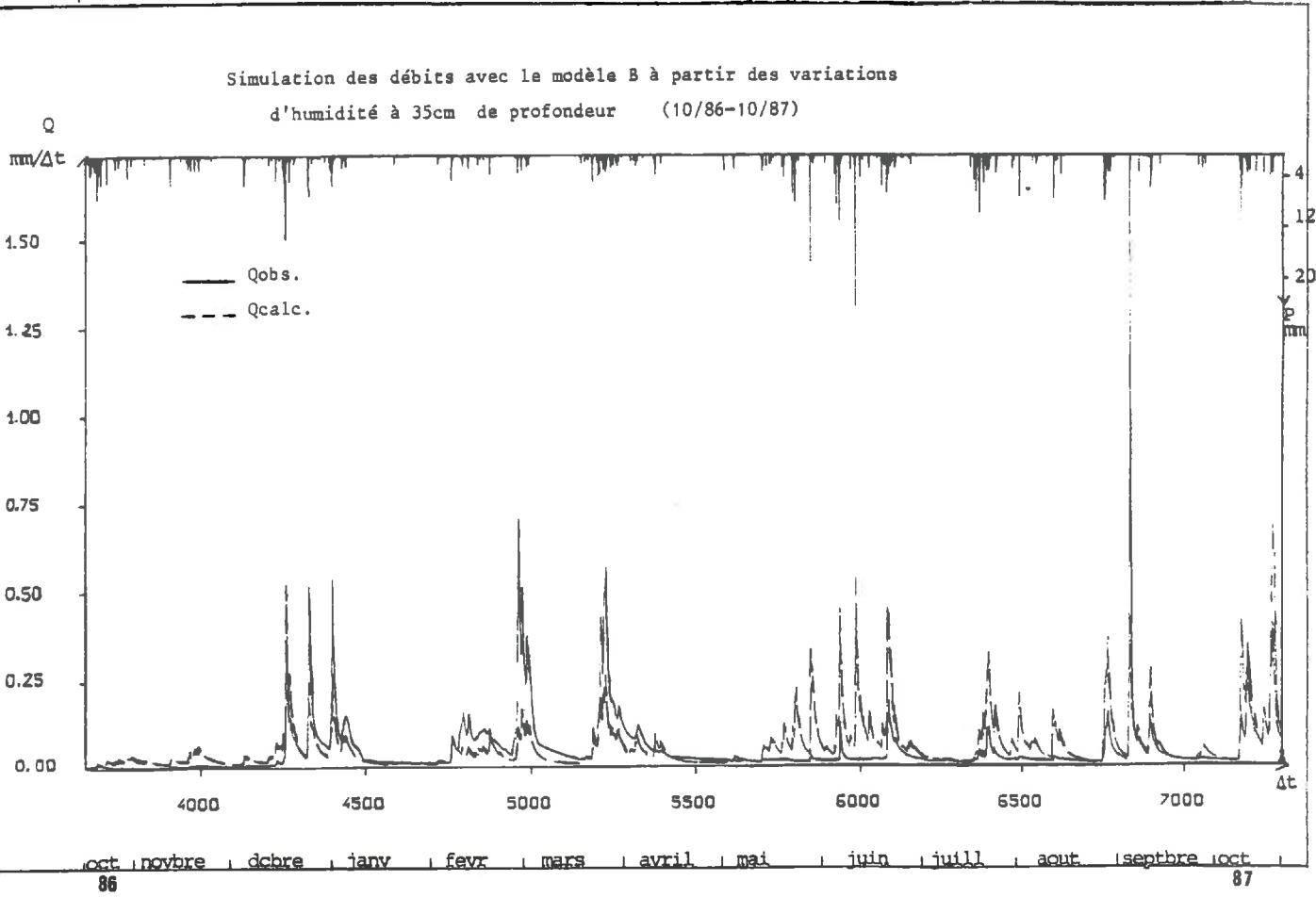
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 25cm de profondeur (10/86-10/87)



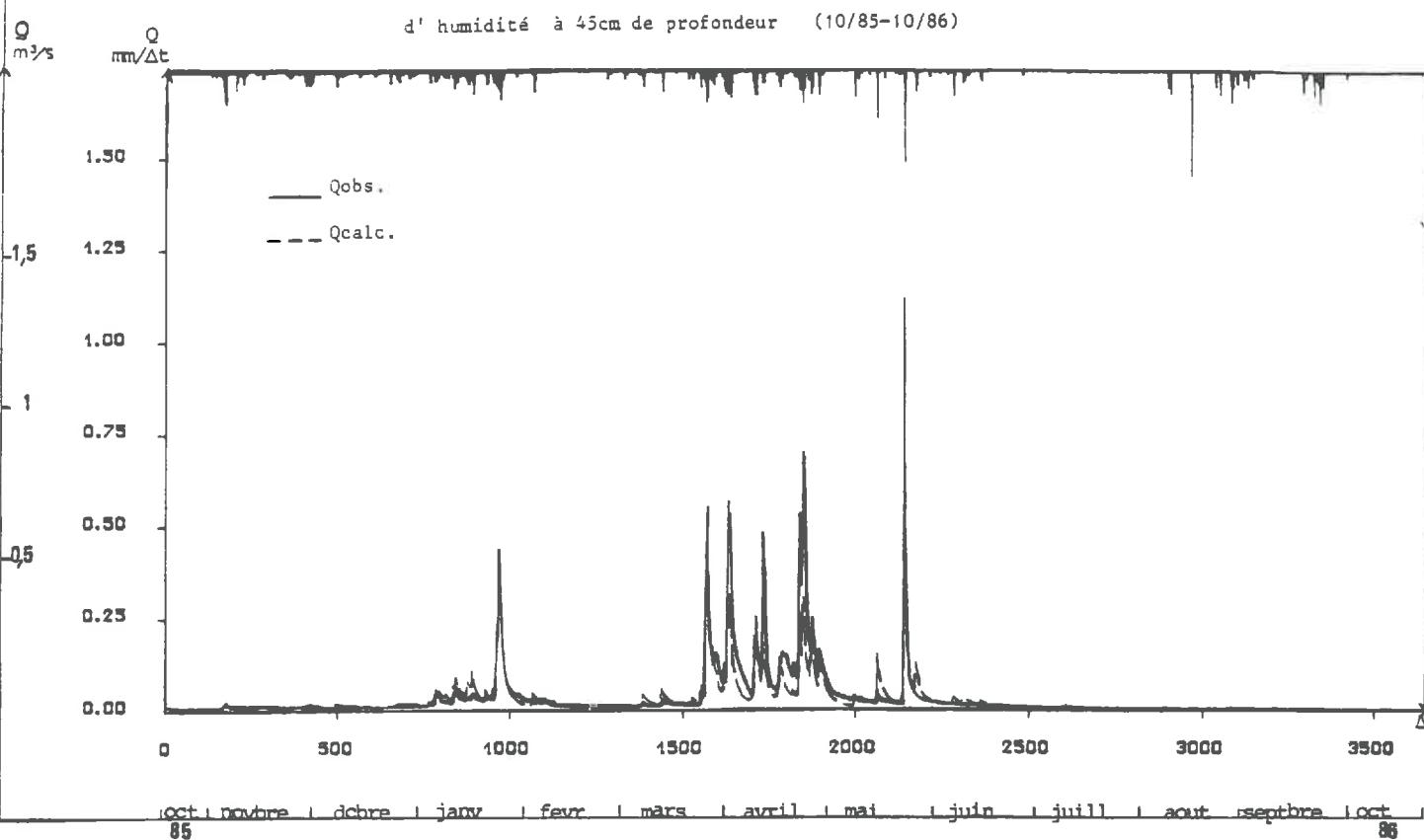
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 35cm de profondeur (10/85-10/86)



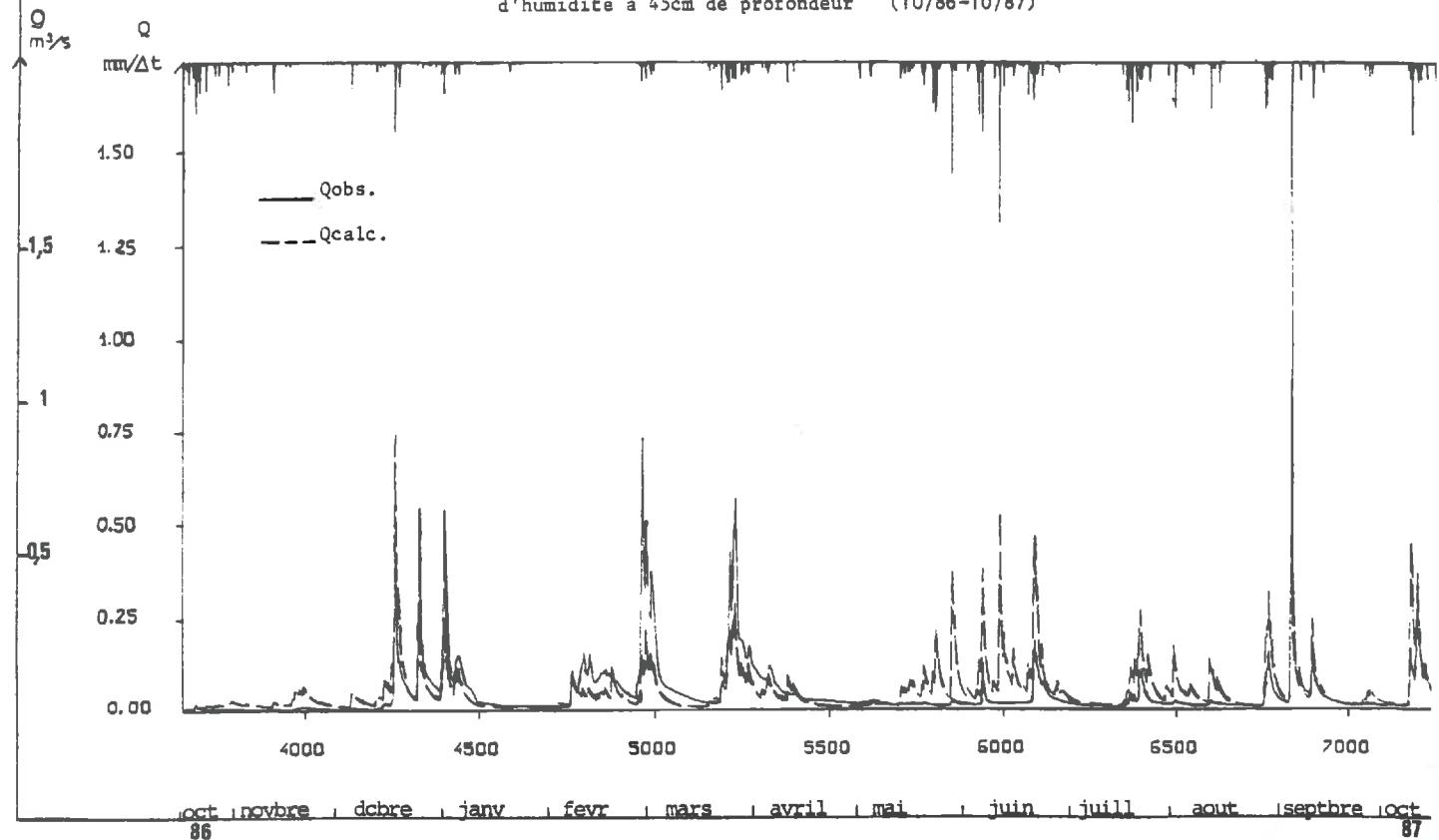
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 35cm de profondeur (10/86-10/87)



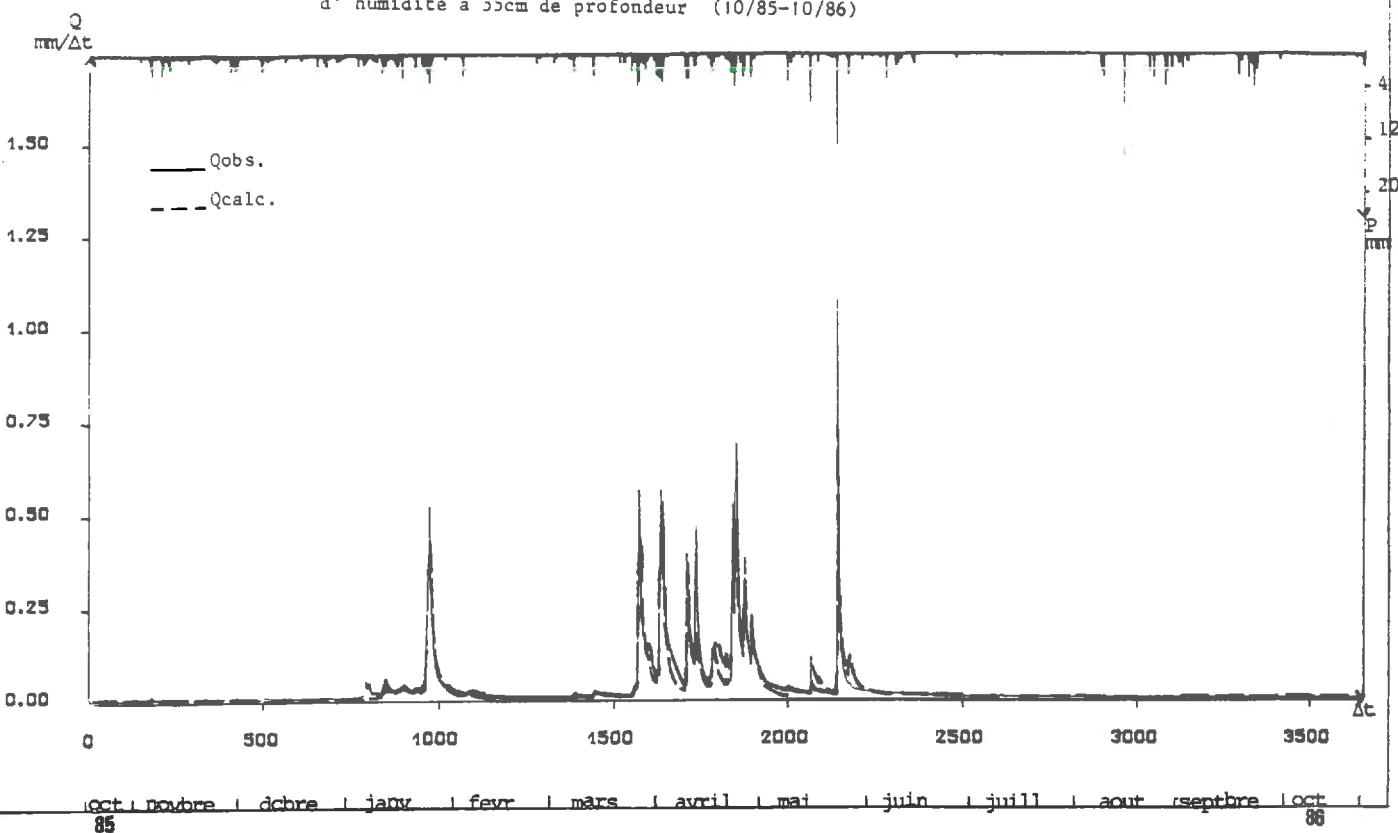
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 45cm de profondeur (10/85-10/86)



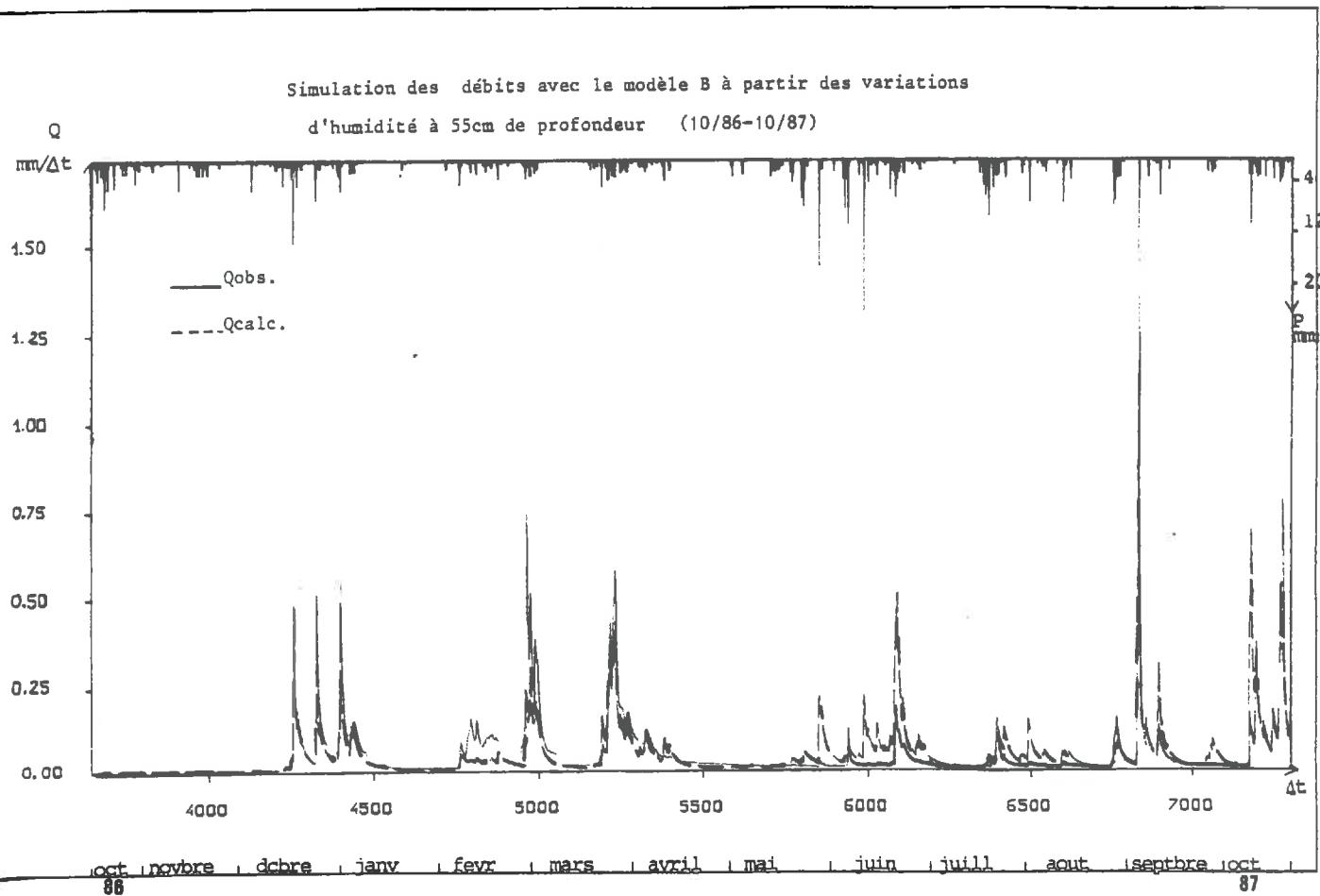
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 45cm de profondeur (10/86-10/87)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm de profondeur (10/85-10/86)

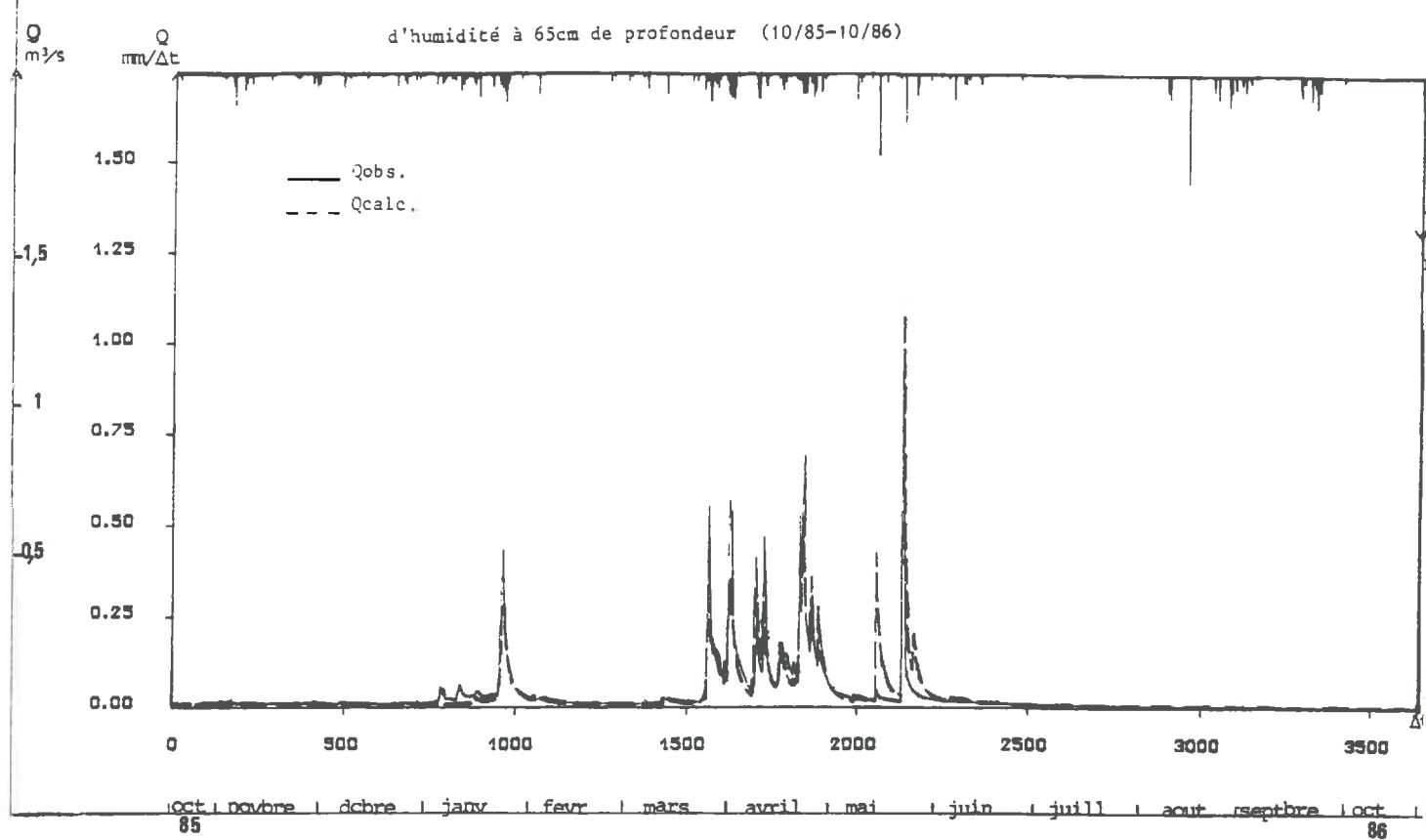


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm de profondeur (10/86-10/87)



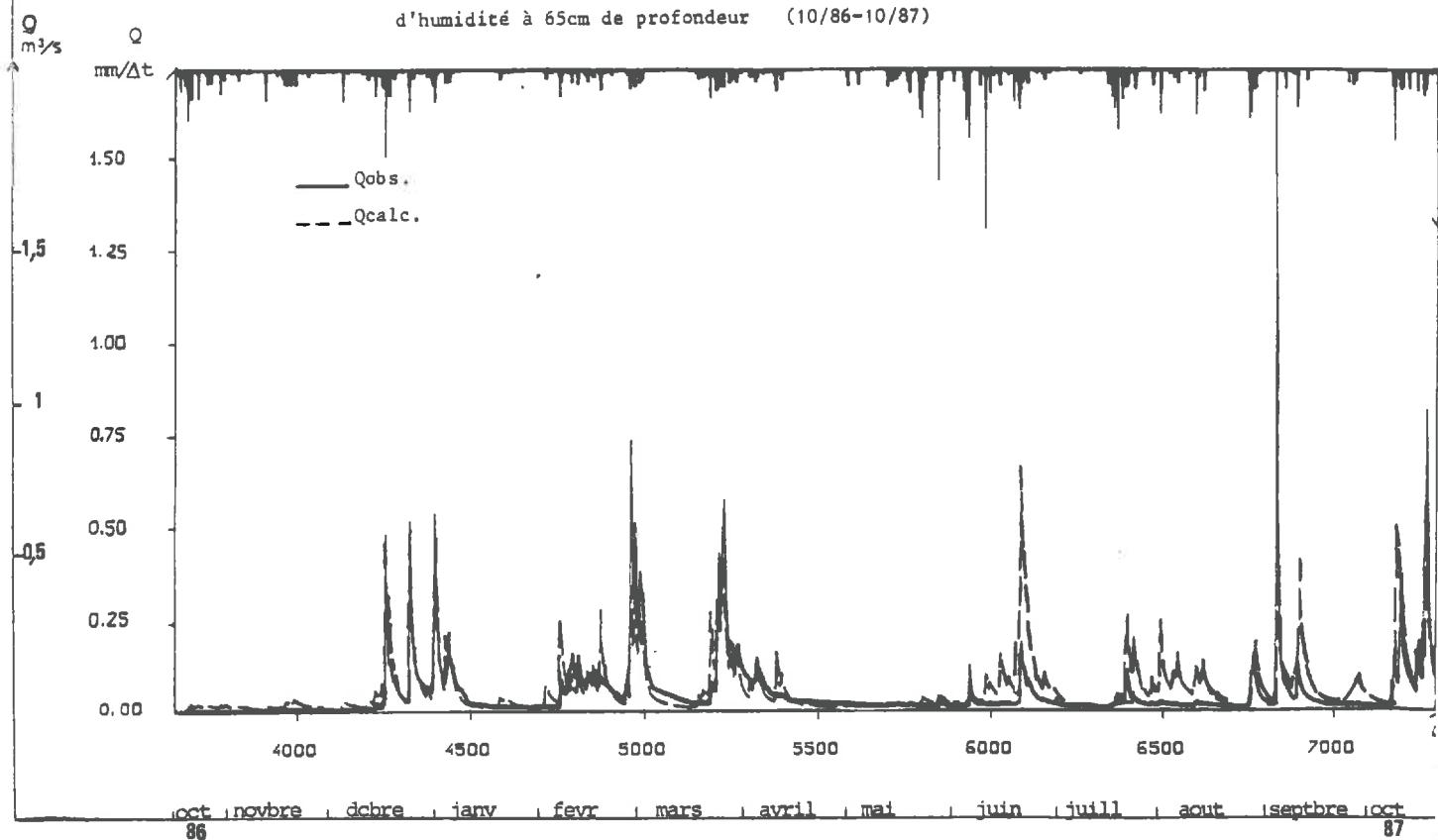
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations

d'humidité à 65cm de profondeur (10/85-10/86)

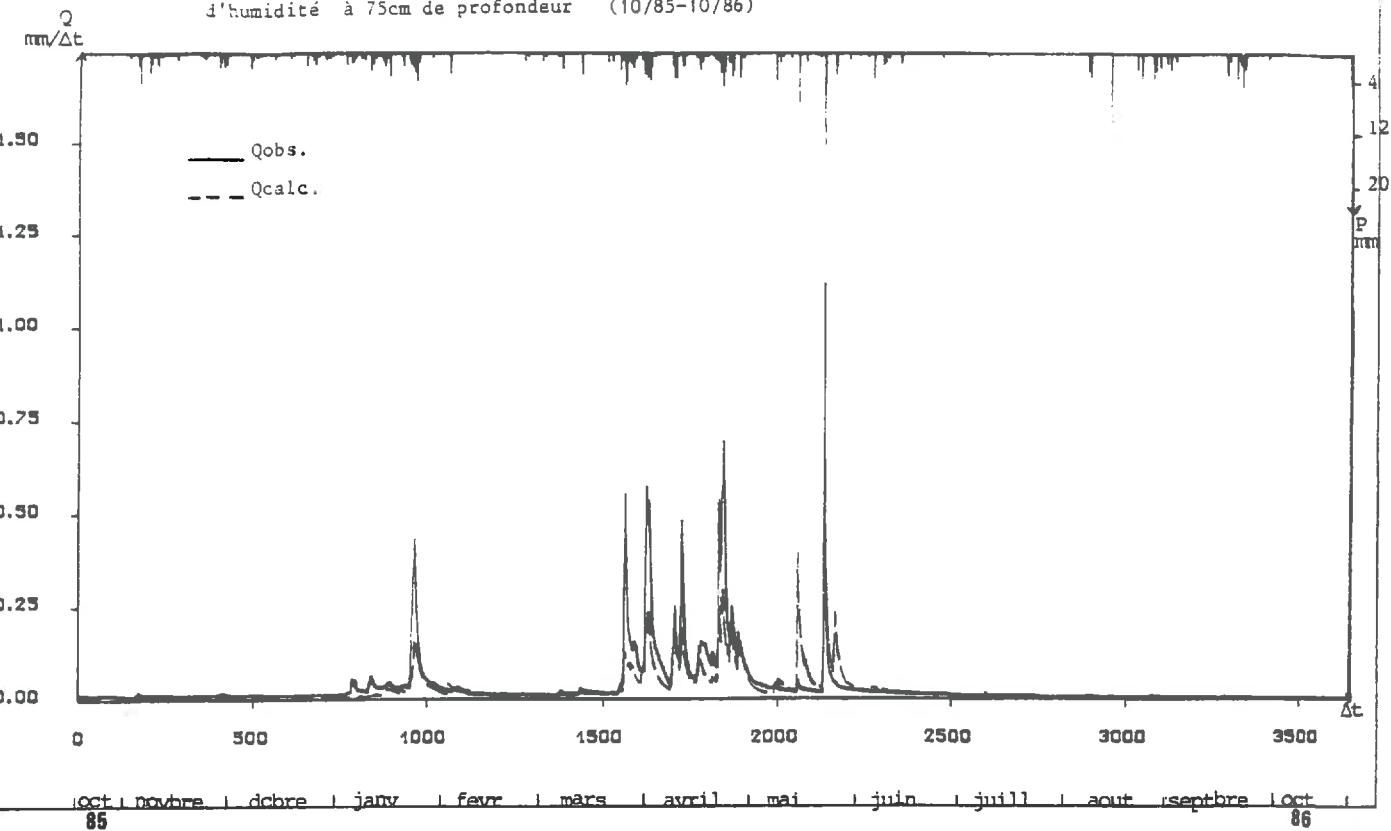


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations

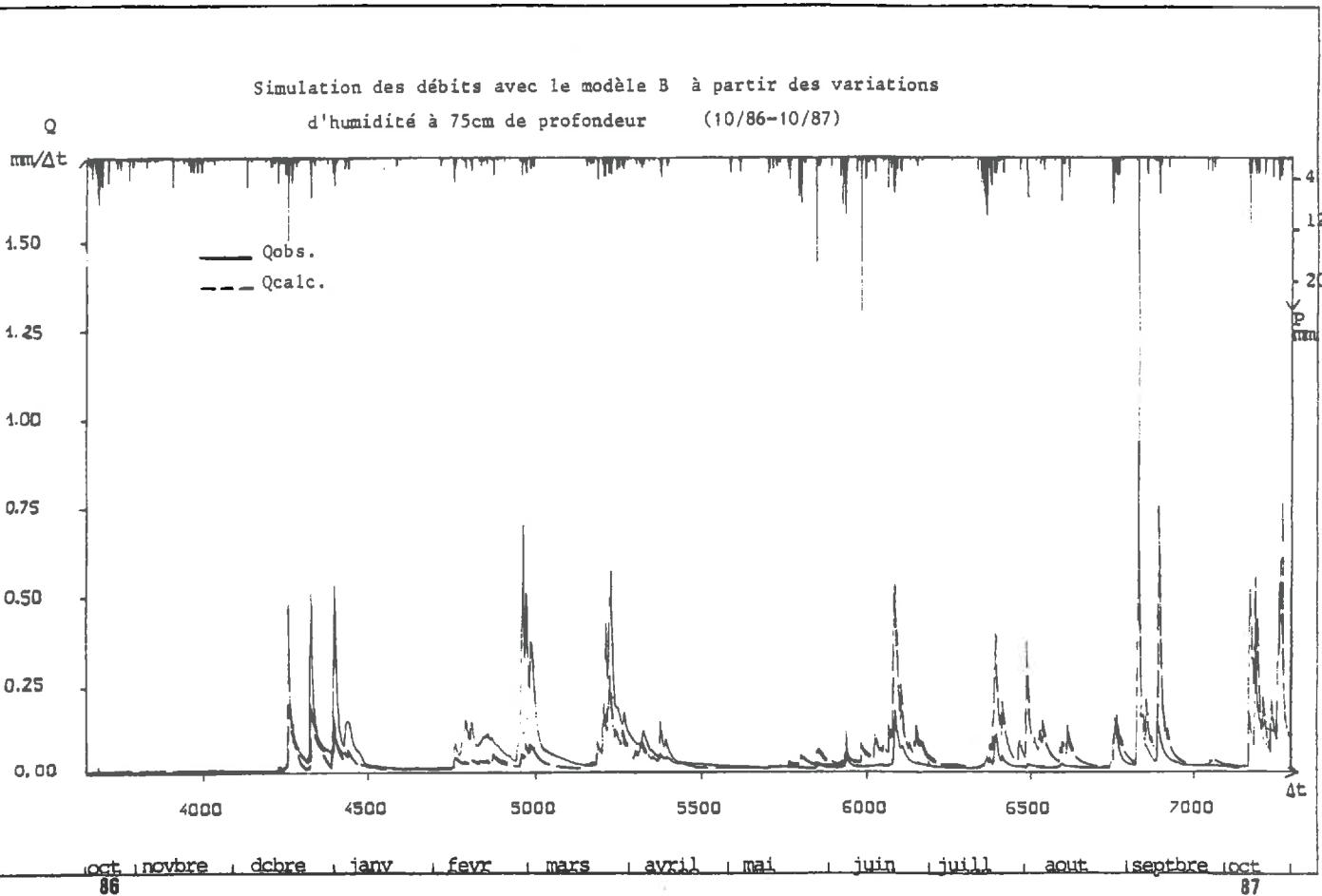
d'humidité à 65cm de profondeur (10/86-10/87)



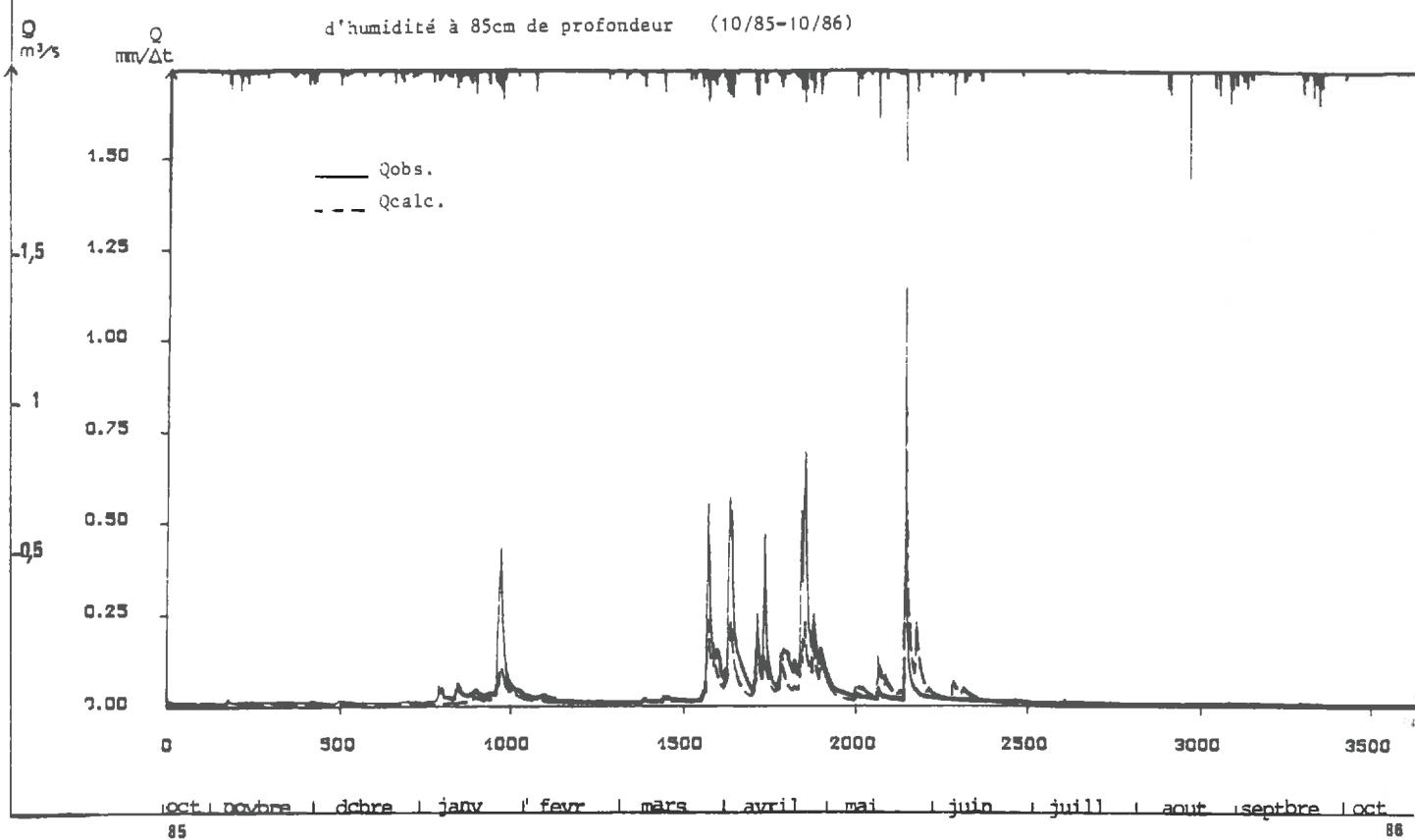
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 75cm de profondeur (10/85-10/86)



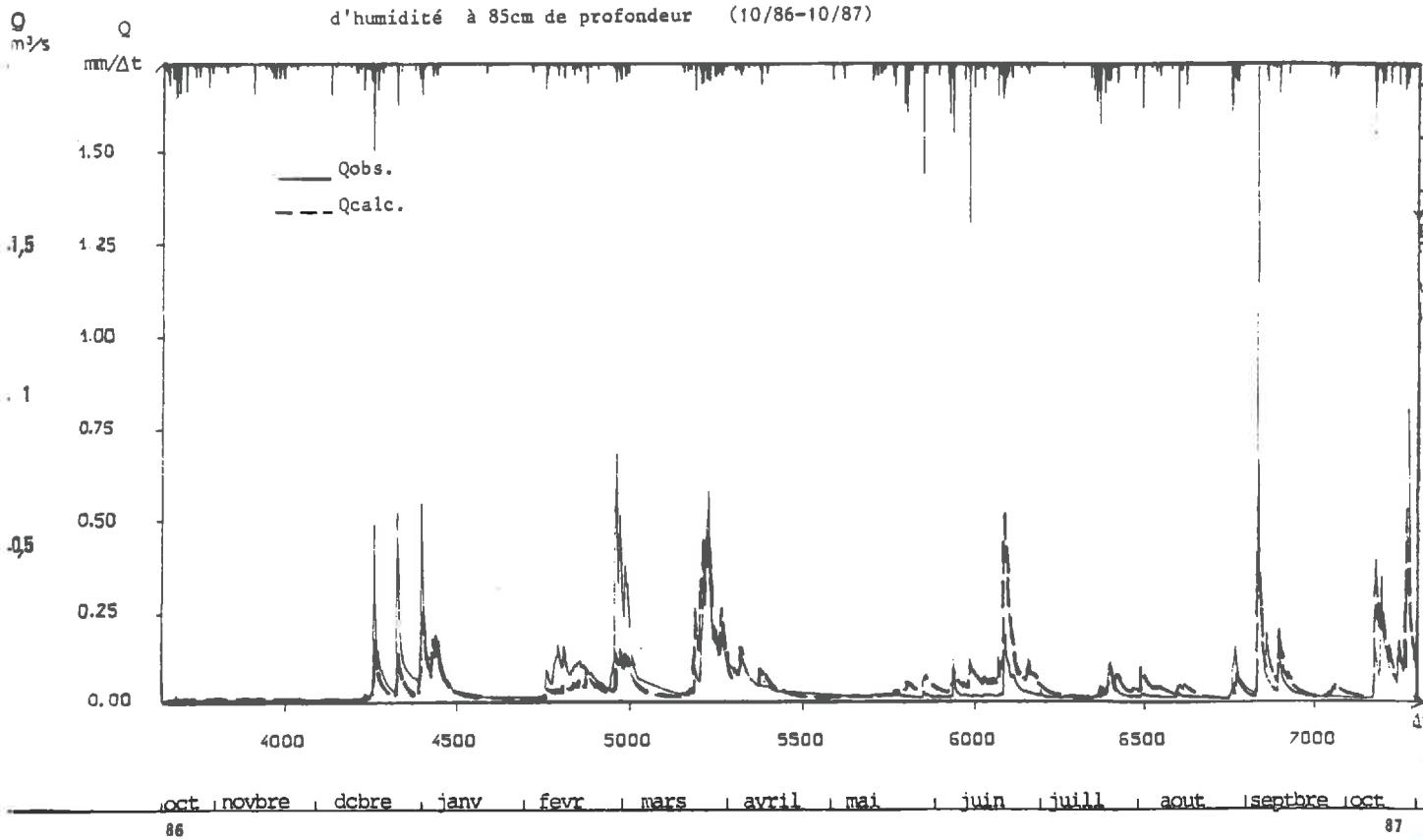
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 75cm de profondeur (10/86-10/87)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 85cm de profondeur (10/85-10/86)

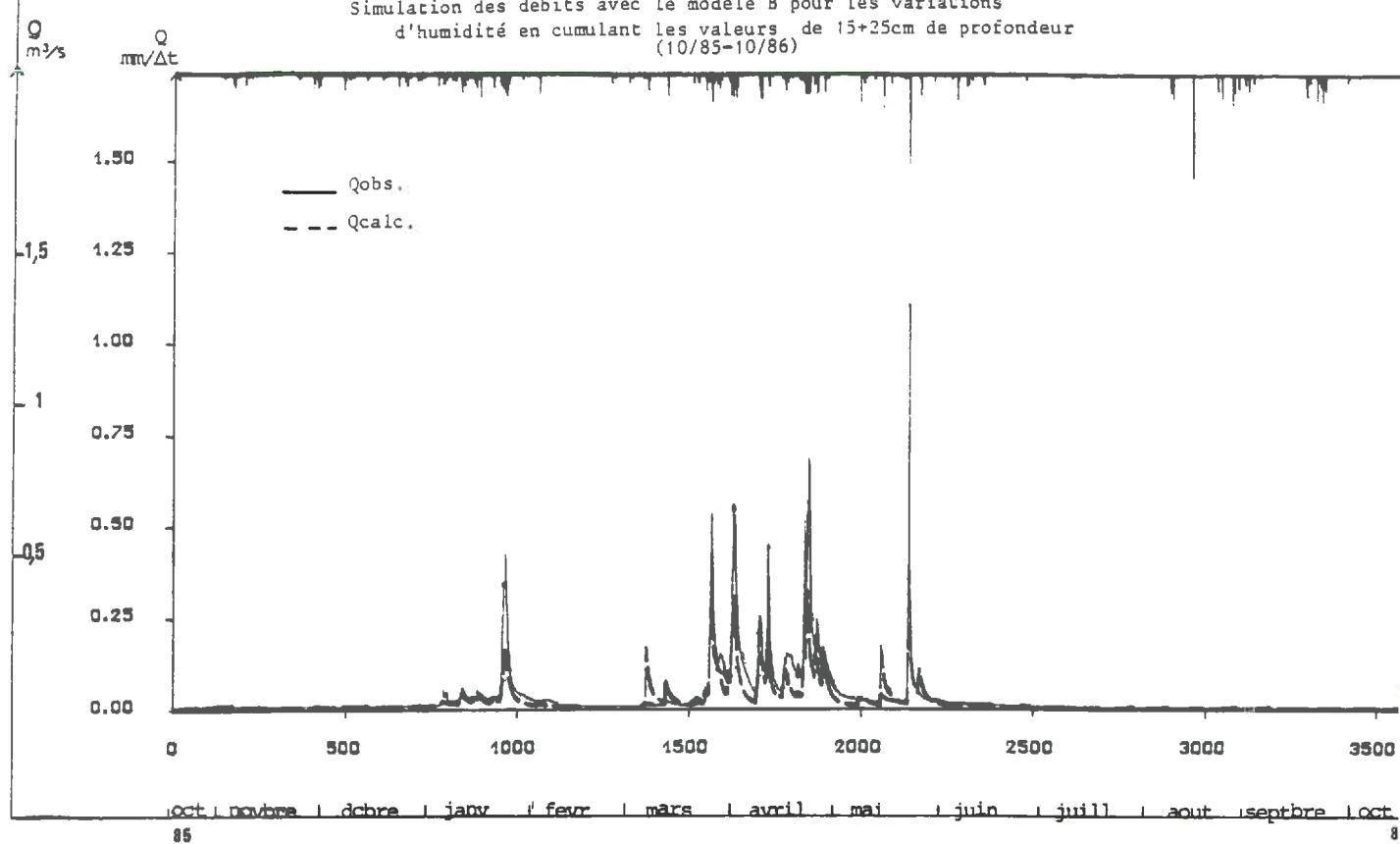


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 85cm de profondeur (10/86-10/87)

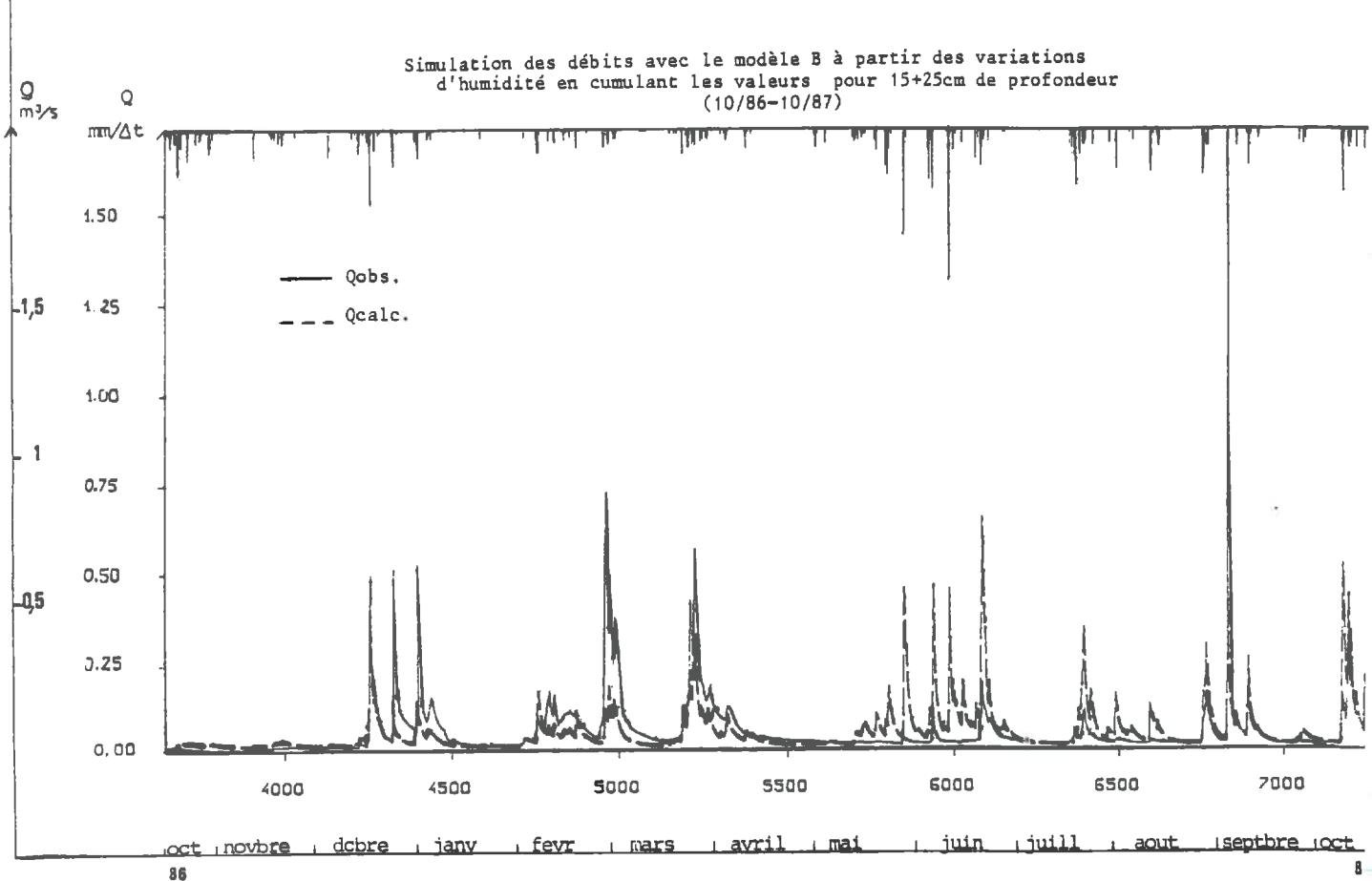


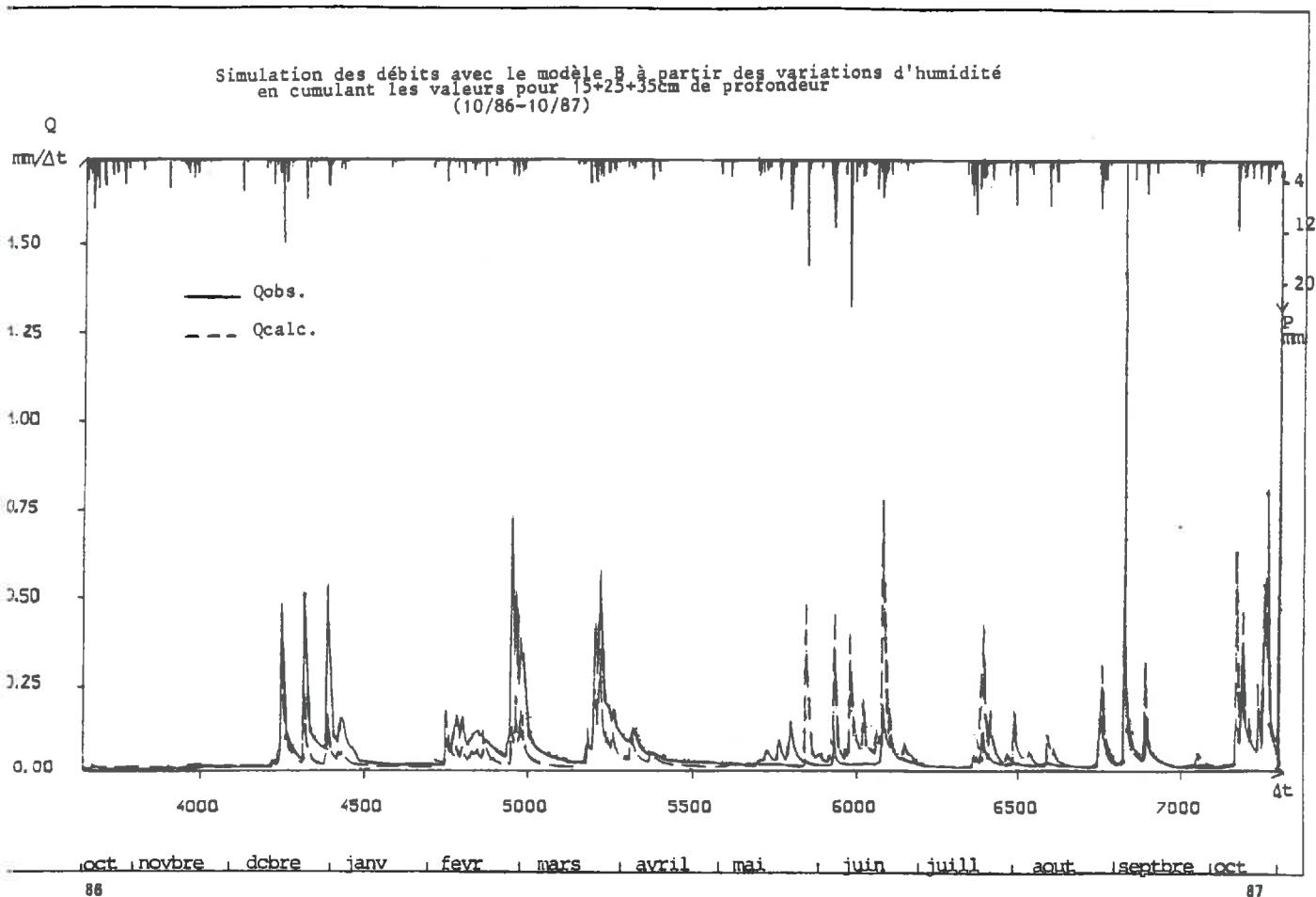
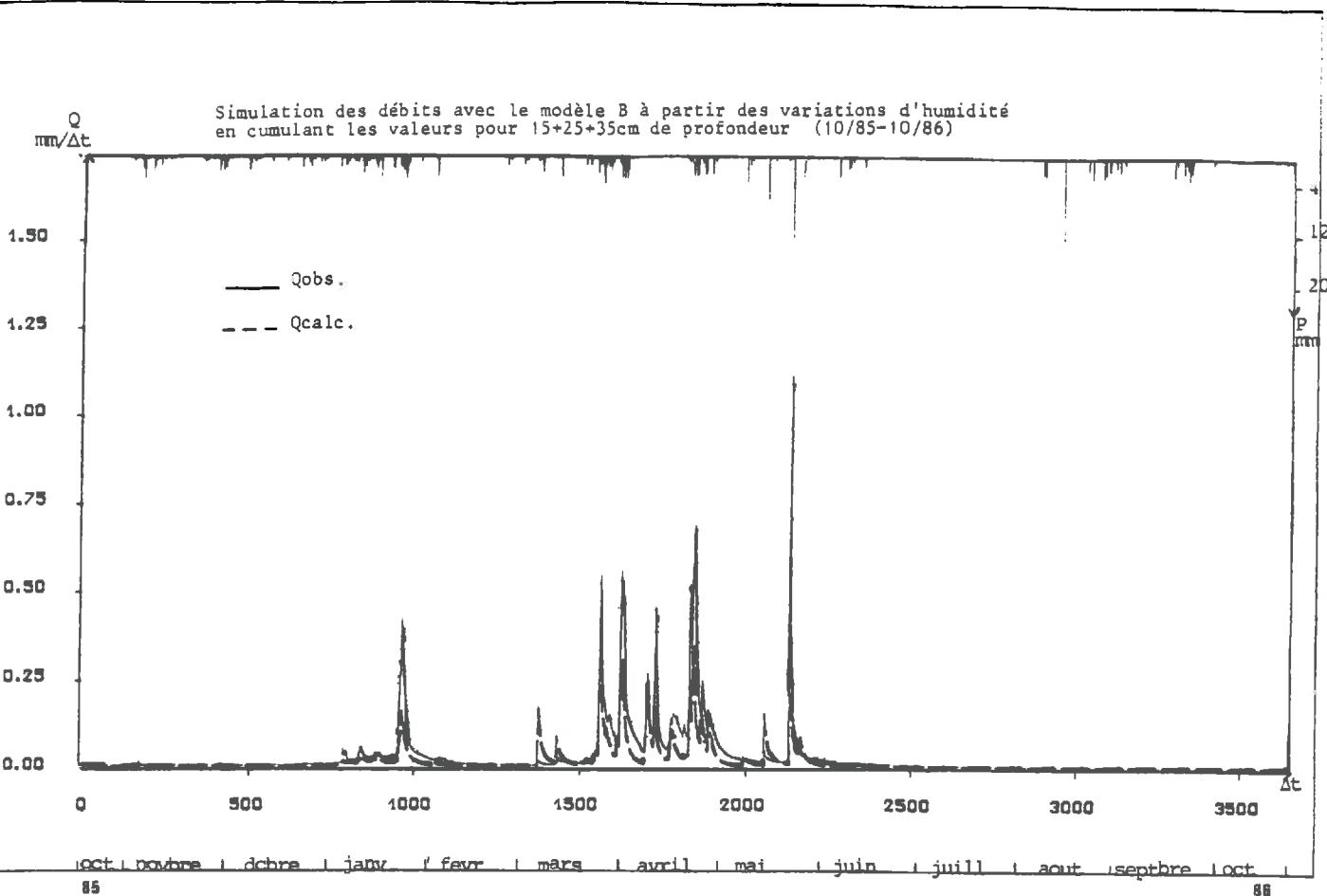
**VII.2.b - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations en cumulant les valeurs de plusieurs profondeurs**

Simulation des débits avec le modèle B pour les variations  
d'humidité en cumulant les valeurs de 15+25cm de profondeur  
(10/85-10/86)

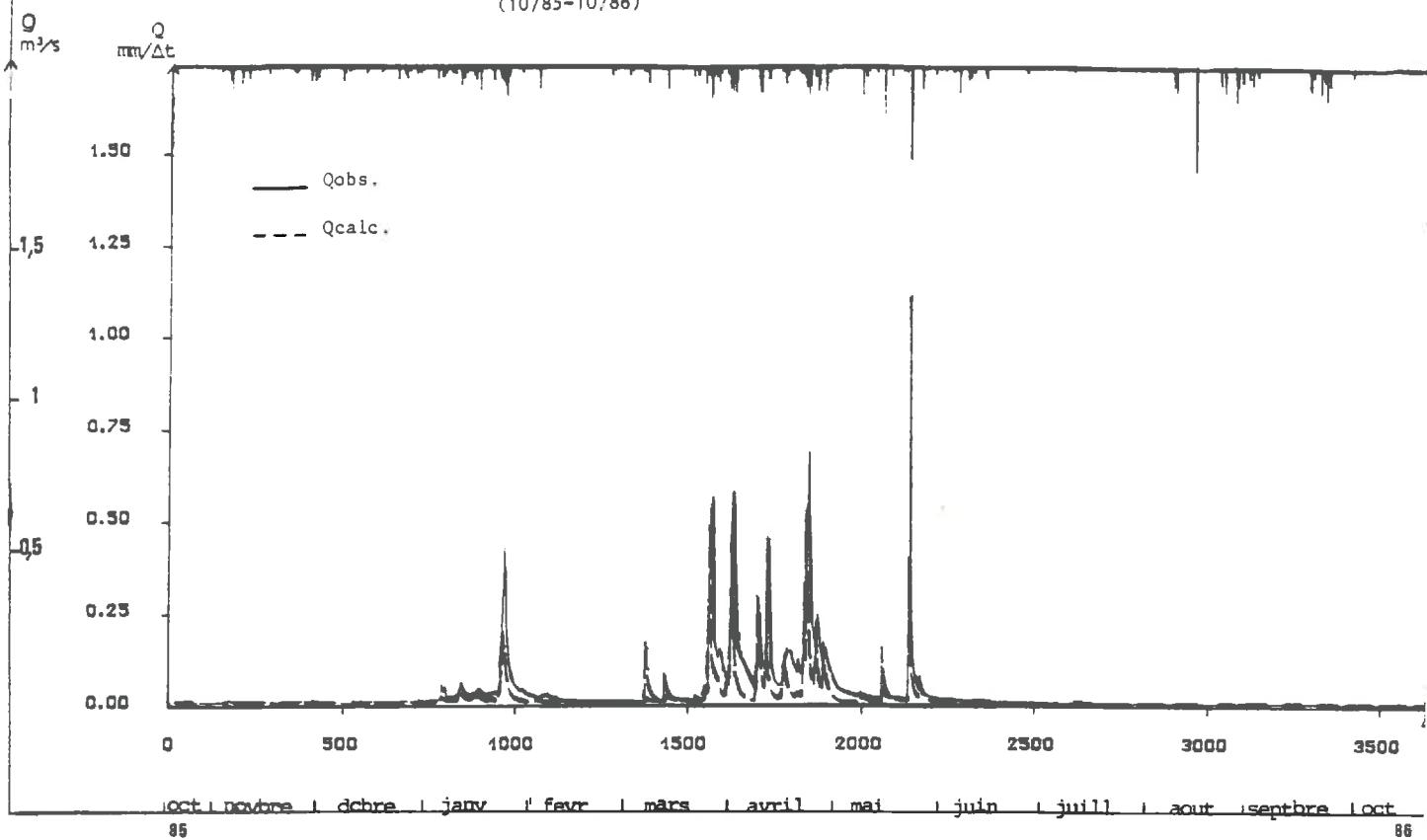


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité en cumulant les valeurs pour 15+25cm de profondeur  
(10/86-10/87)

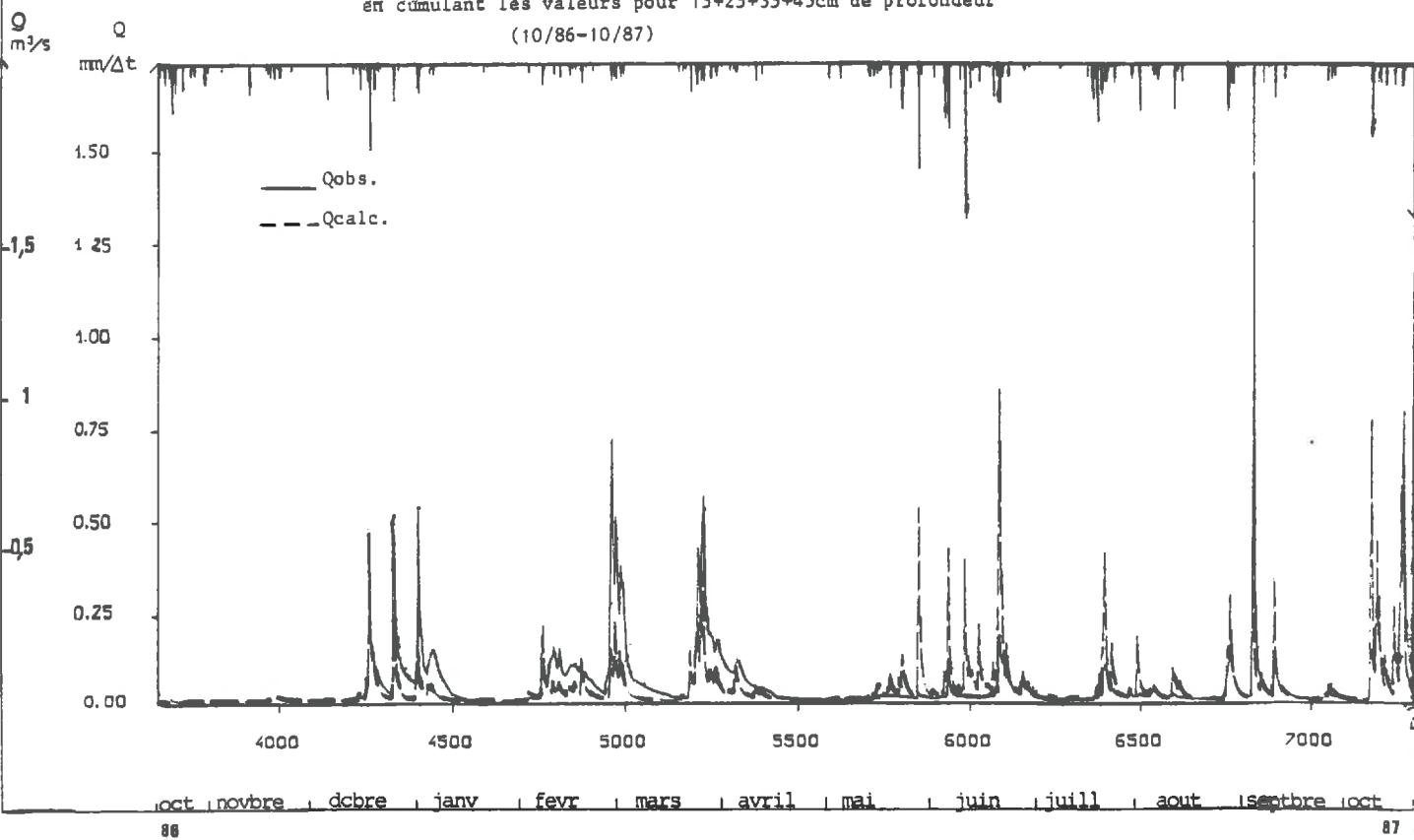




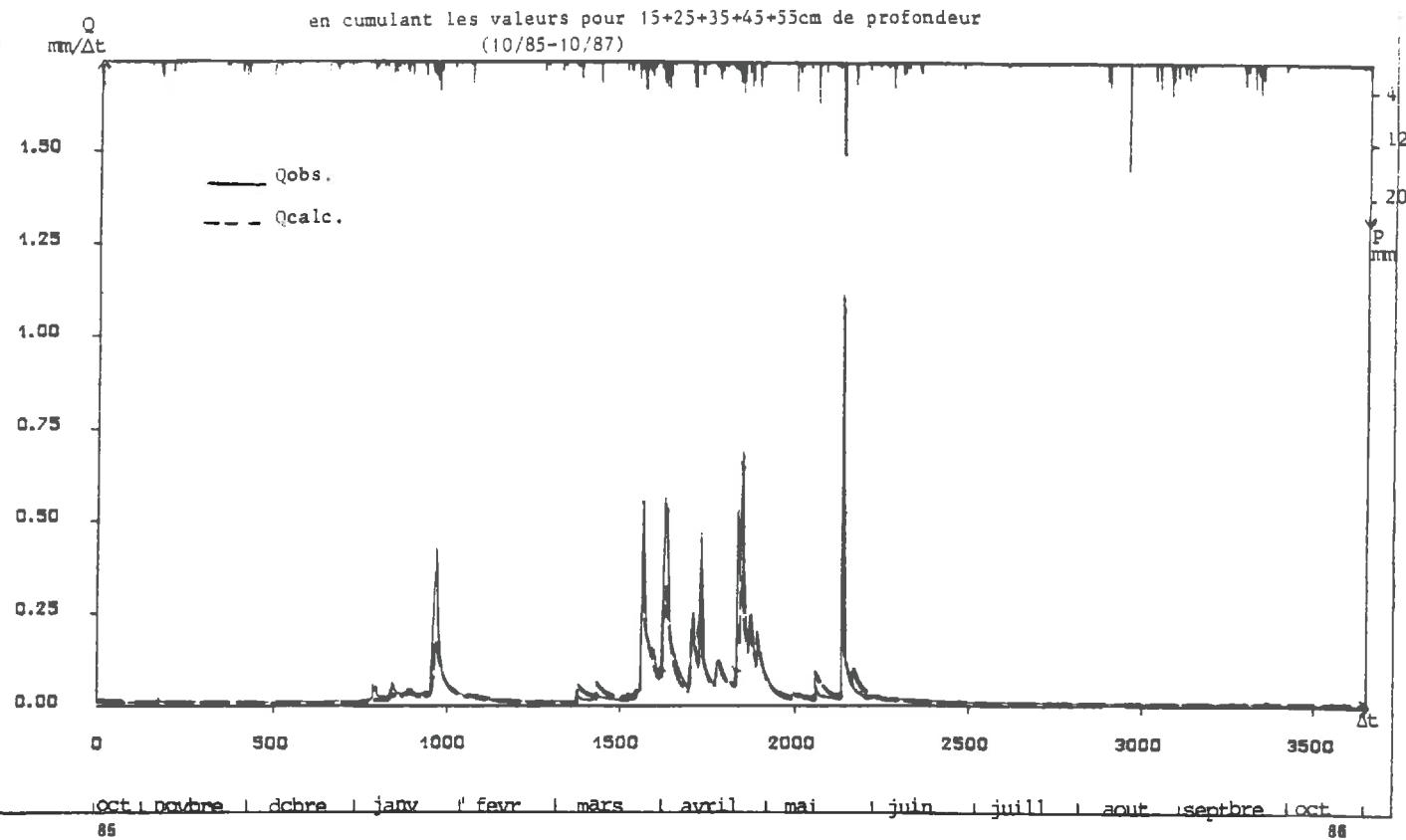
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45cm de profondeur  
(10/85-10/86)



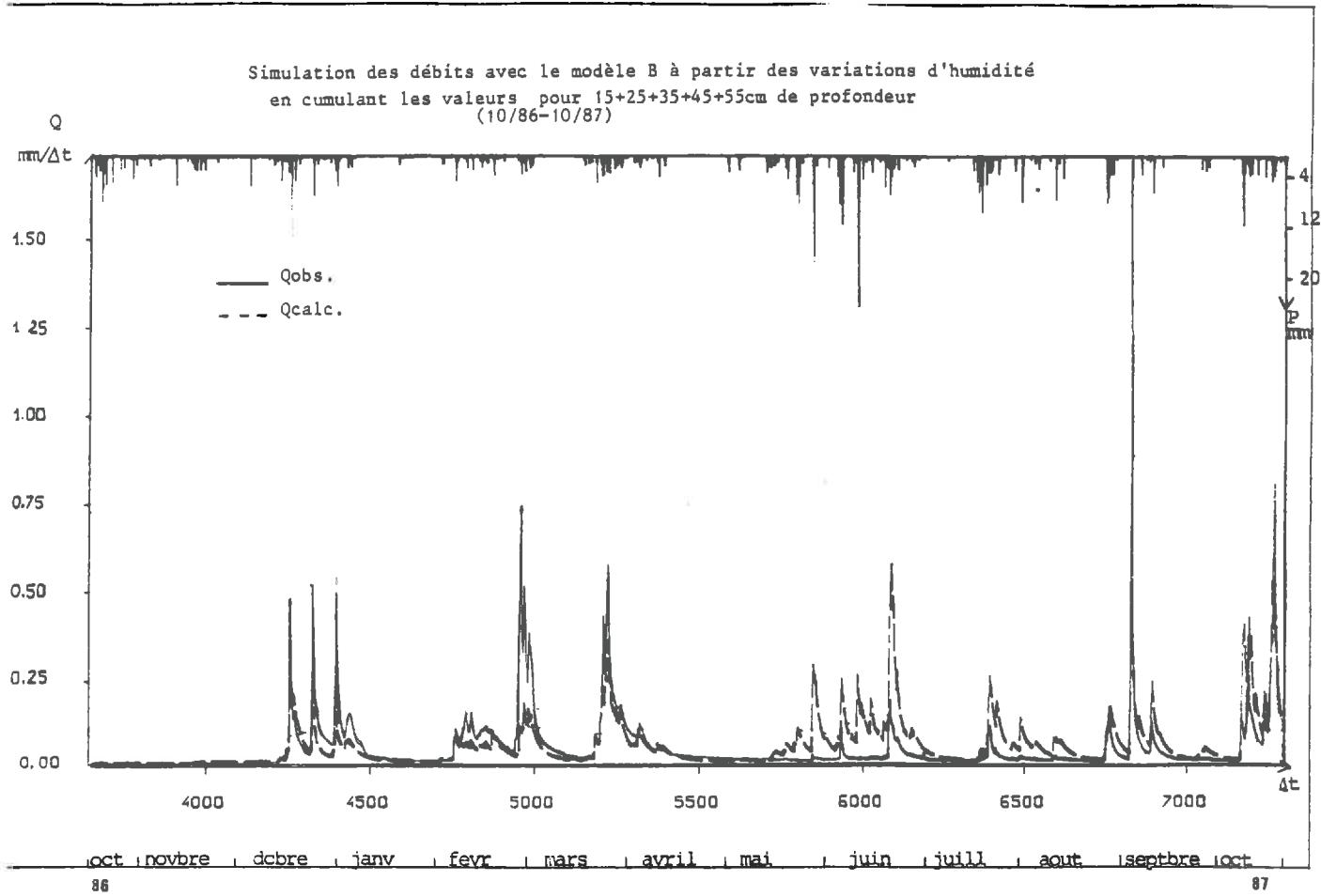
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45cm de profondeur  
(10/86-10/87)



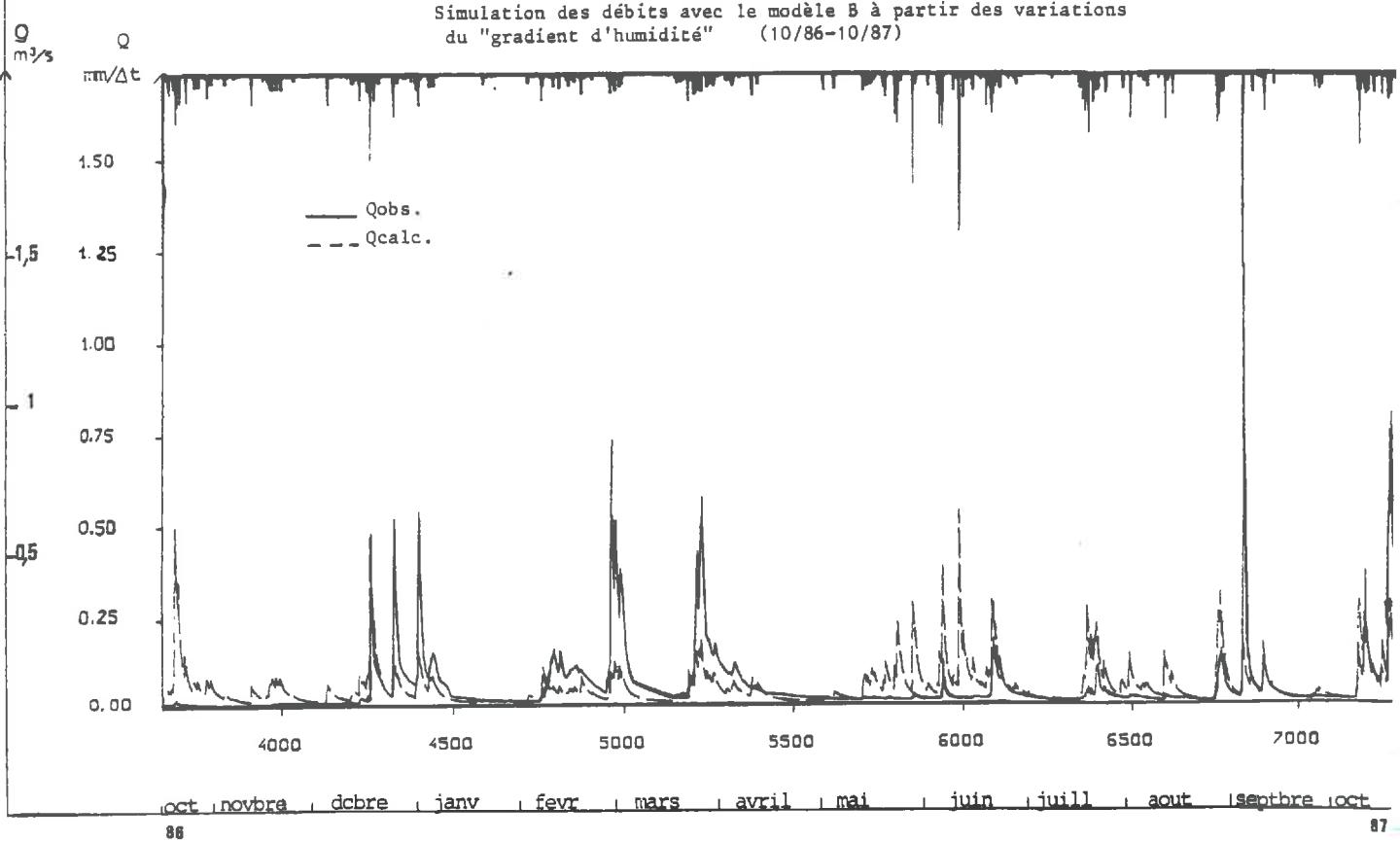
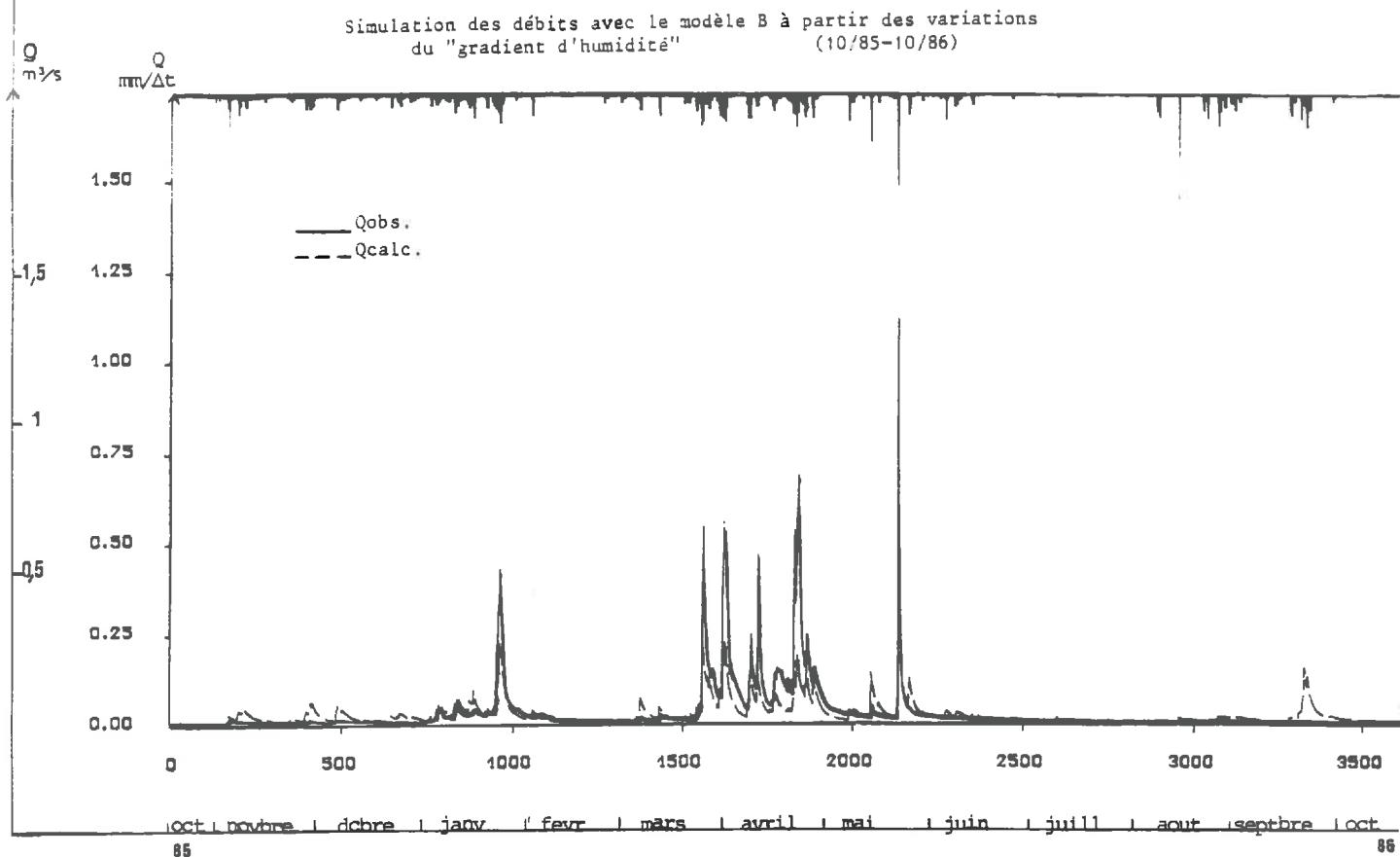
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45+55cm de profondeur  
(10/85-10/87)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45+55cm de profondeur  
(10/86-10/87)



**VII.2.c - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations  
du "gradient" d'humidité**

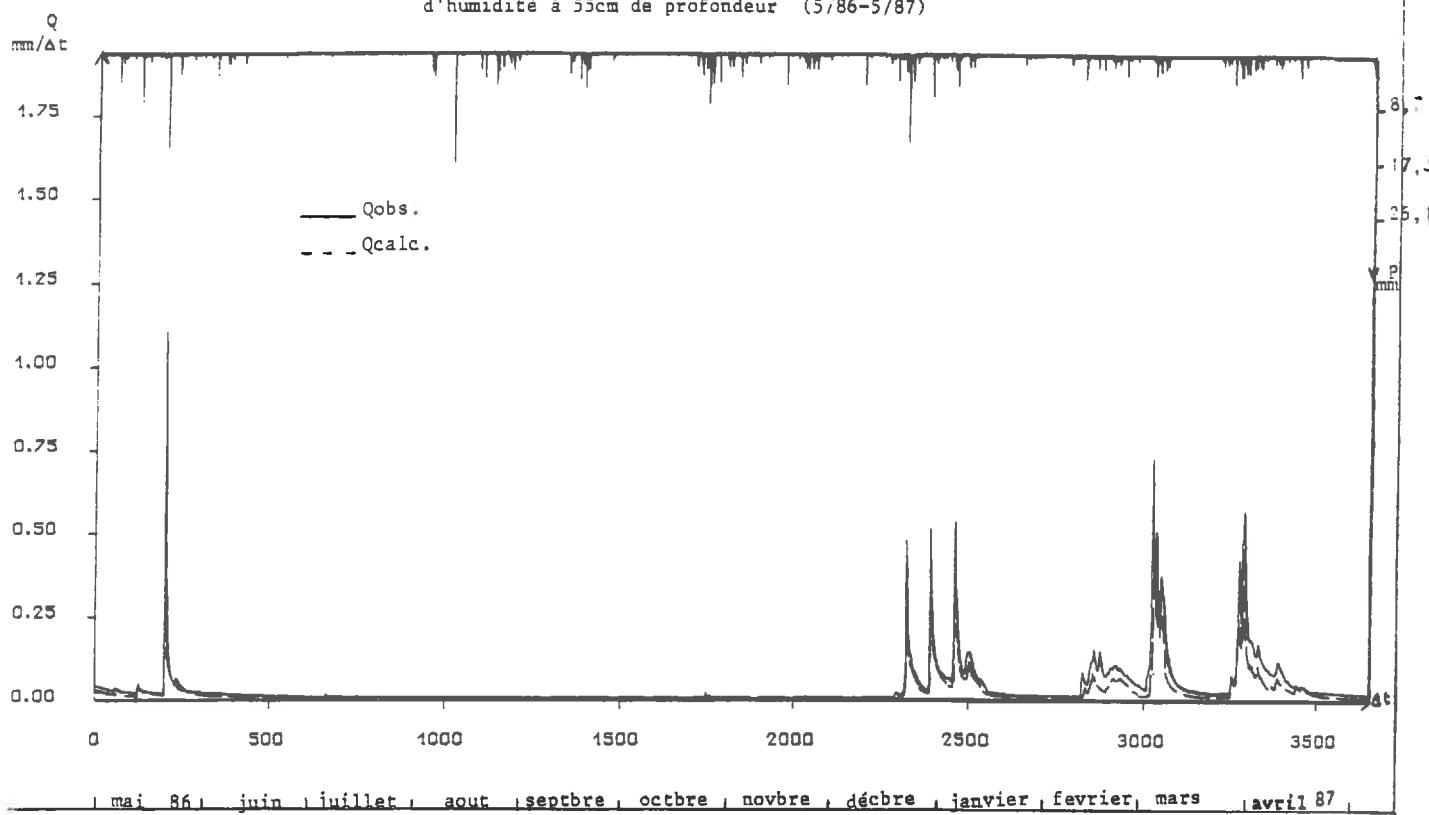


**VII.3 - Simulation des débits avec le modèle B sur une période de 2 ans  
(5/86-5/88)**

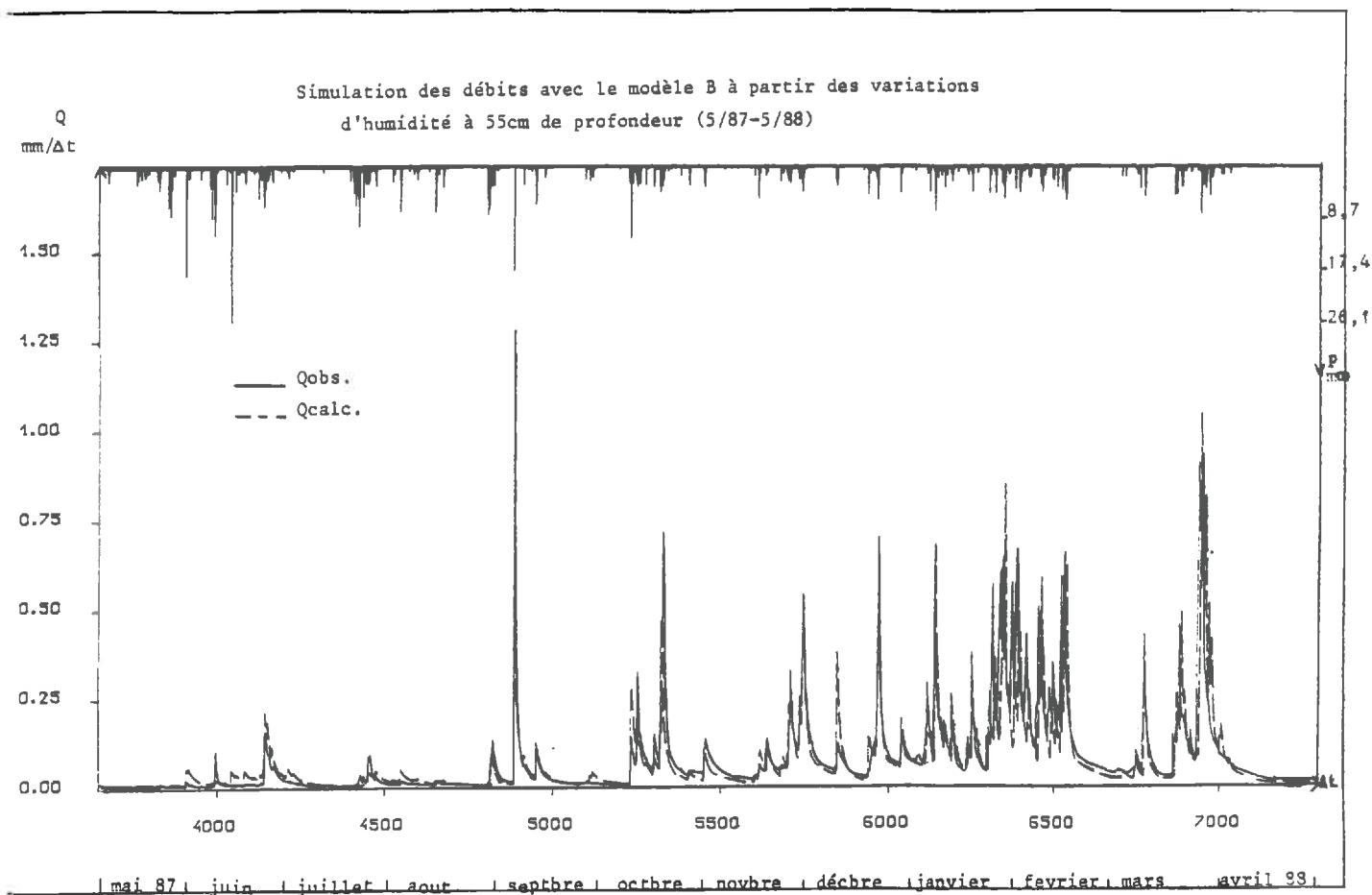
- a - pour les variations d'humidité à 55 cm de profondeur
- b - pour les variations de potentiel hydrique aux différentes profondeurs (25 - 195 cm)
- c - pour les variations des différences de potentiel à différentes profondeurs

**VII.3.a - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations d'humidité à 55 cm de profondeur**

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm de profondeur (5/86-5/87)

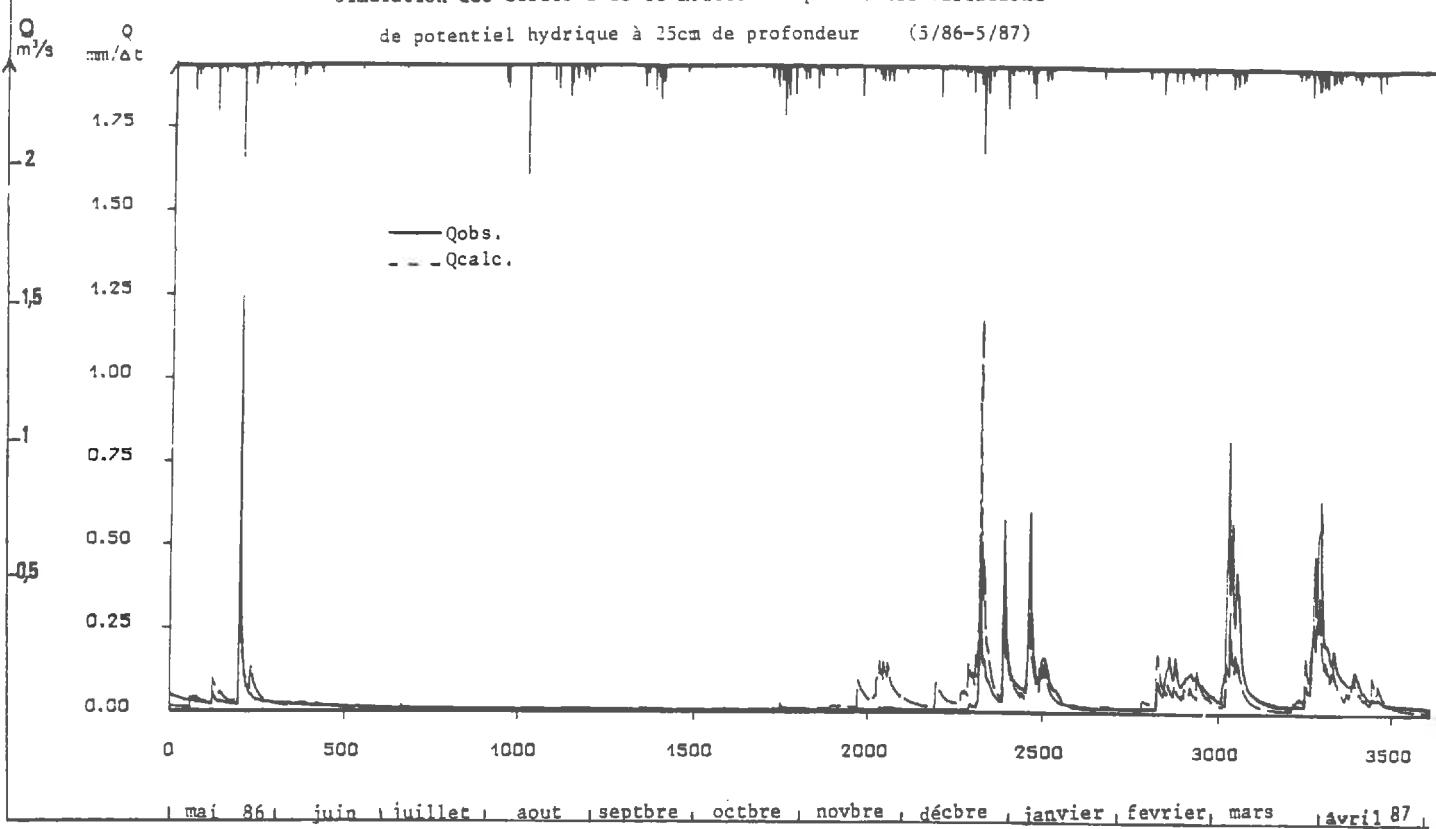


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm de profondeur (5/87-5/88)

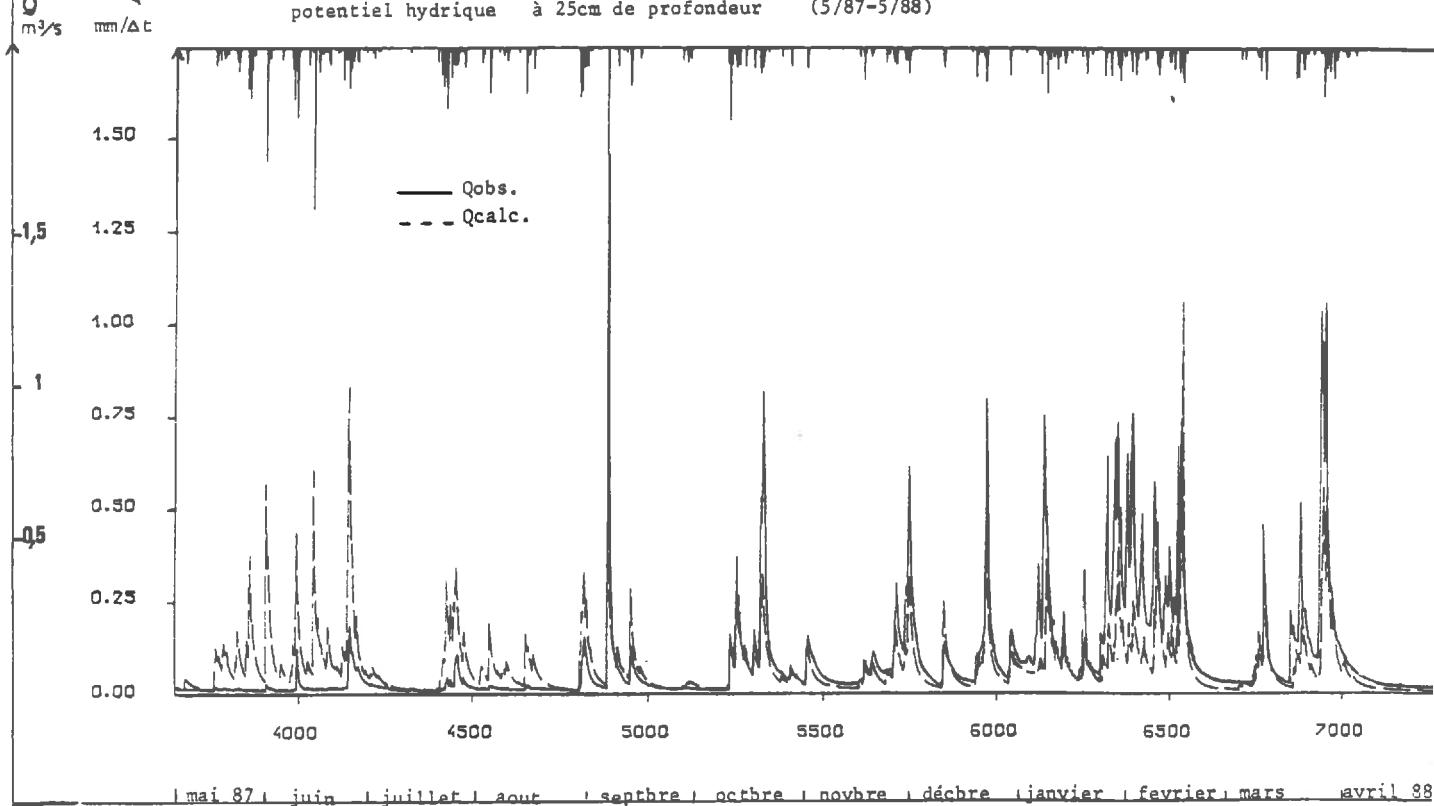


VII.3.b - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations de potentiel hydrique aux différentes profondeurs (25-195 cm)

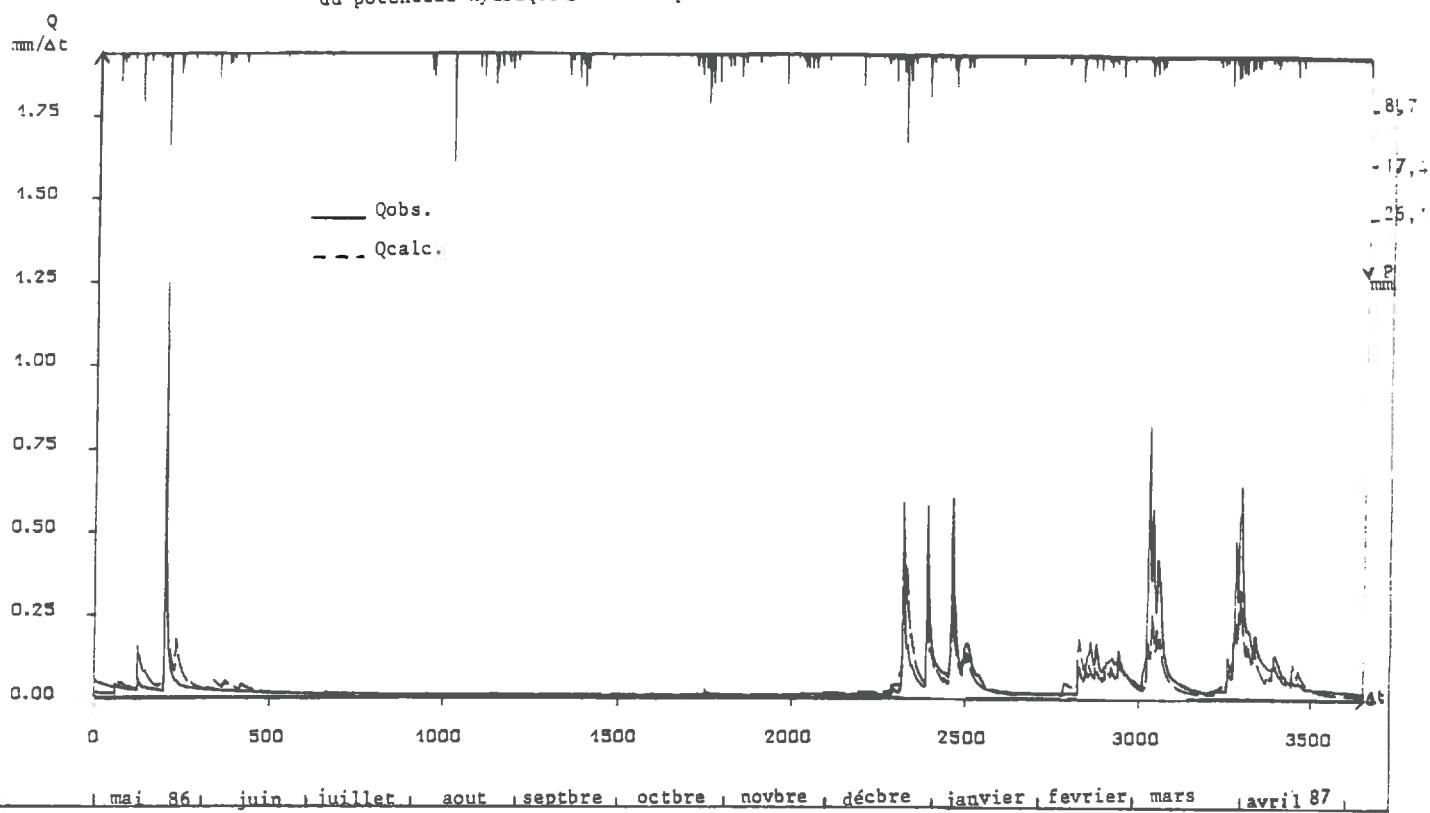
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 25cm de profondeur (5/86-5/87)



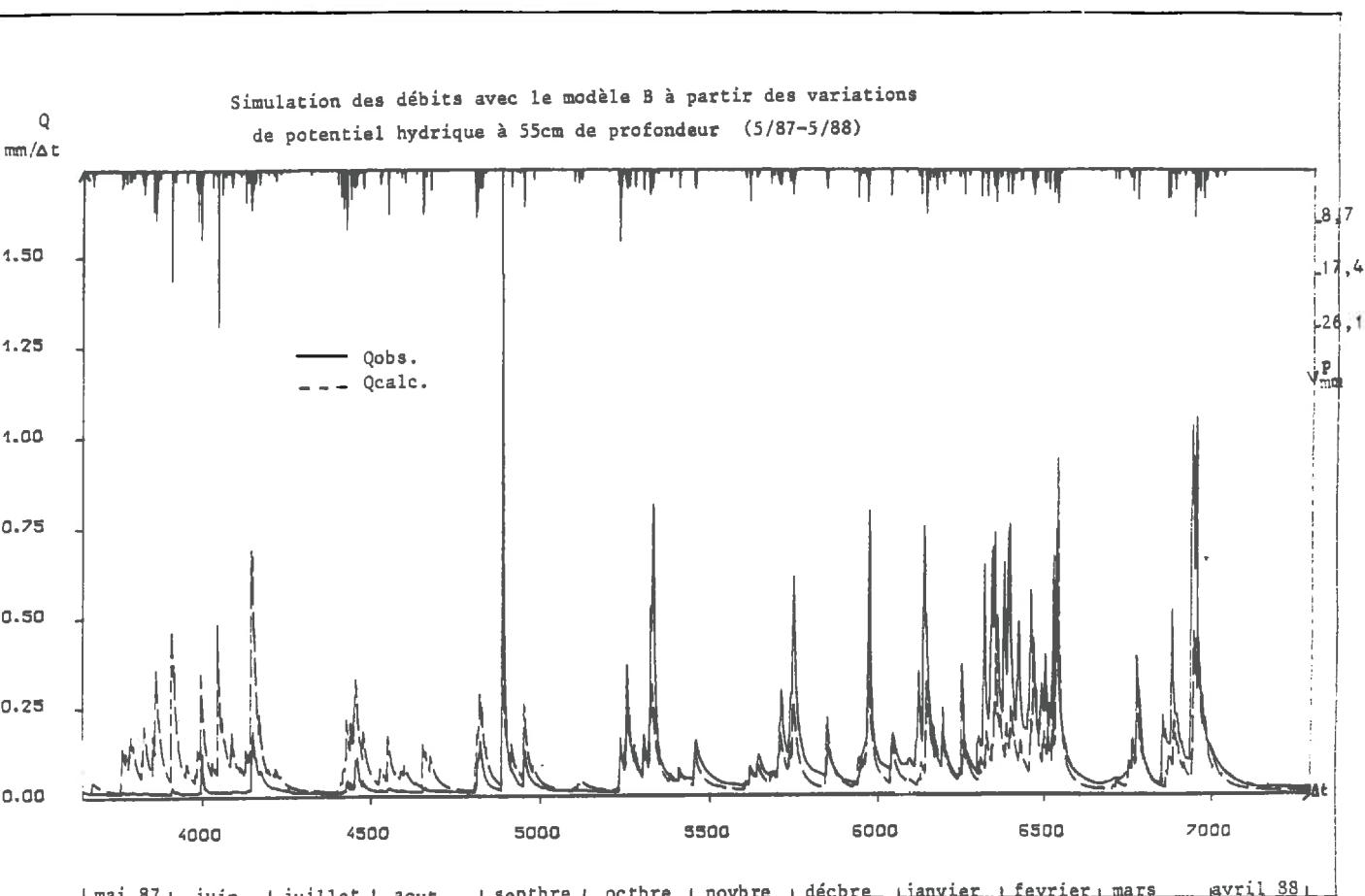
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations de  
potentiel hydrique à 25cm de profondeur (5/87-5/88)



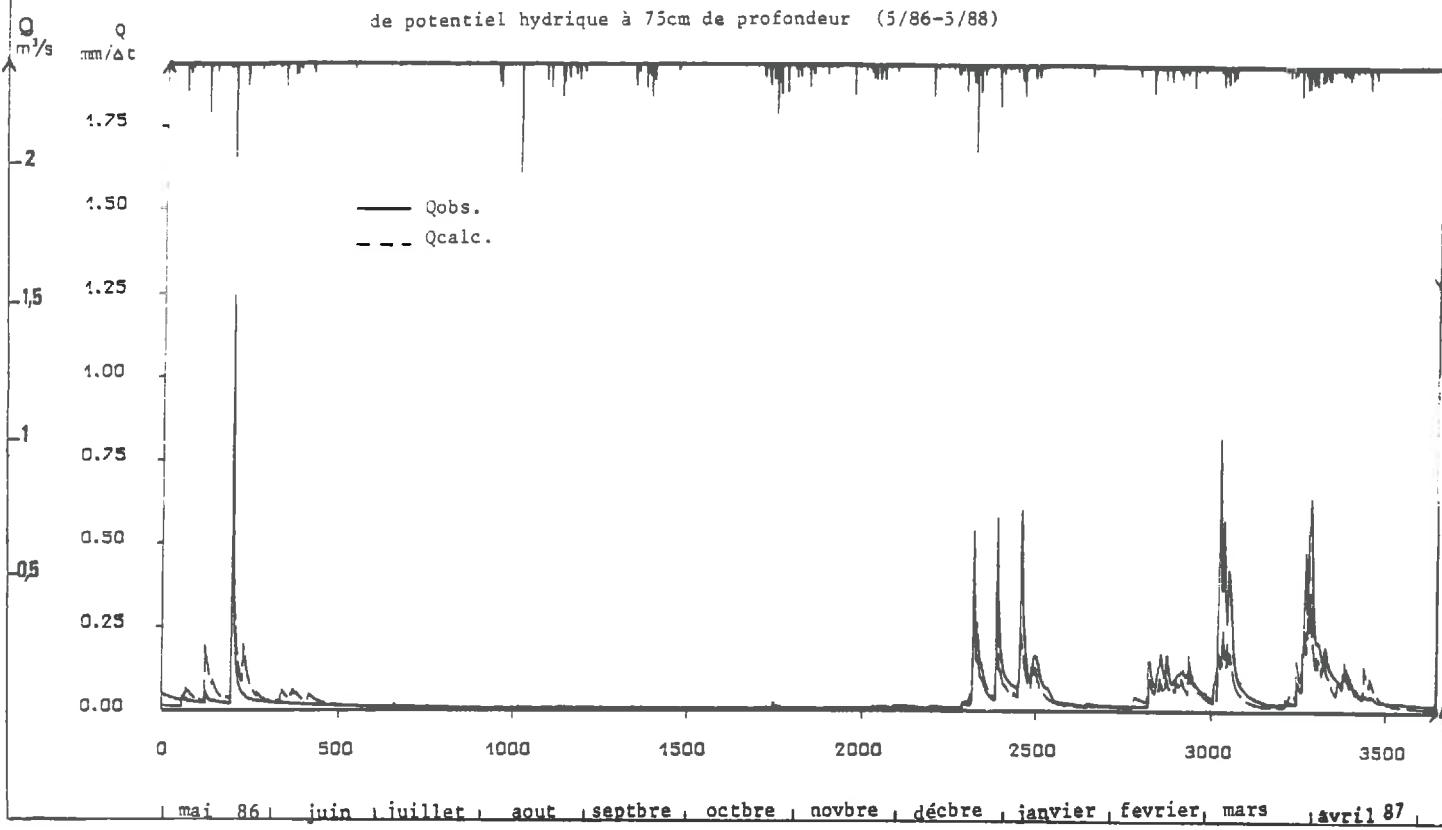
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
du potentiel hydrique à 55cm de profondeur (5/86-5/87)



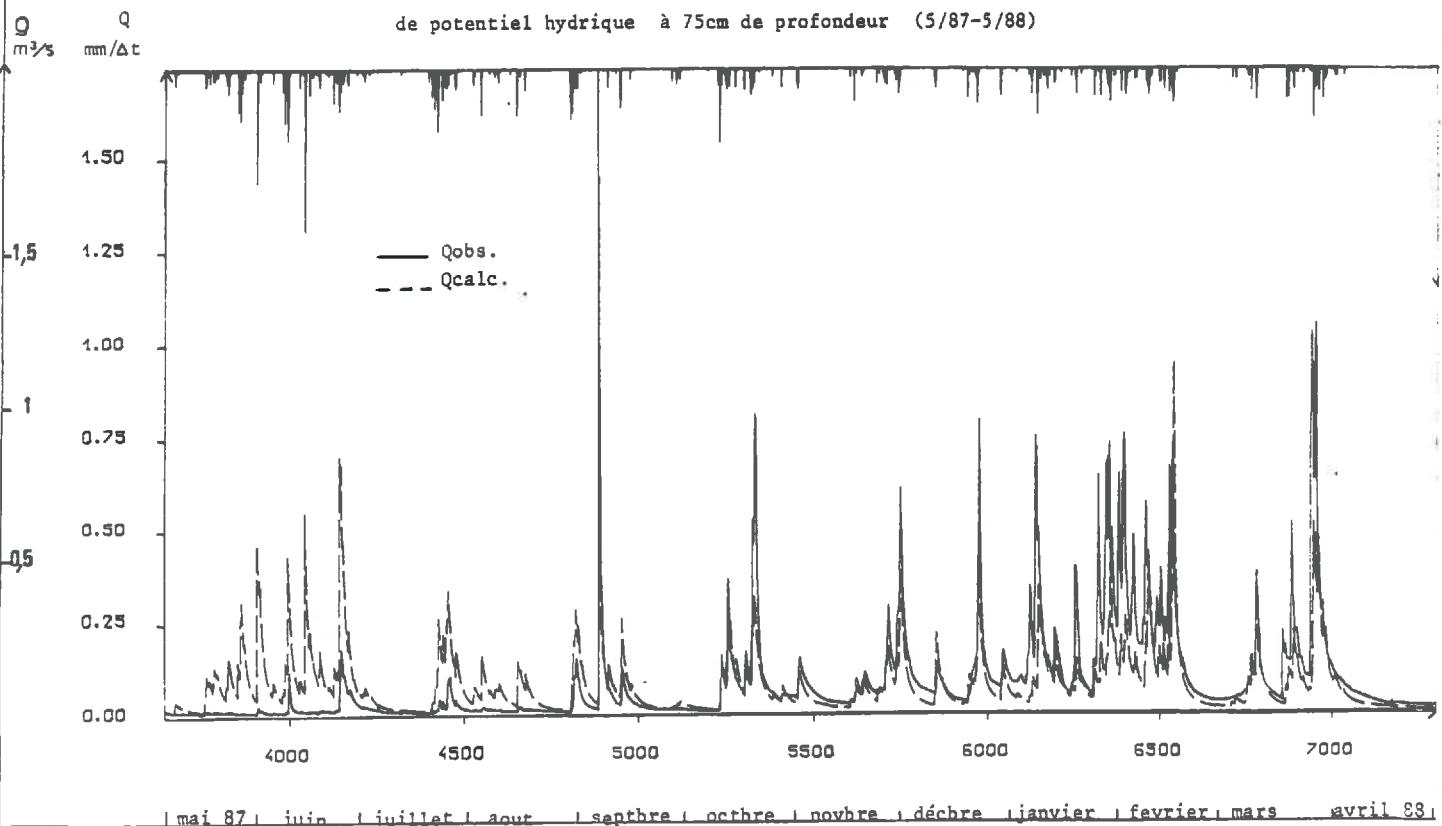
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 55cm de profondeur (5/87-5/88)



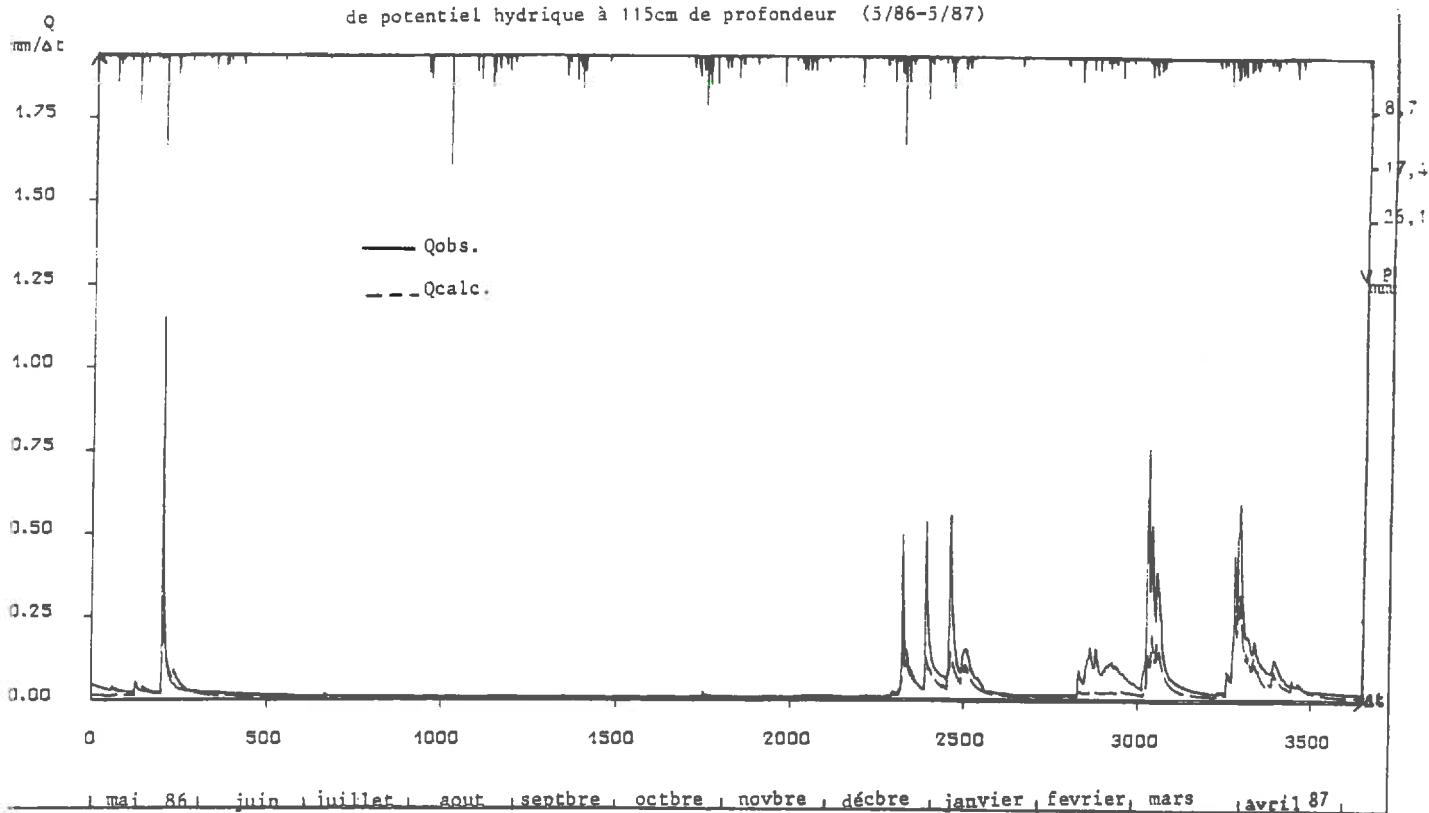
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 75cm de profondeur (5/86-5/88)



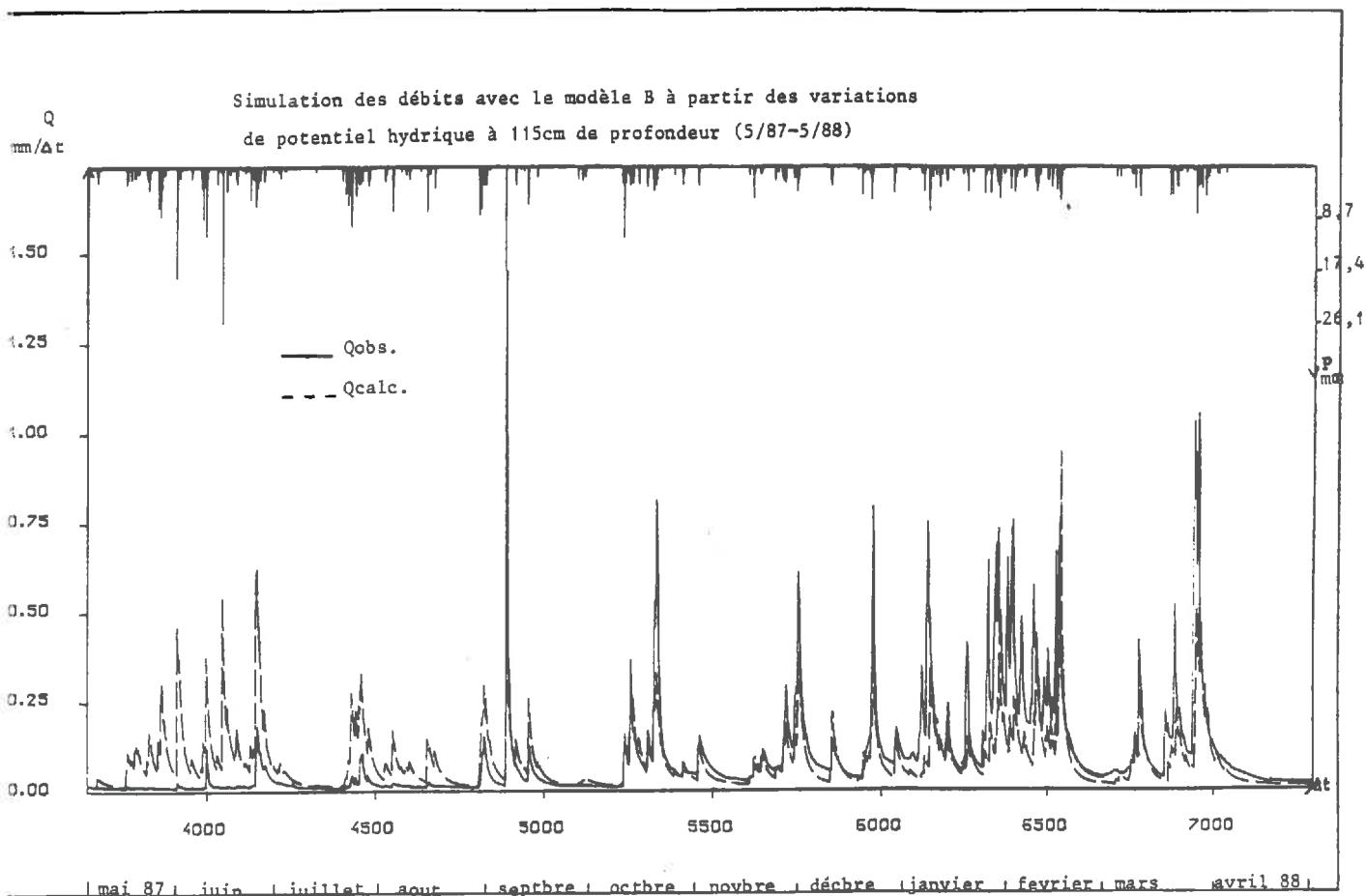
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 75cm de profondeur (5/87-5/88)



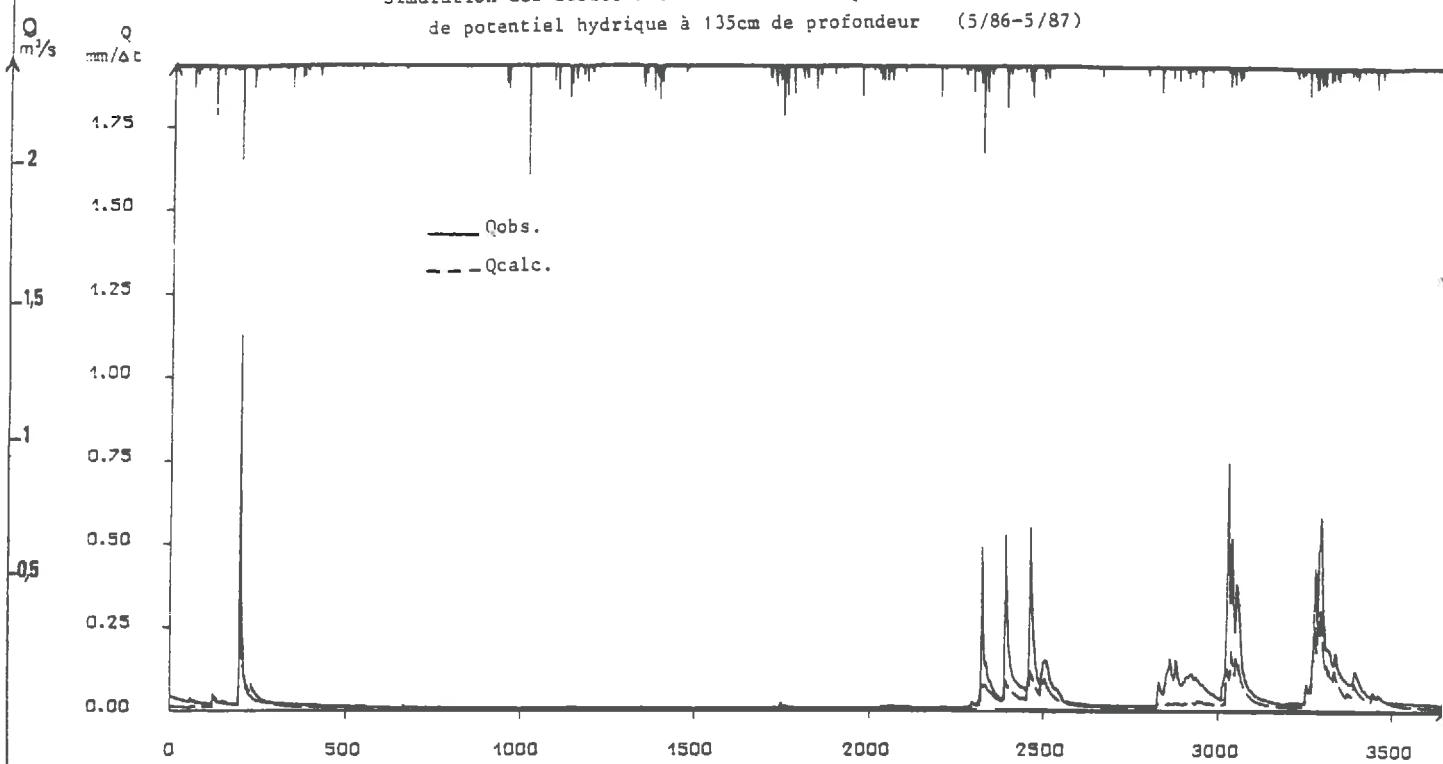
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 115cm de profondeur (5/86-5/87)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 115cm de profondeur (5/87-5/88)

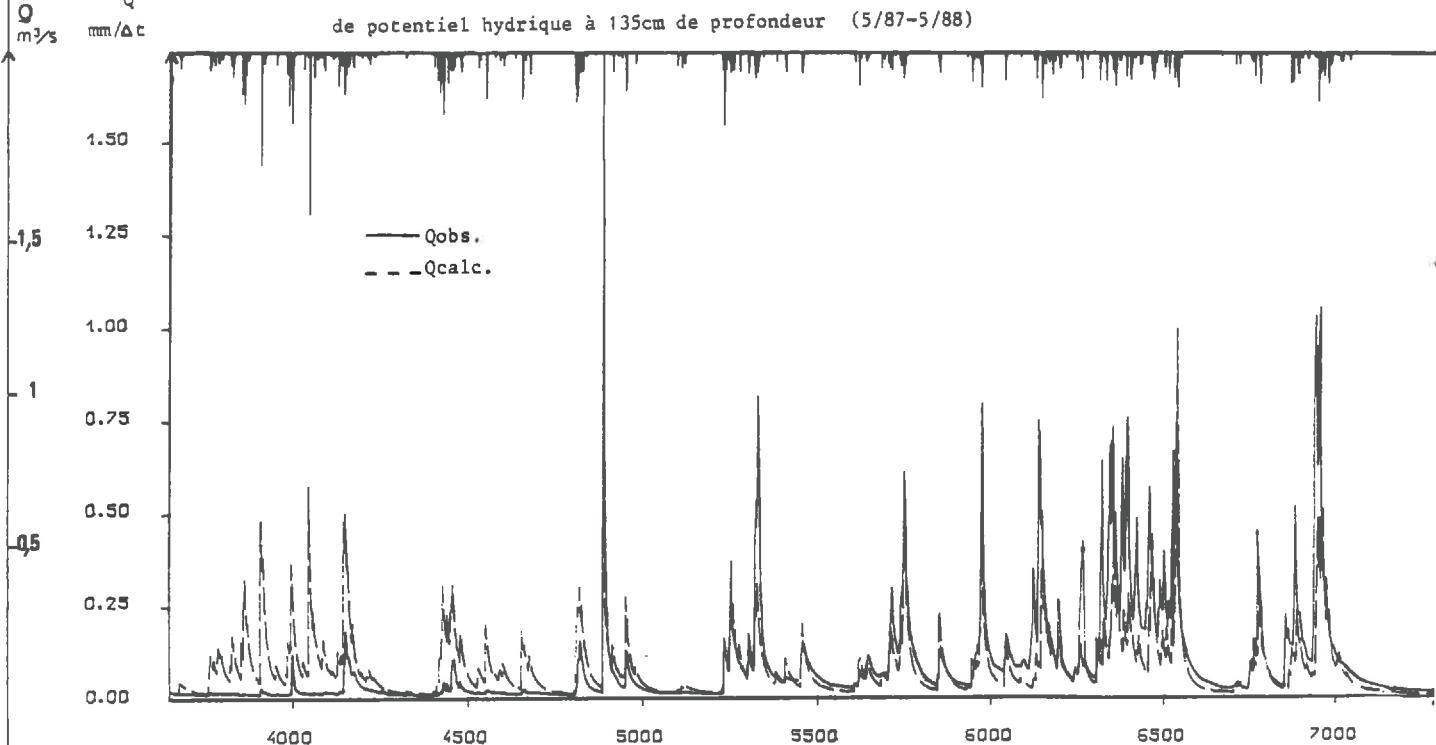


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 135cm de profondeur (5/86-5/87)



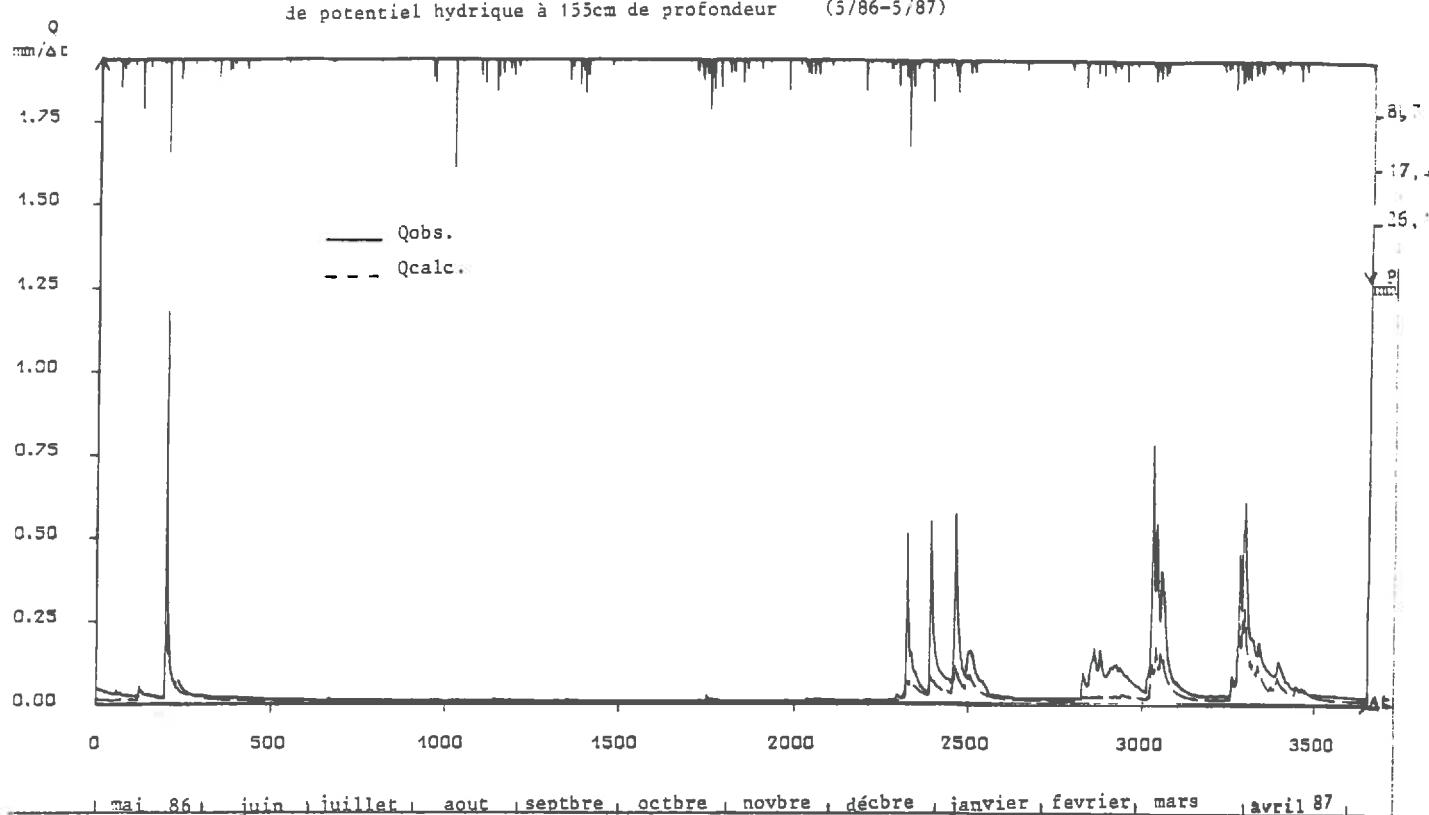
mai 86 | juin | juillet | aout | septembre | octobre | novembre | décembre | janvier | février | mars | avril 87

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 135cm de profondeur (5/87-5/88)

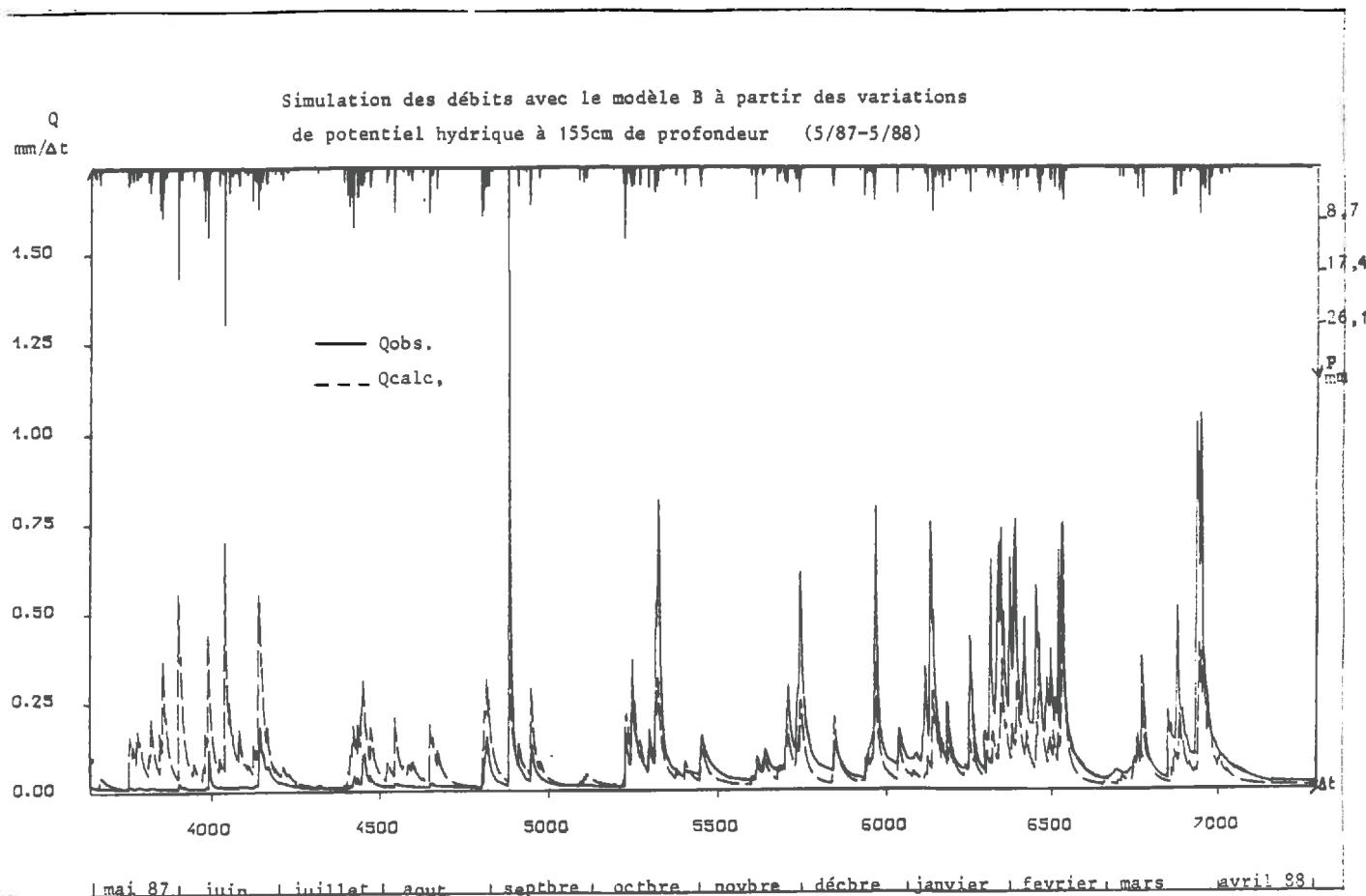


mai 87 | juin | juillet | aout | septembre | octobre | novembre | décembre | janvier | février | mars | avril 88

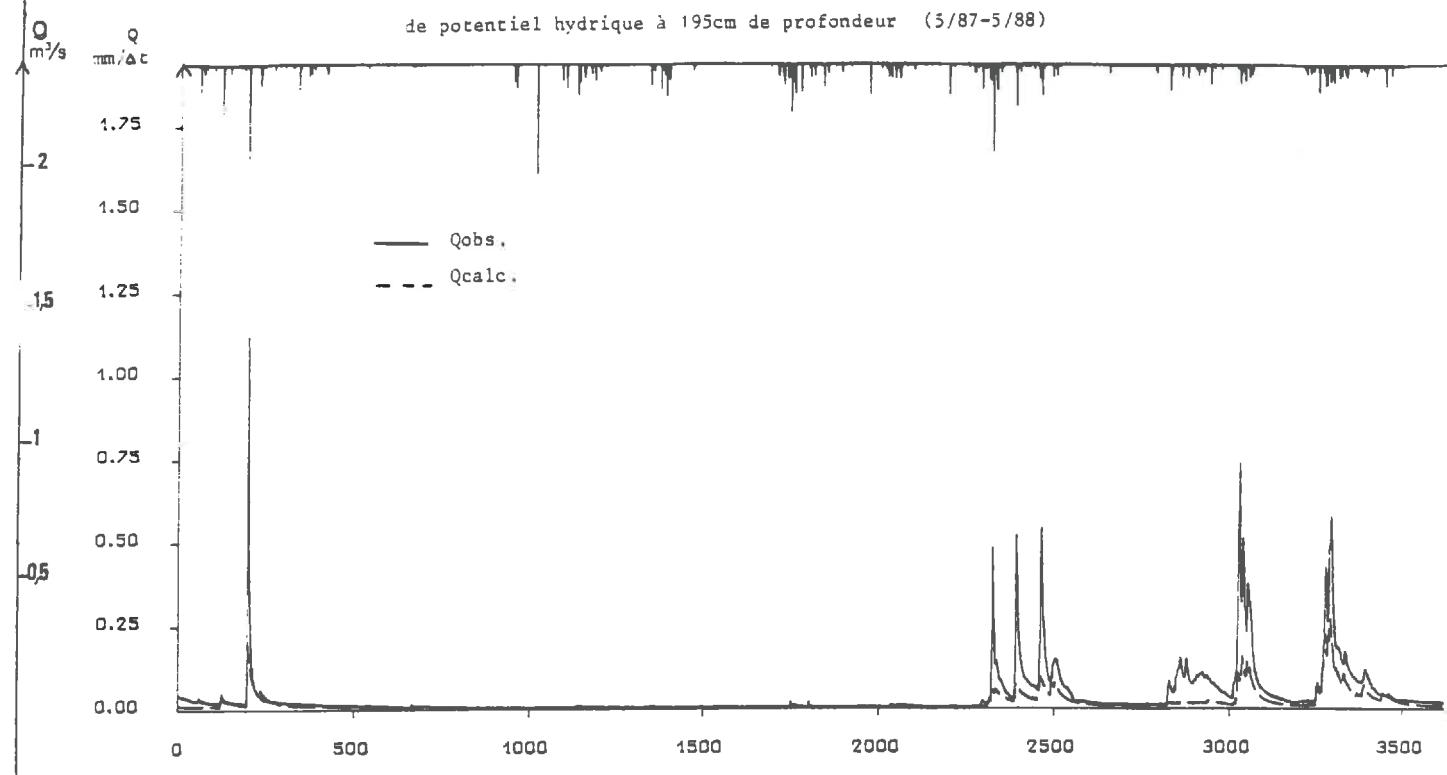
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 155cm de profondeur (5/86-5/87)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 155cm de profondeur (5/87-5/88)

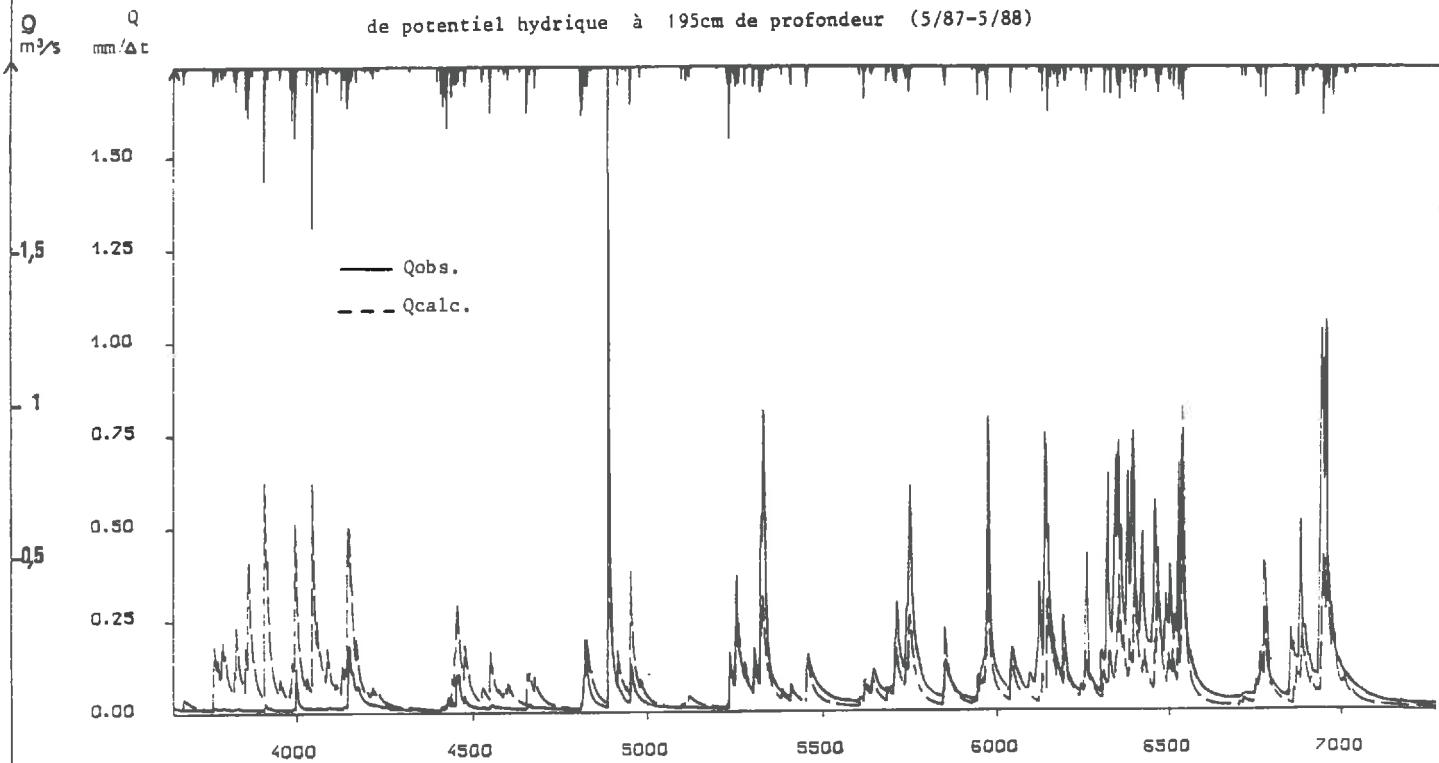


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 195cm de profondeur (5/87-5/88)



mai 86, juin, juillet, aout, septembre, octobre, novembre, decembre, janvier, fevrier, mars, avril 87

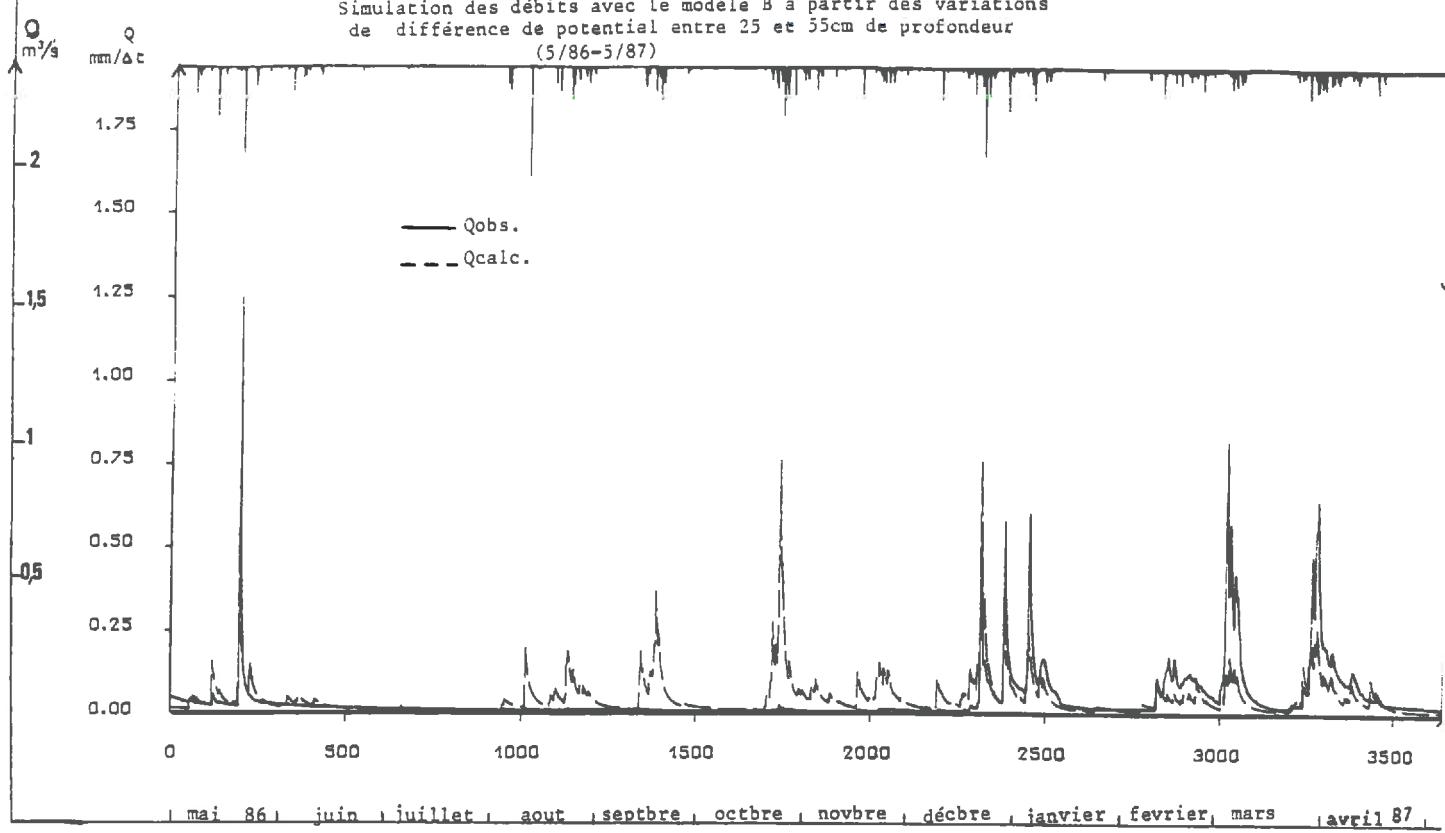
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de potentiel hydrique à 195cm de profondeur (5/87-5/88)



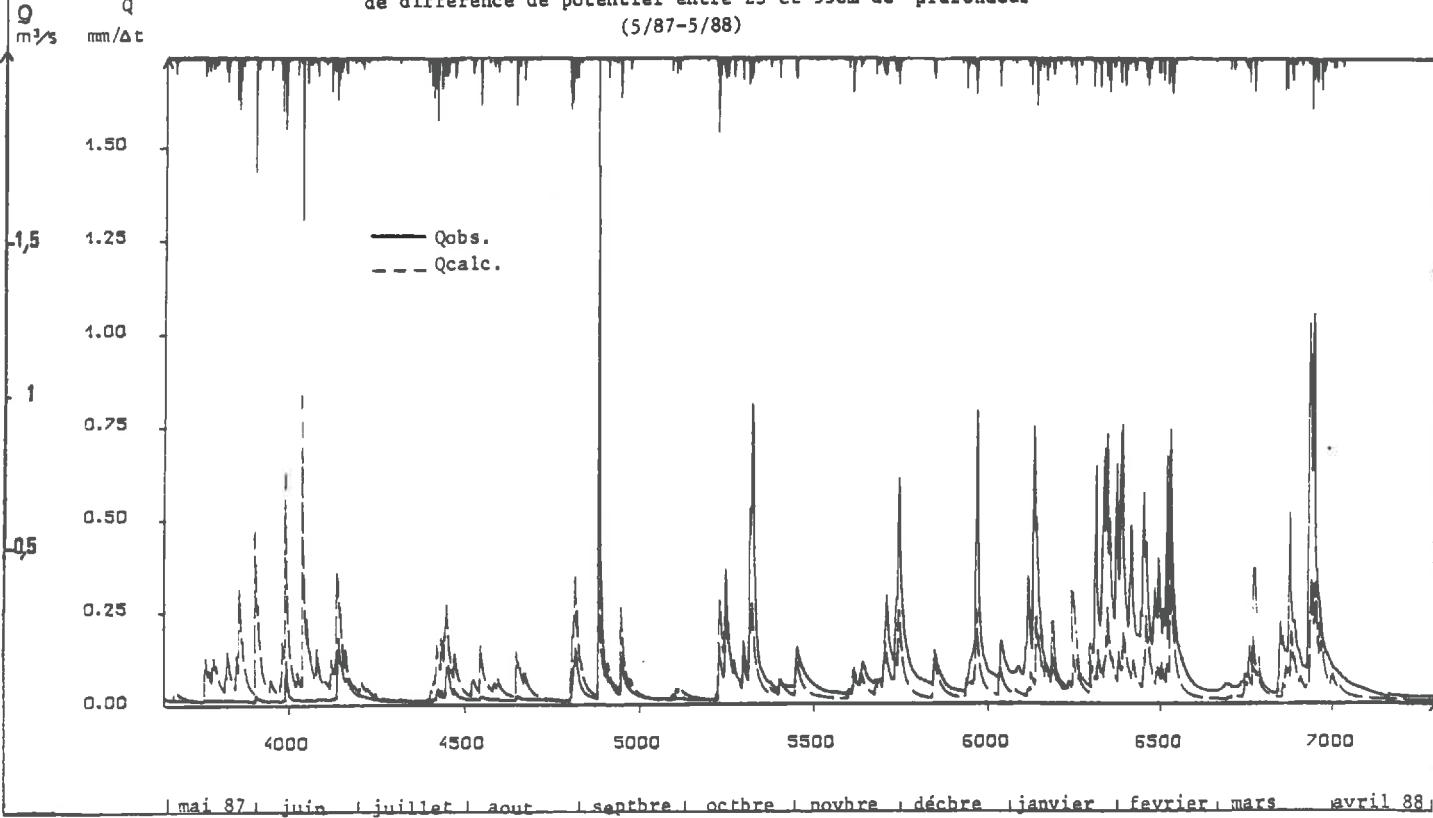
mai 87, juin, juillet, aout, septembre, octobre, novembre, decembre, janvier, fevrier, mars, avril 88

**VII.3.c - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations de différences de potentiel à différentes profondeurs**

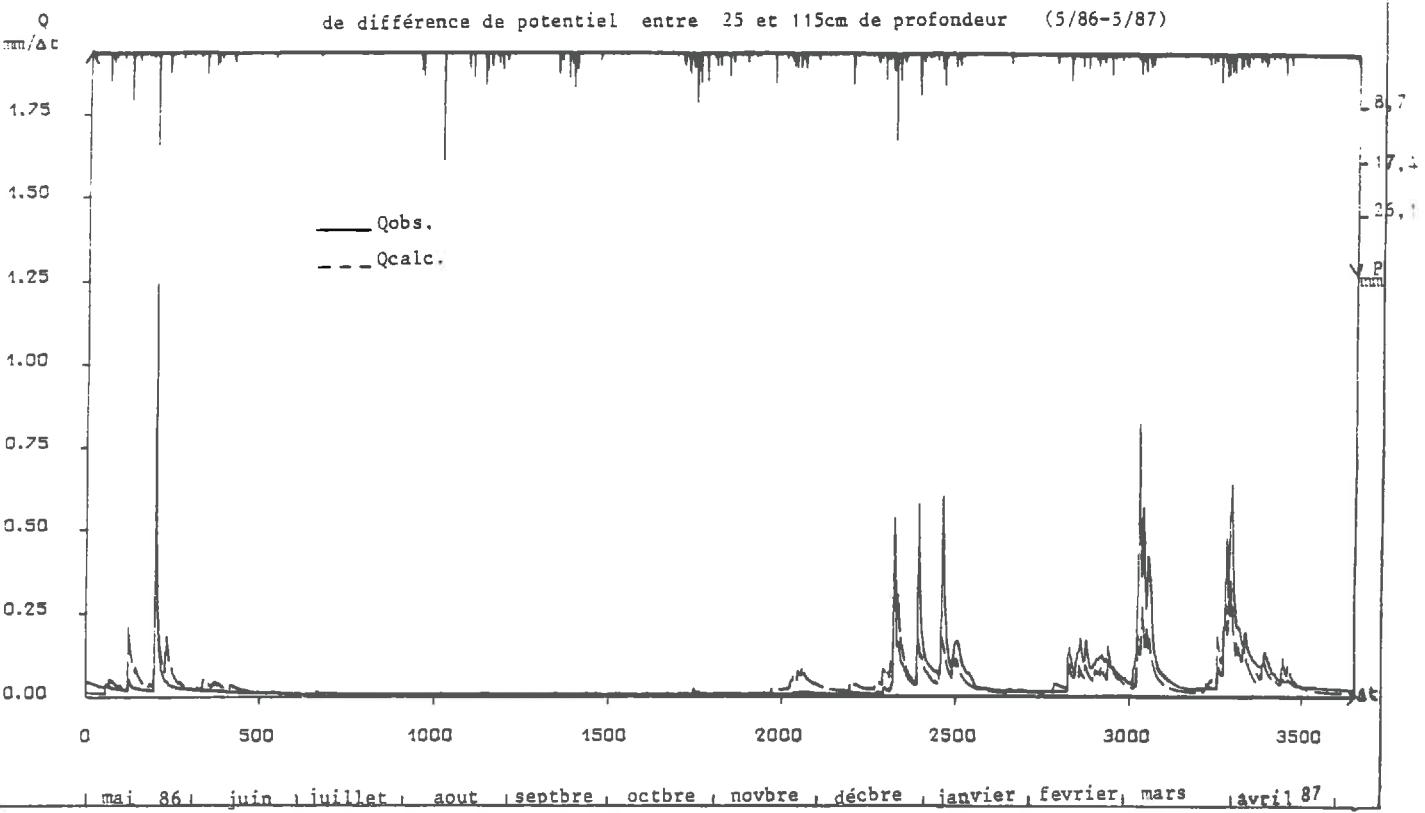
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 25 et 55cm de profondeur  
(5/86-5/87)



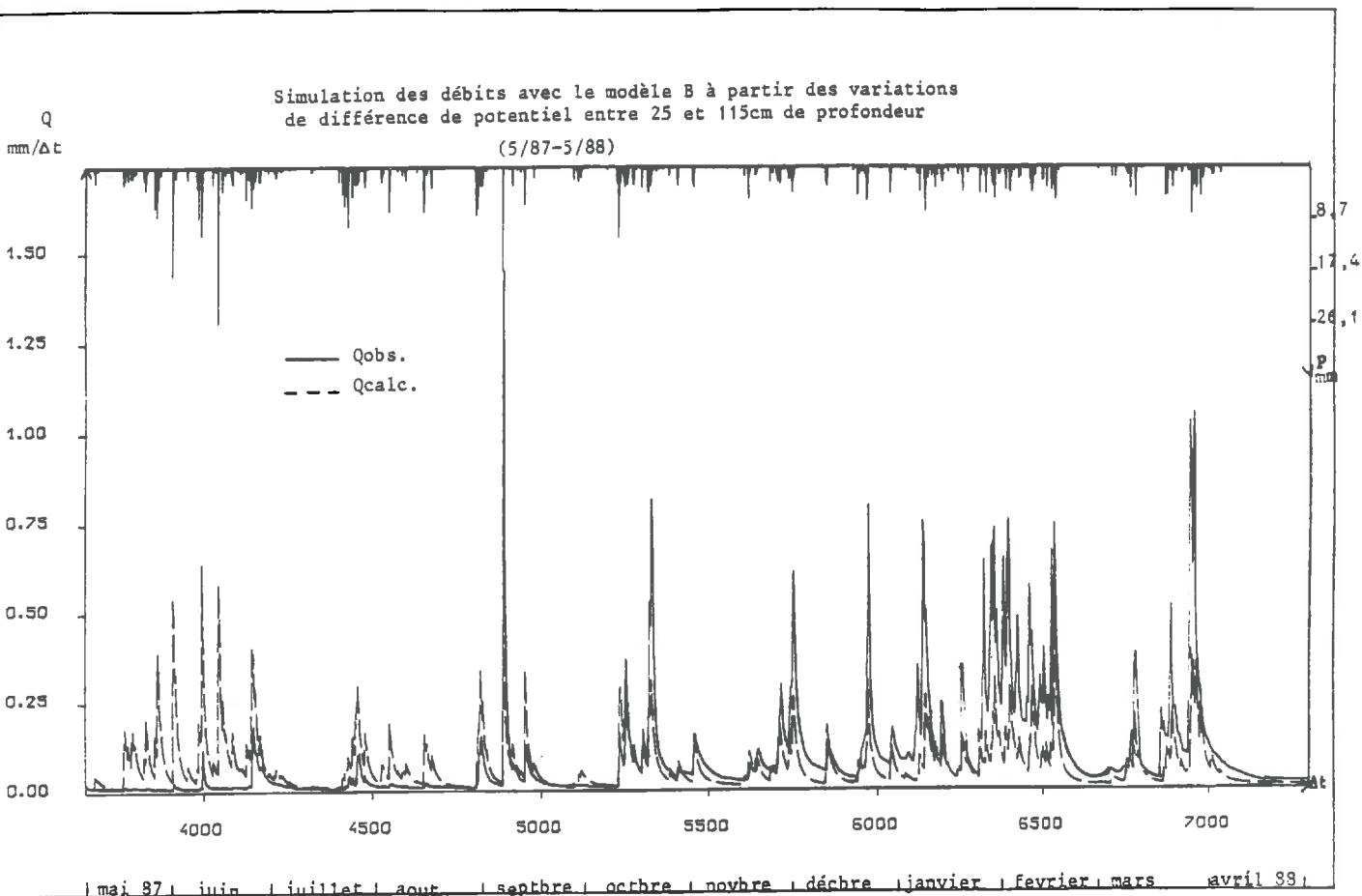
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 25 et 55cm de profondeur  
(5/87-5/88)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 25 et 115cm de profondeur (5/86-5/87)

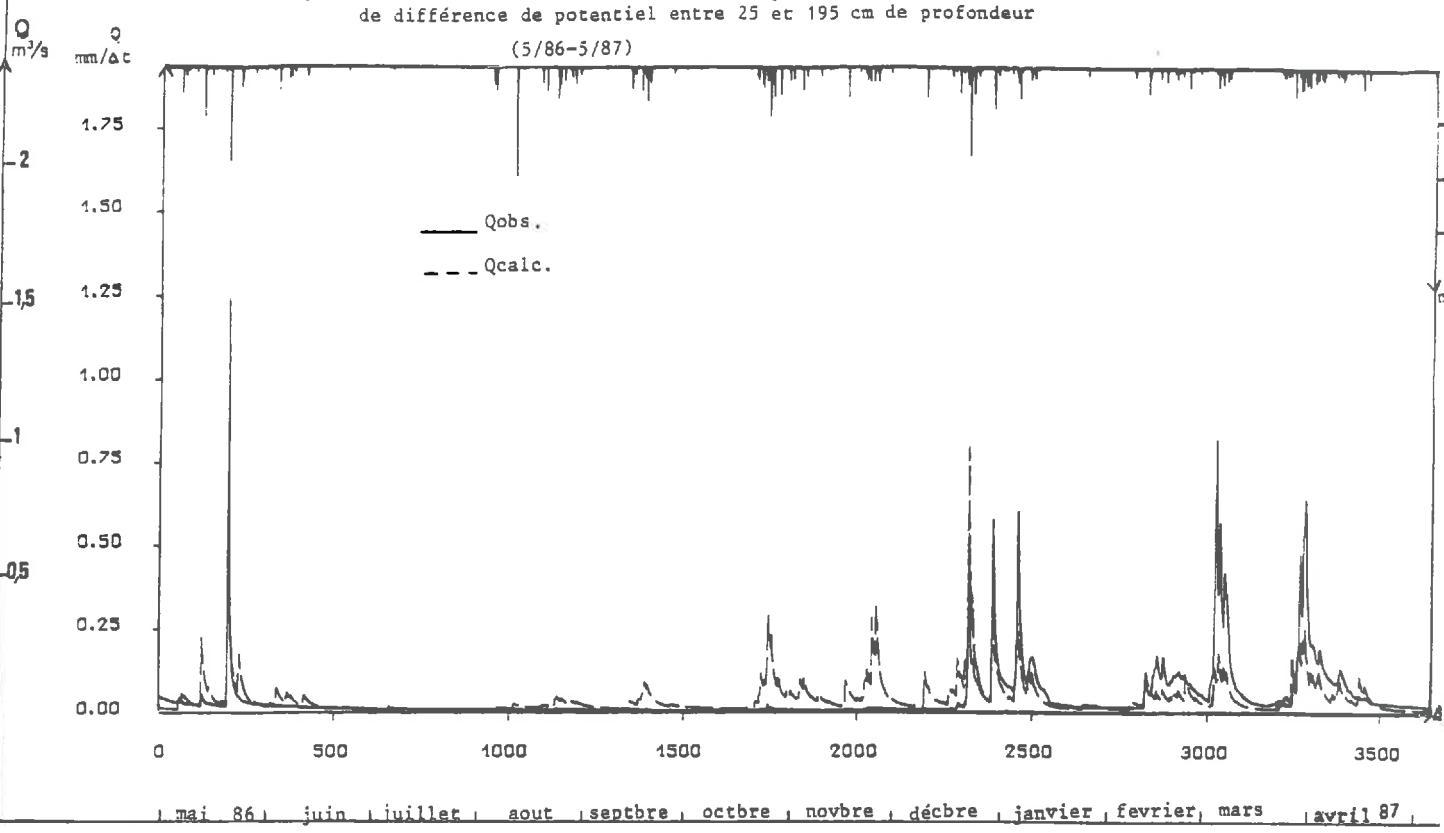


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 25 et 115cm de profondeur  
(5/87-5/88)



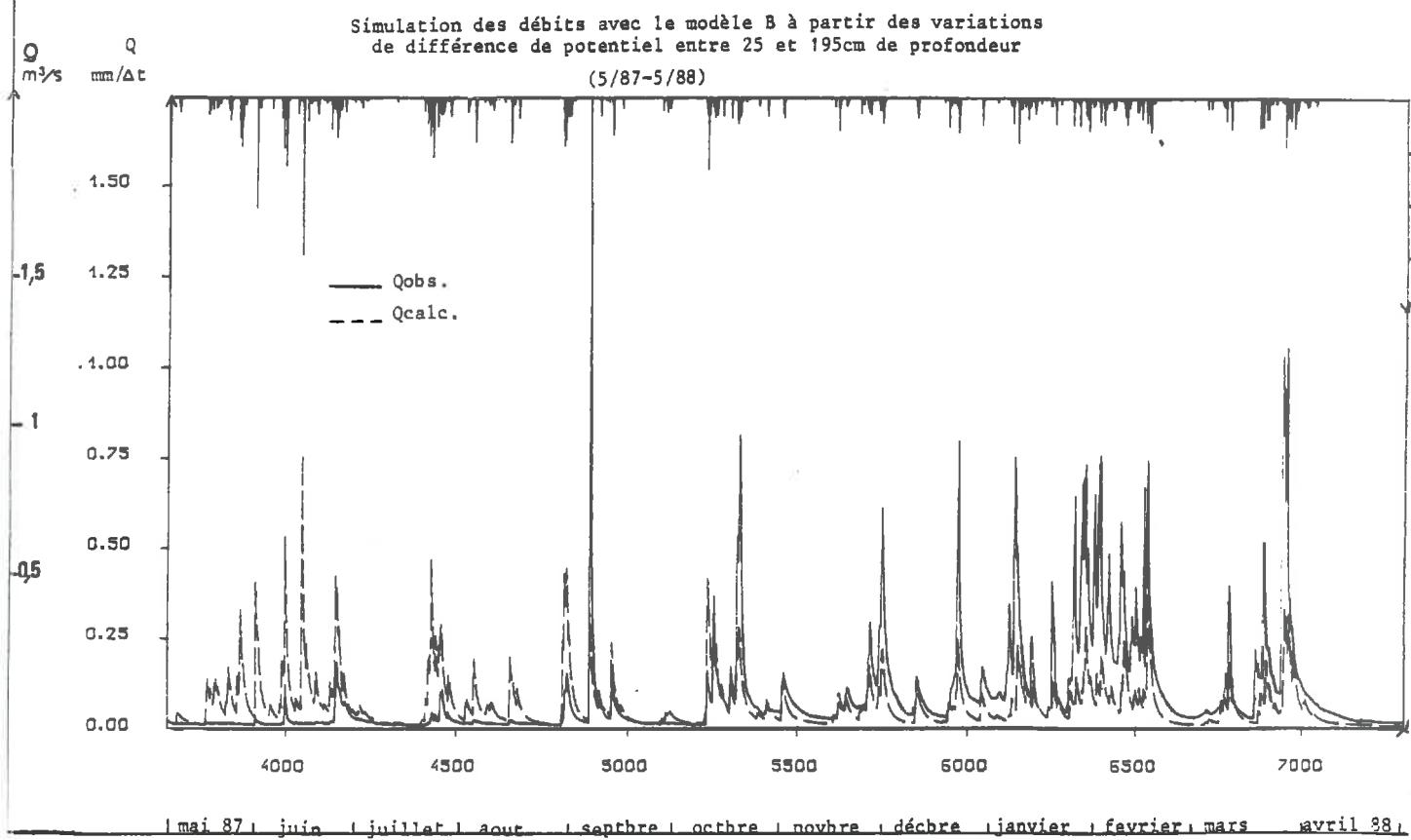
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 25 et 195 cm de profondeur

(5/86-5/87)



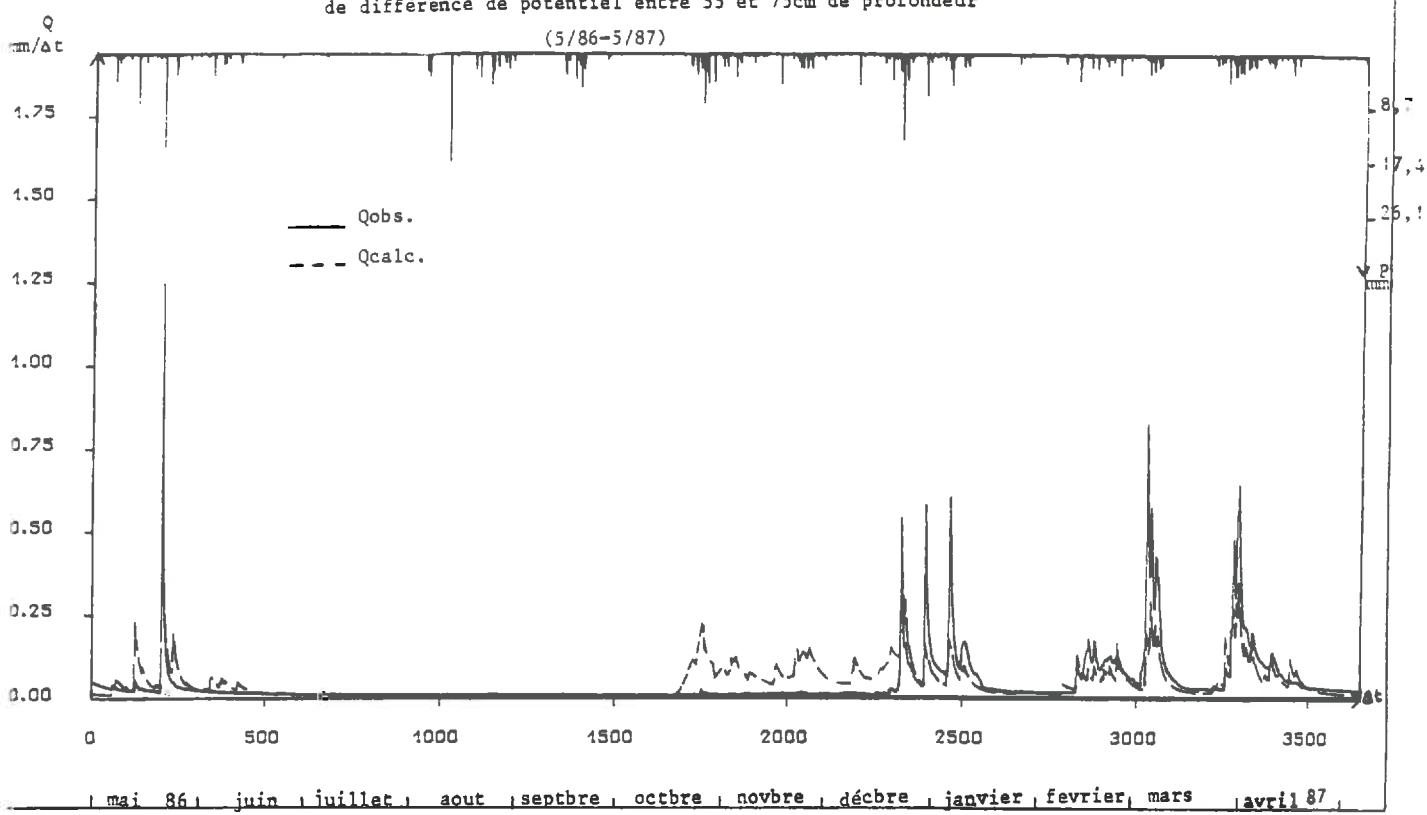
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 25 et 195cm de profondeur

(5/87-5/88)

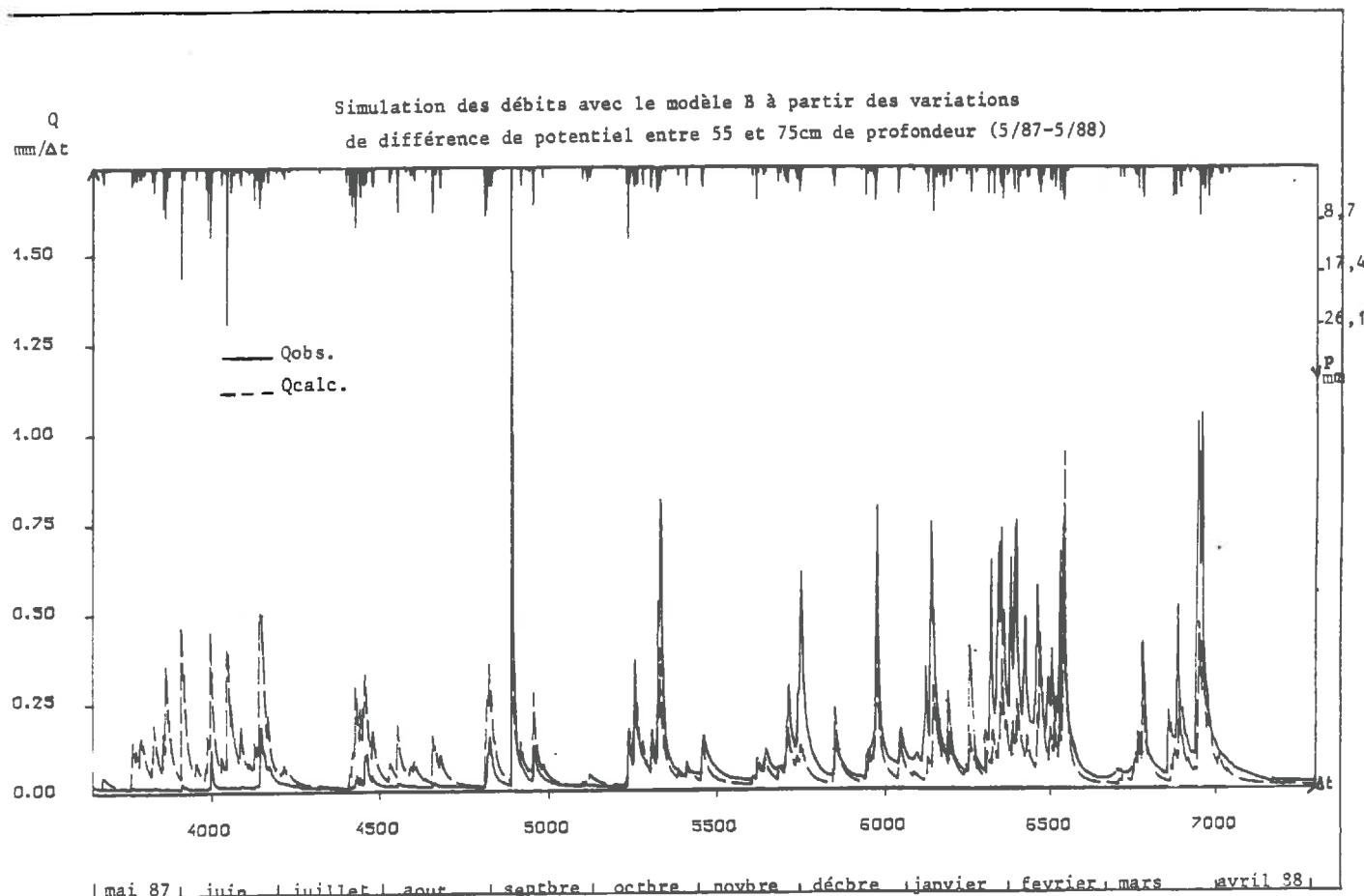


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur

(5/86-5/87)

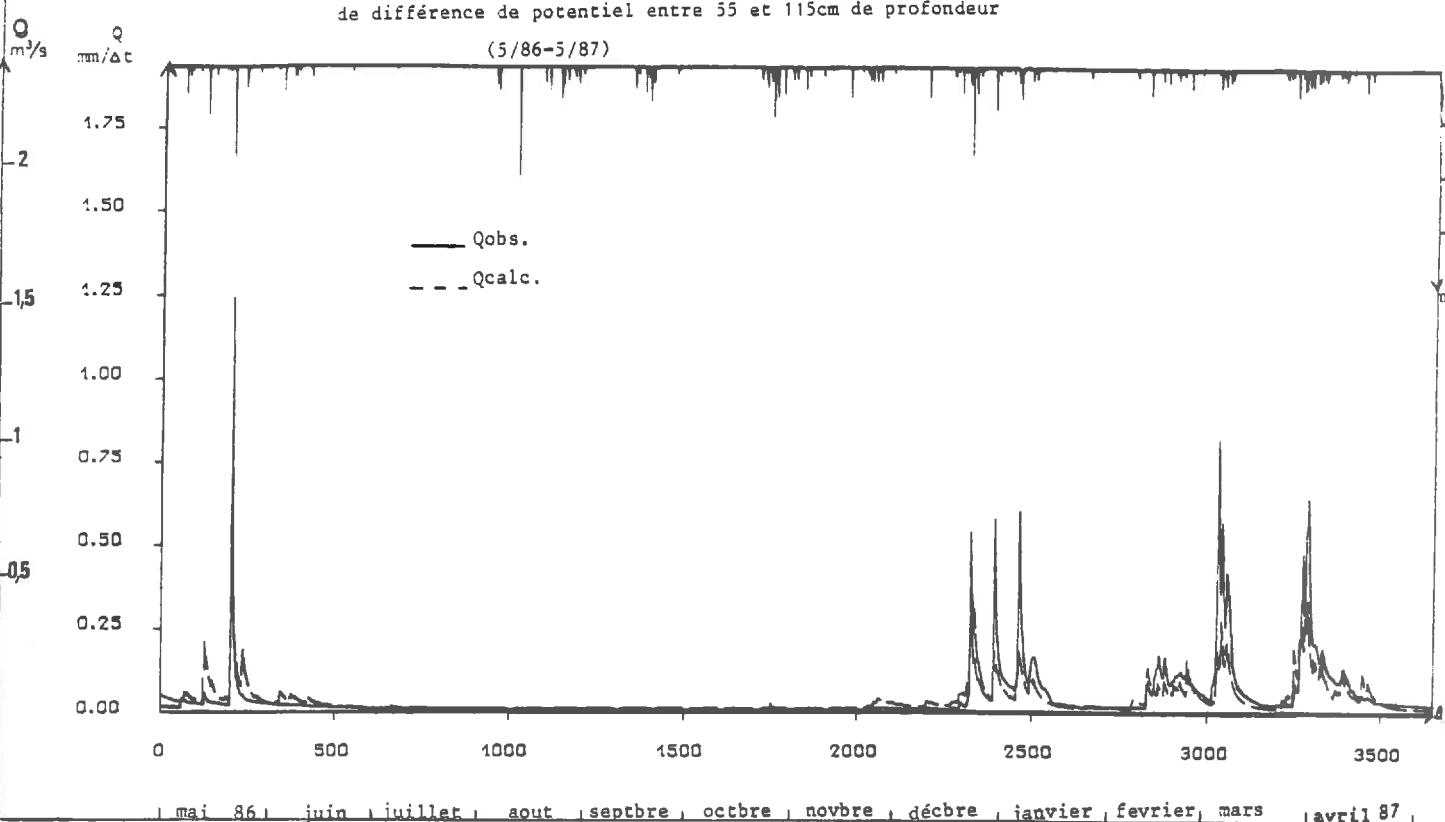


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur (5/87-5/88)



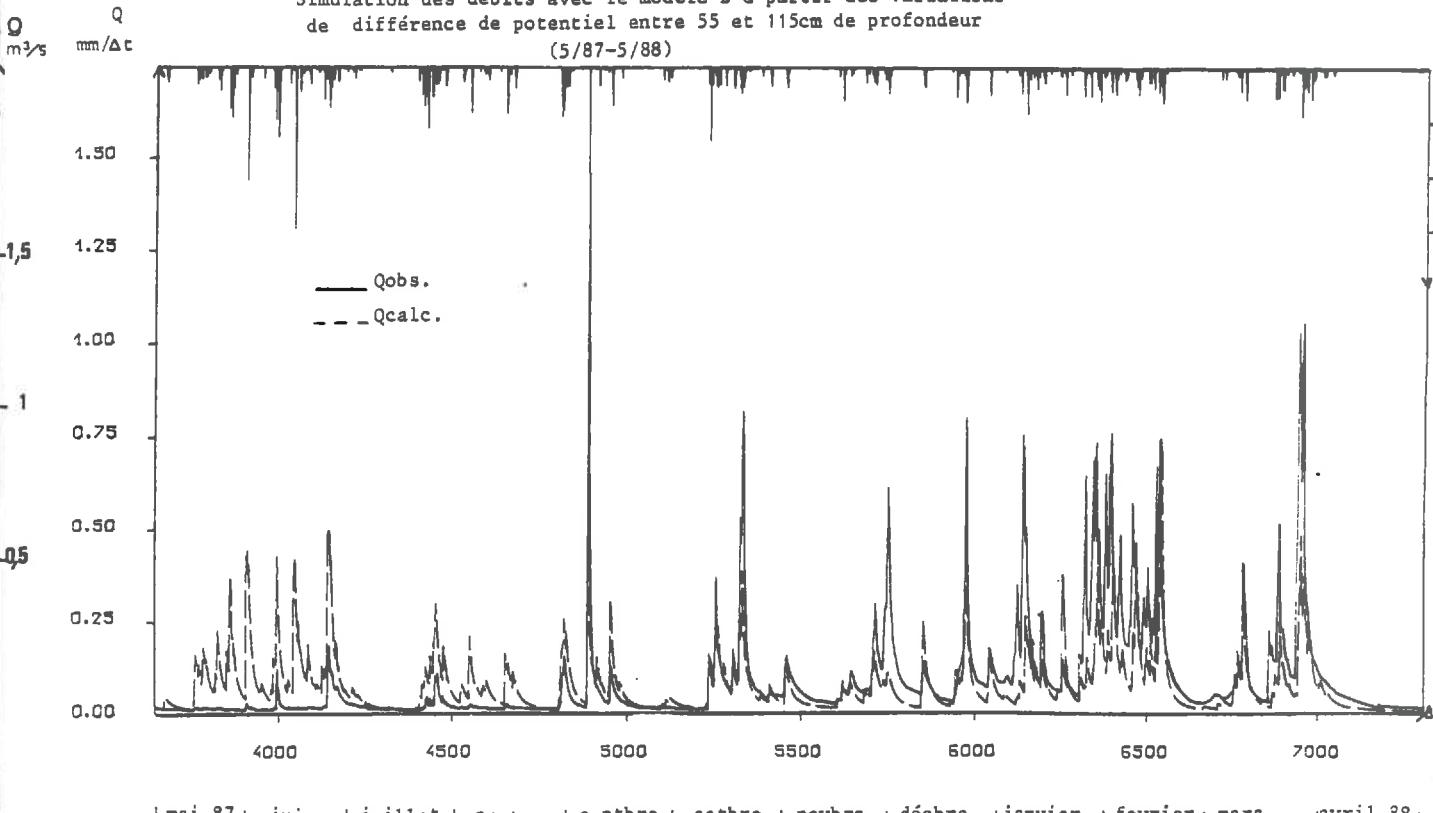
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations de différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur

(5/86-5/87)

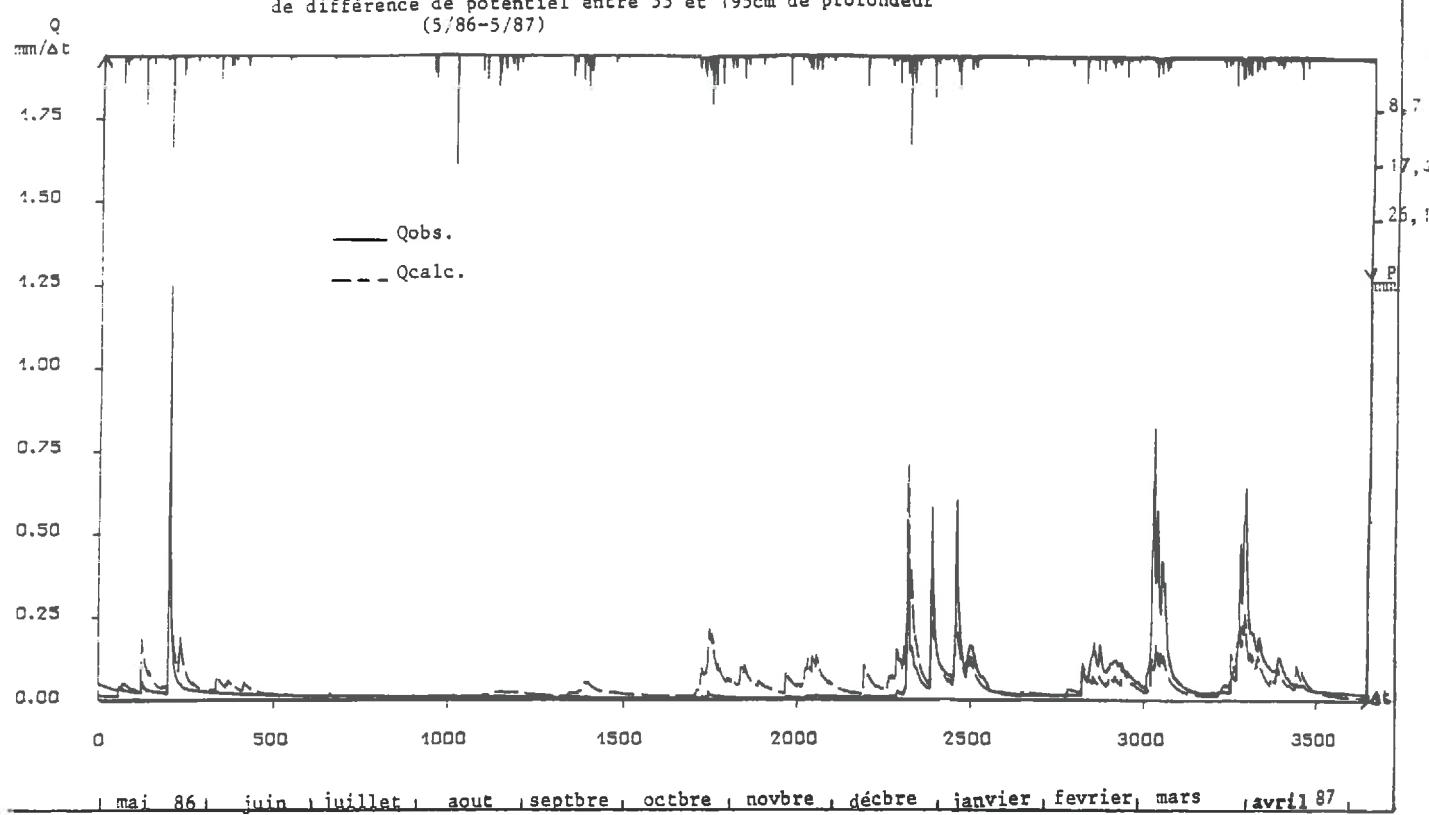


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations de différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur

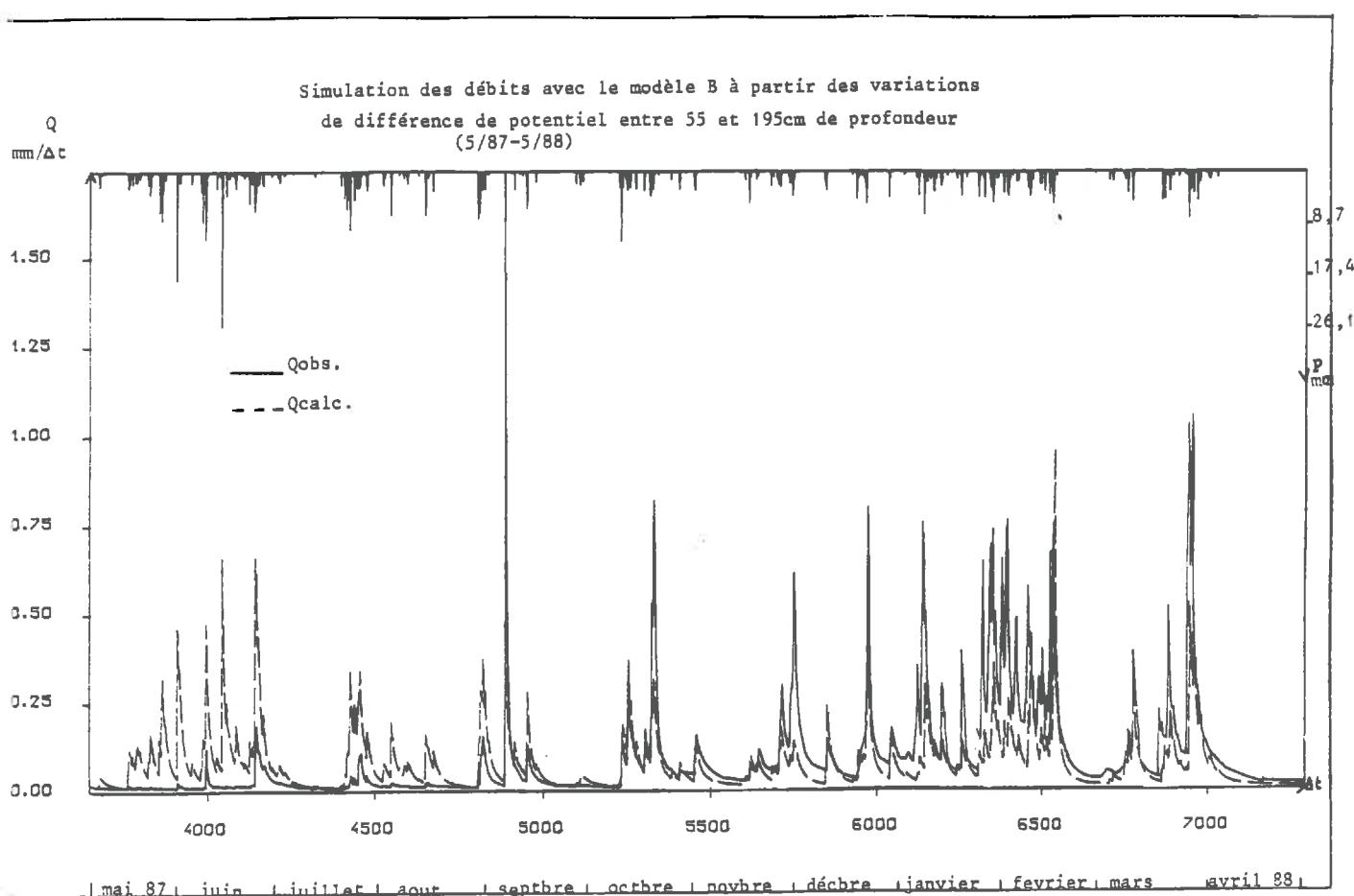
(5/87-5/88)



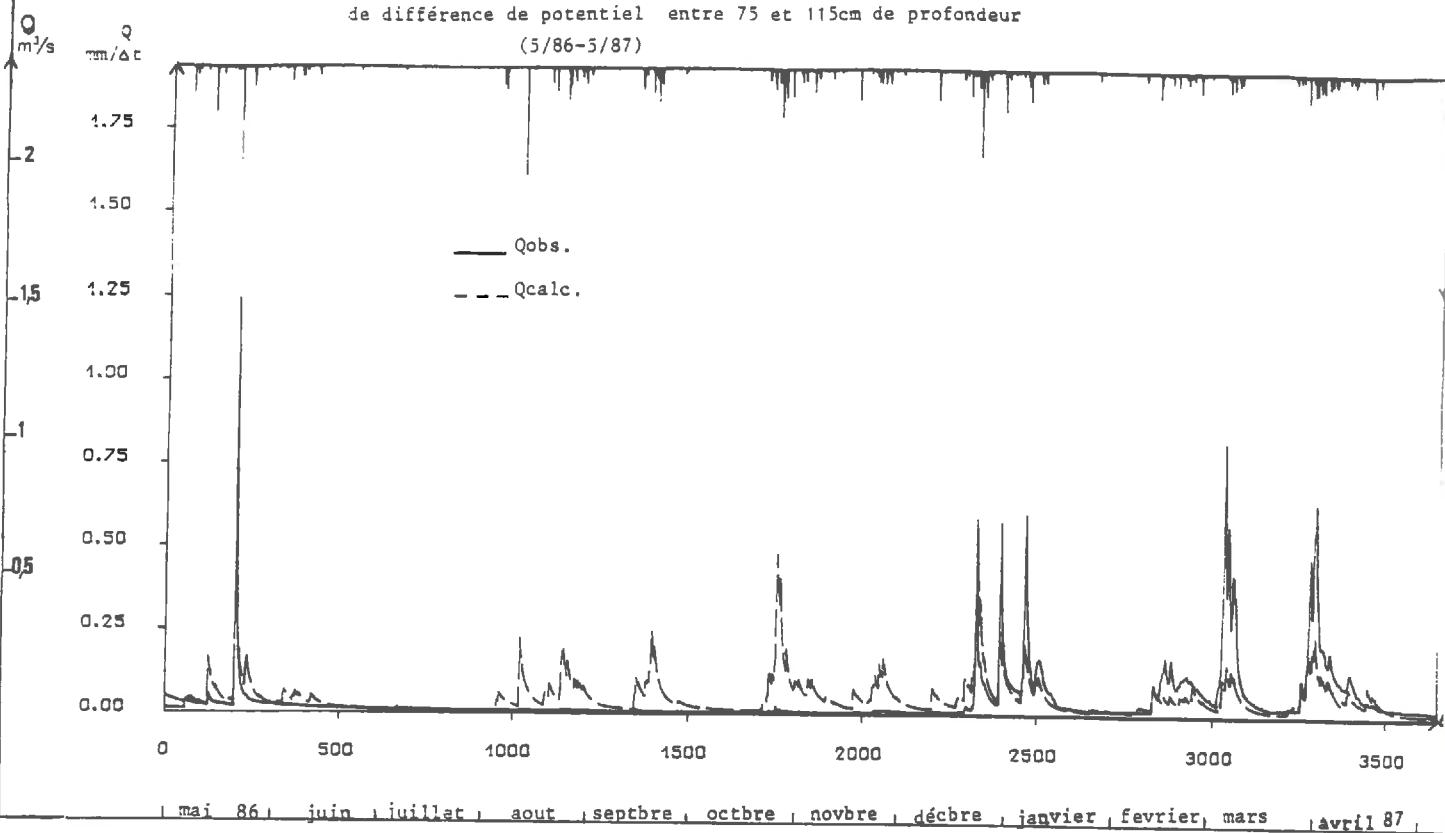
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur  
(5/86-5/87)



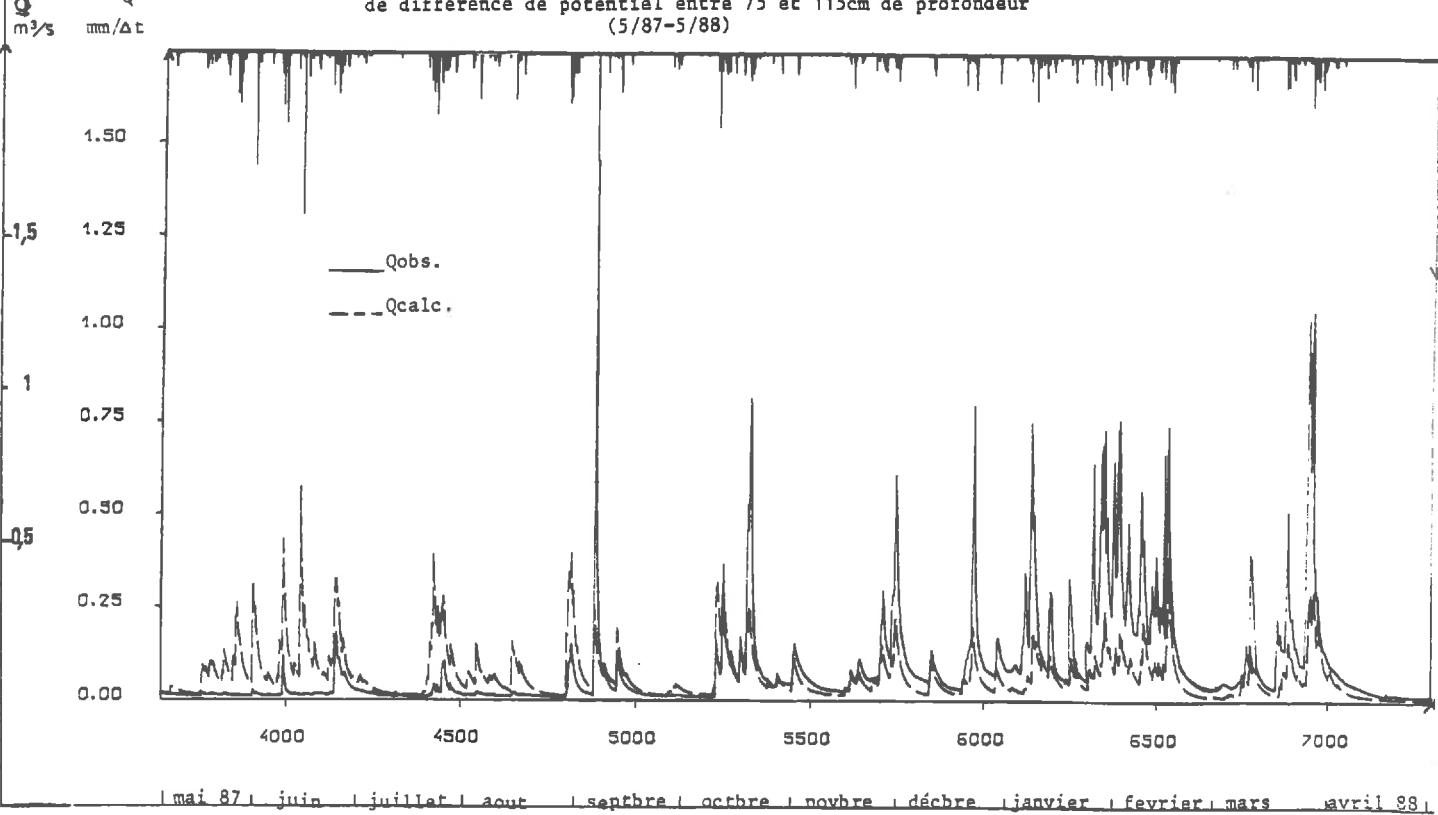
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur  
(5/87-5/88)



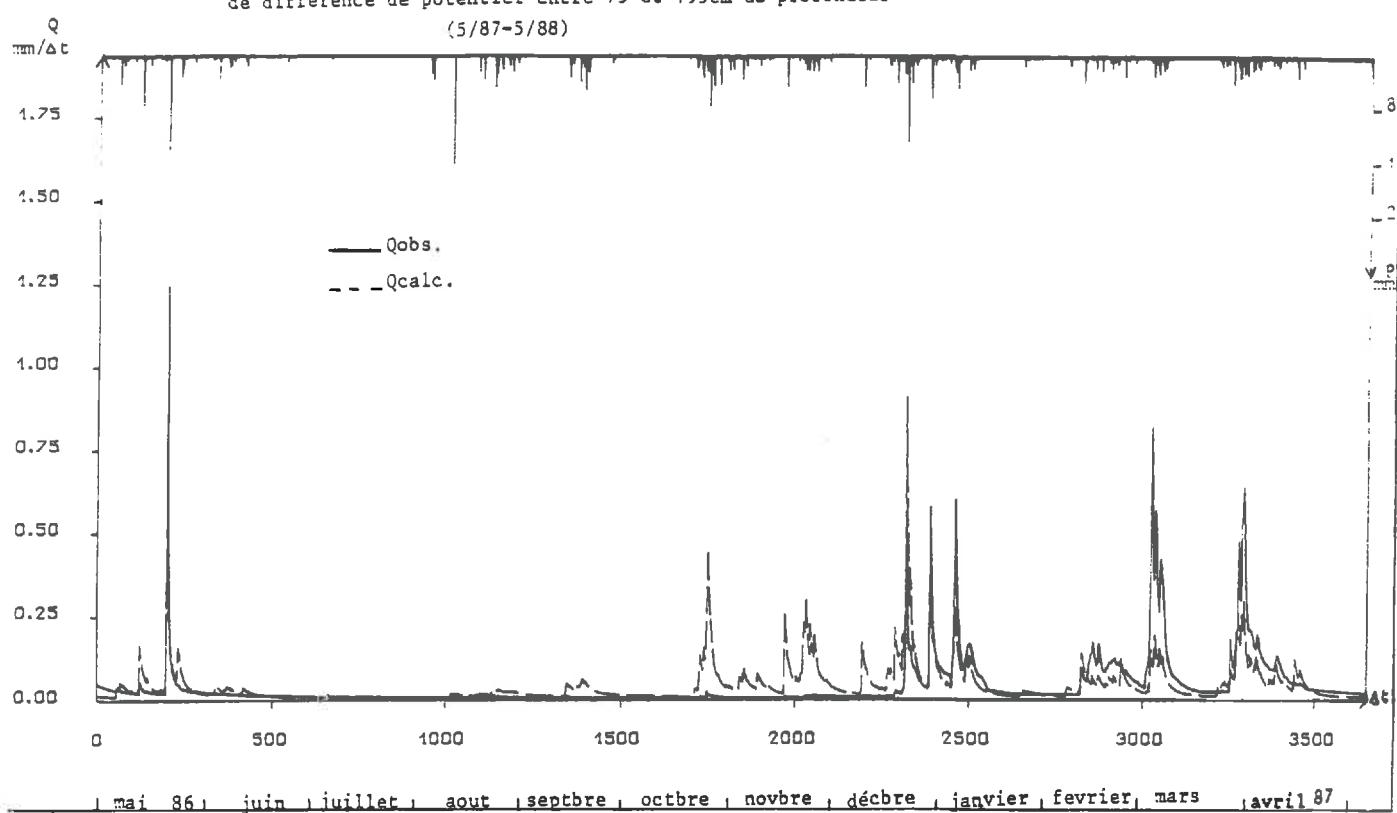
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 75 et 115cm de profondeur  
(5/86-5/87)



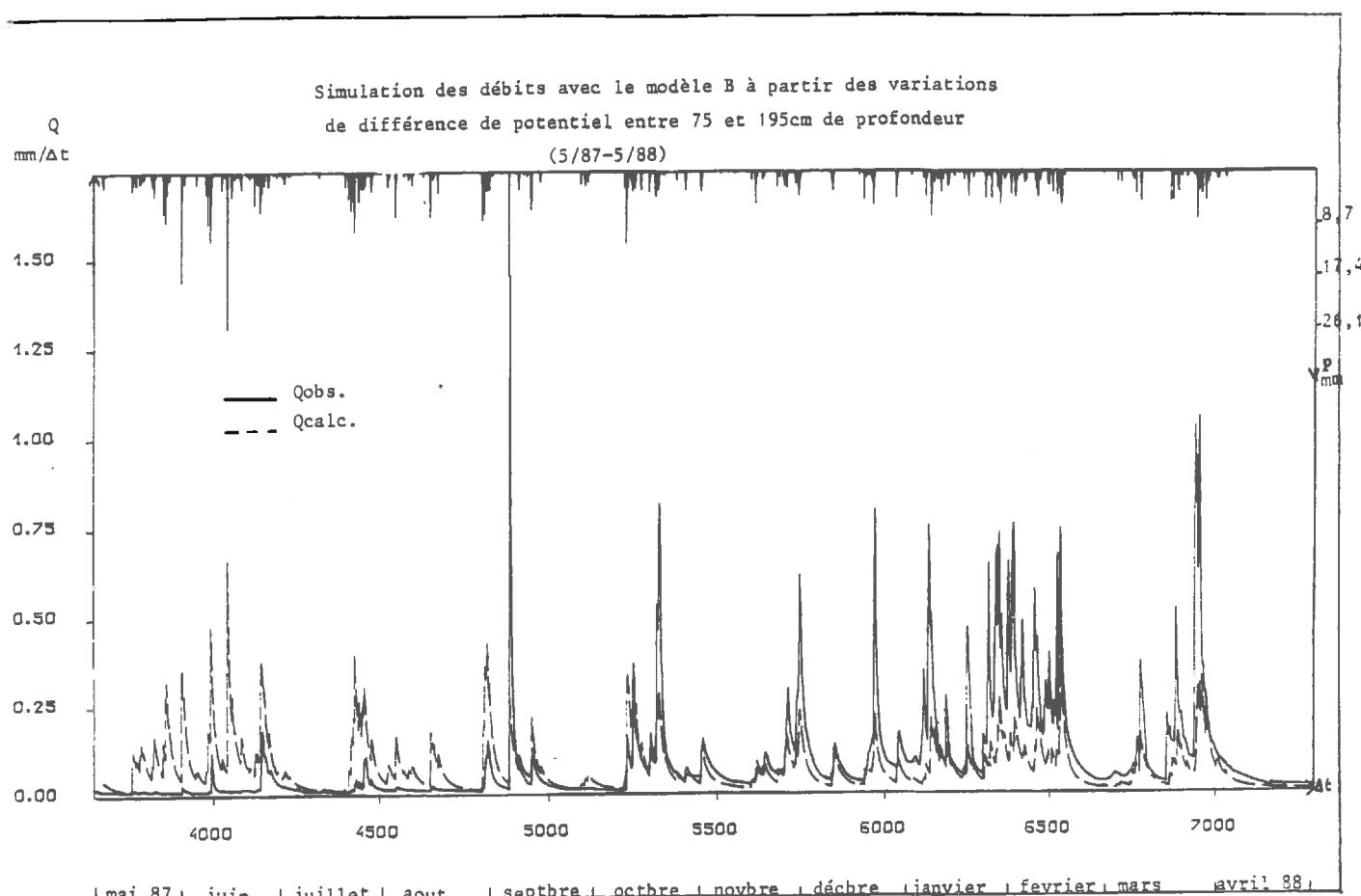
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 75 et 115cm de profondeur  
(5/87-5/88)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 75 et 195cm de profondeur  
(5/87-5/88)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
de différence de potentiel entre 75 et 195cm de profondeur  
(5/87-5/88)

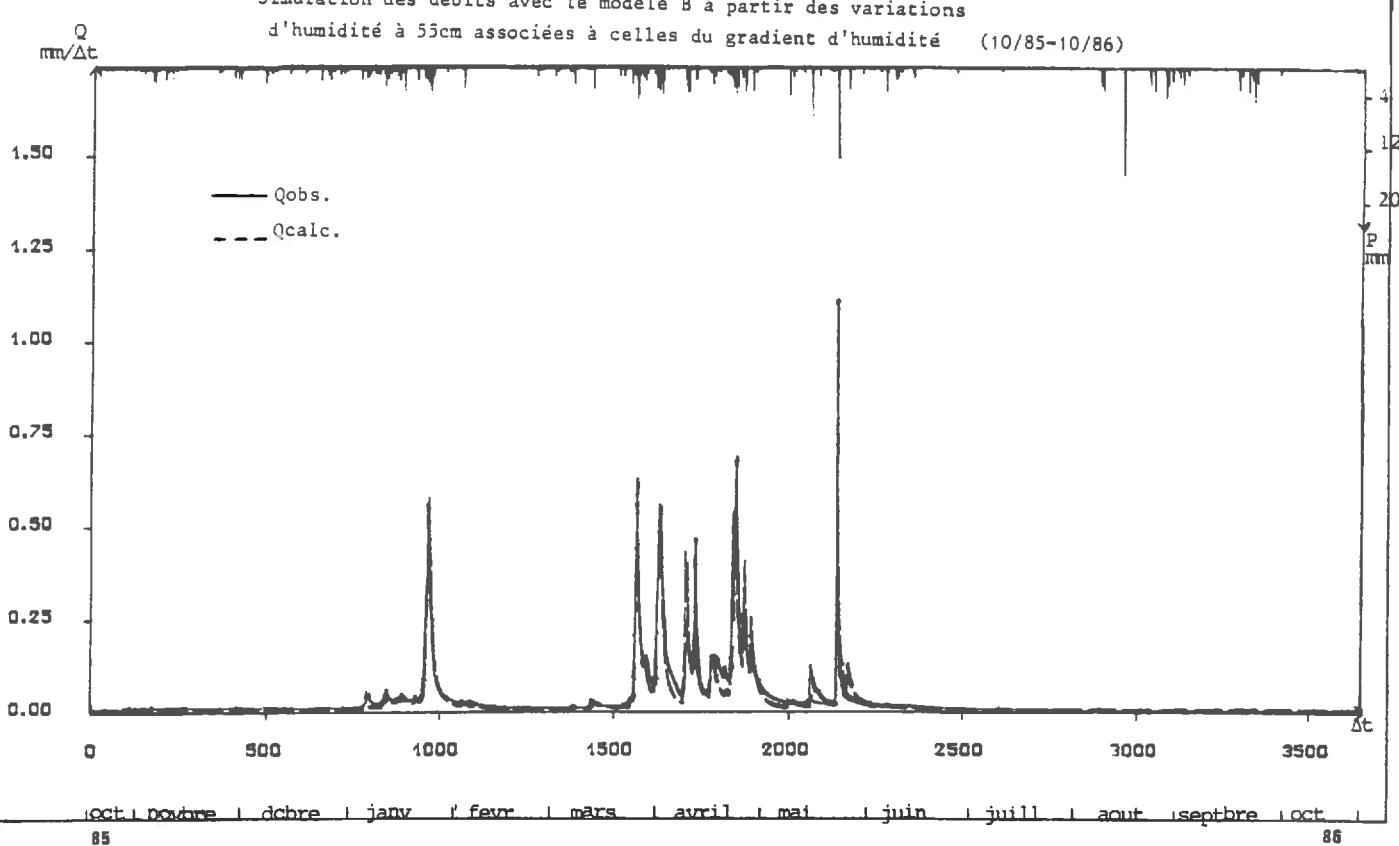


VII.4 - Simulation des débits avec le modèle B en introduisant plusieurs variables

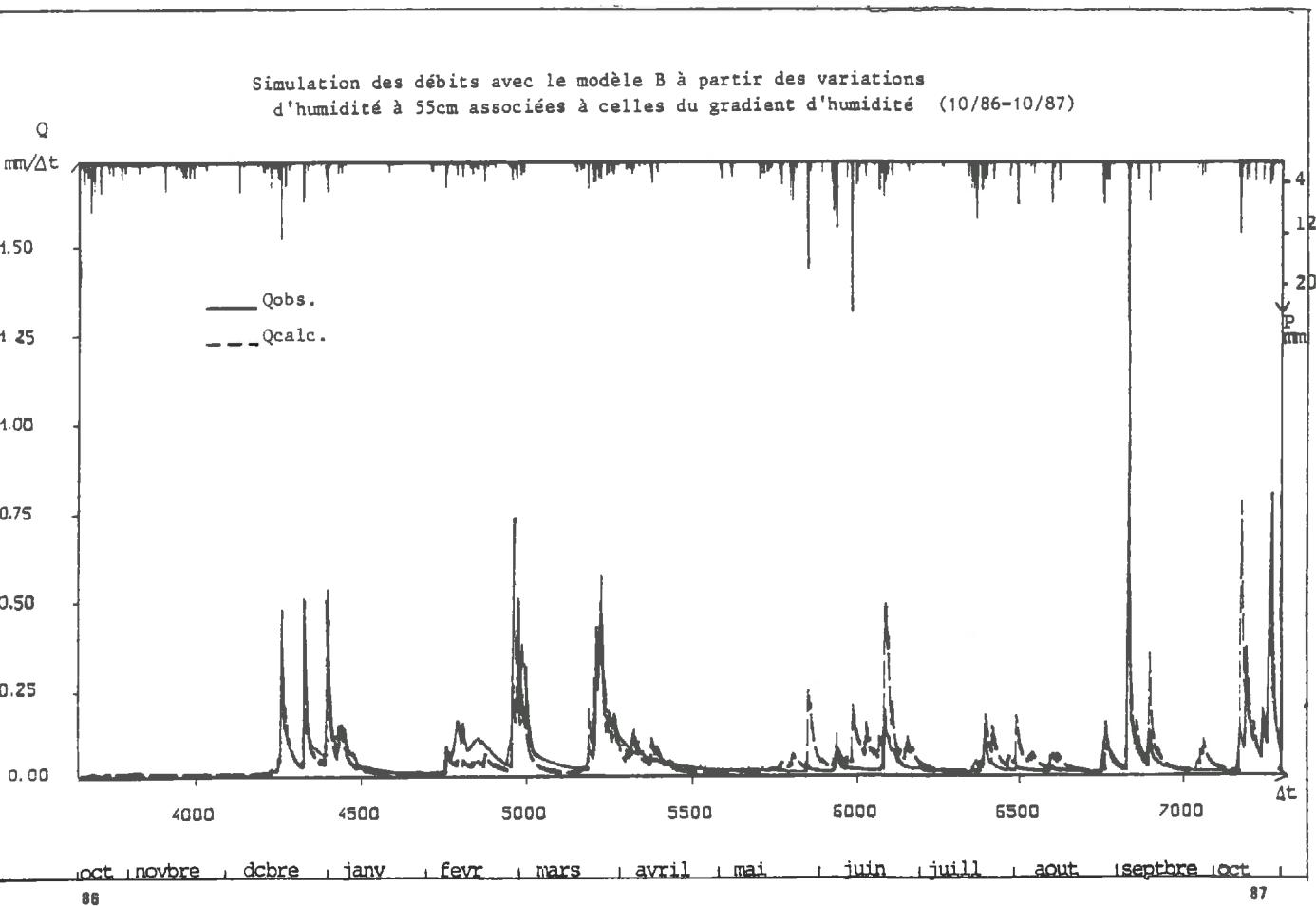
- a - variations d'humidité à 55 cm associées à celles du "gradient" d'humidité (10/85-10/87)
- b - variations d'humidité à 55 cm associées à celles à 15 cm de profondeur (10/85-10/87)
- c - variations d'humidité à 55 cm associées à celles du potentiel hydrique pour différentes profondeurs (5/86-5/88)
- d - variations d'humidité à 55 cm associées aux essais de pondération du potentiel hydrique à 55 cm (5/86-5/88)  
( $H_{55} + H_{55} \times P_{55}$  et  $H_{55} + P_{55}/(1-T_s)$ )
- e - variations d'humidité à 55 cm associées à celles des différences de potentiel pour différentes profondeurs (5/86-5/88)

VII.4.a - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm  
associée au "gradient" d'humidité

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du gradient d'humidité (10/85-10/86)

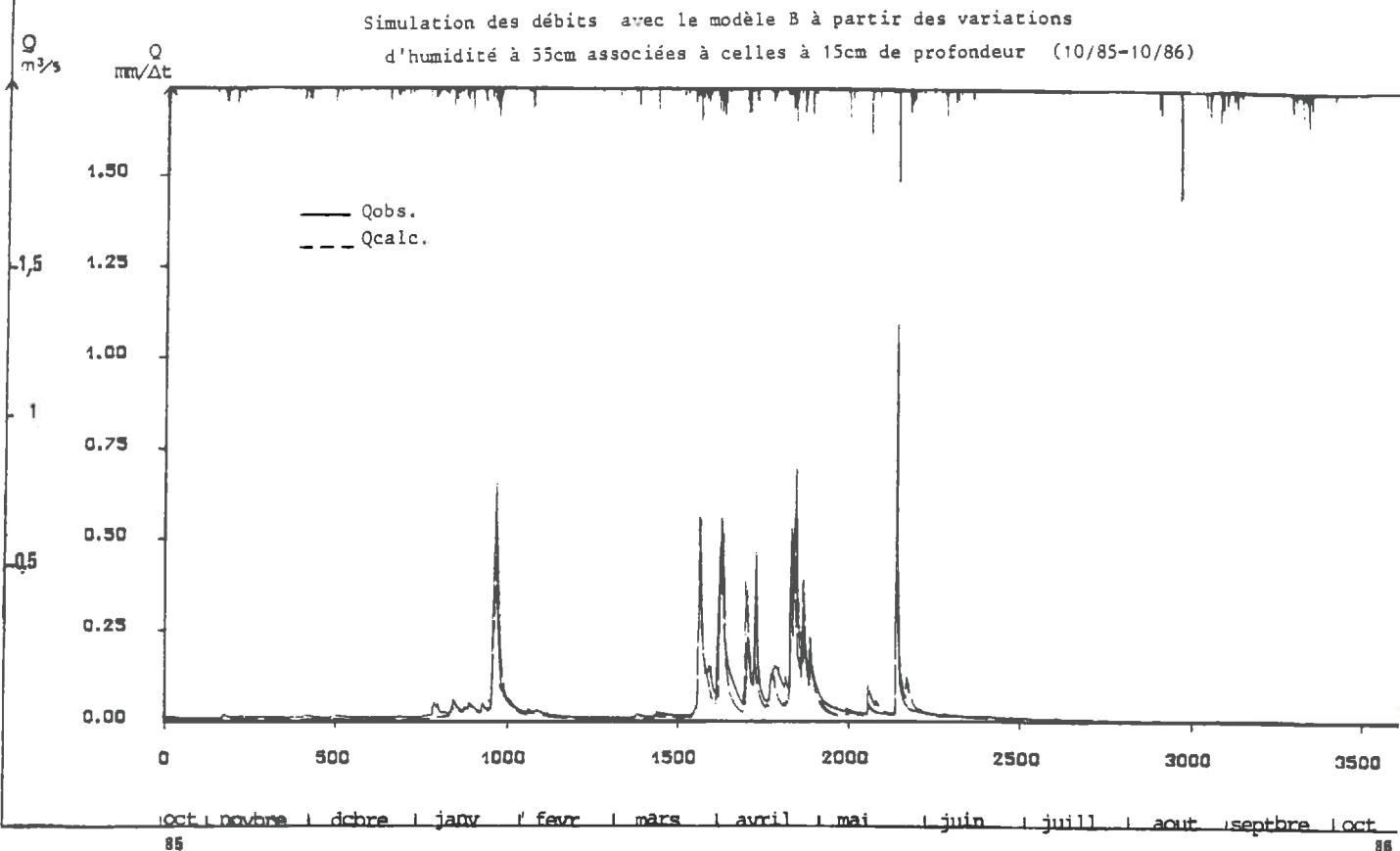


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du gradient d'humidité (10/86-10/87)

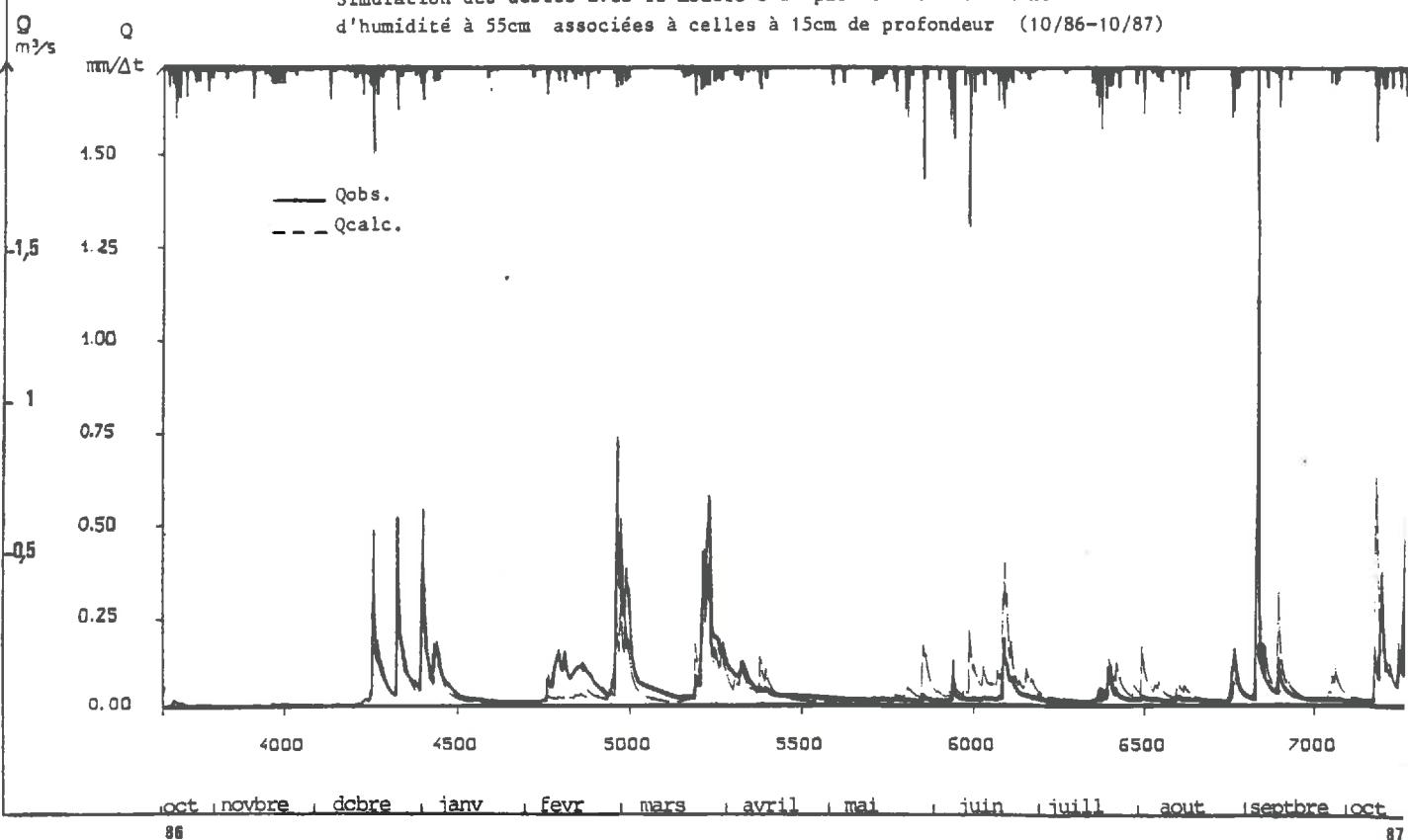


**VII.4.b - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm  
associée à l'humidité à 15 cm**

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles à 15cm de profondeur (10/85-10/86)

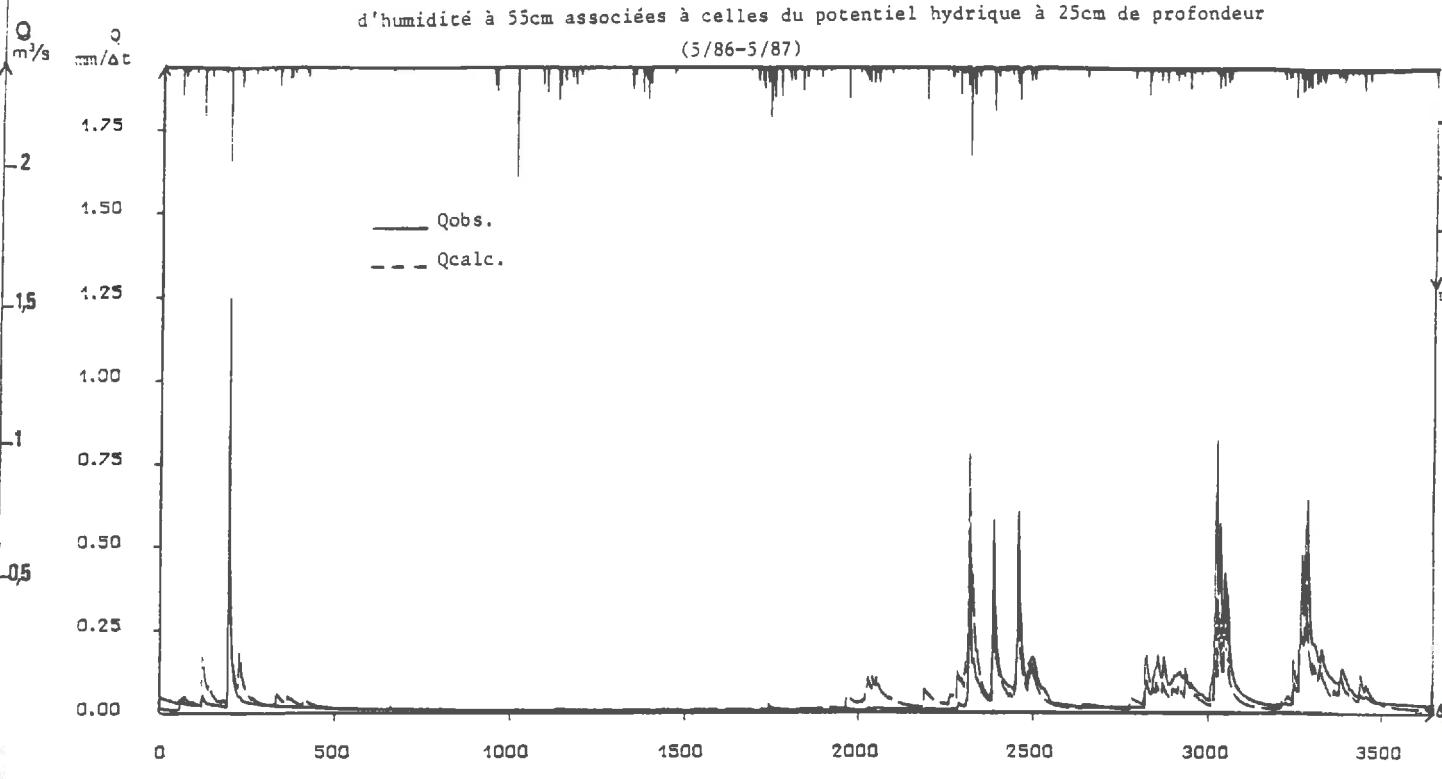


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles à 15cm de profondeur (10/86-10/87)



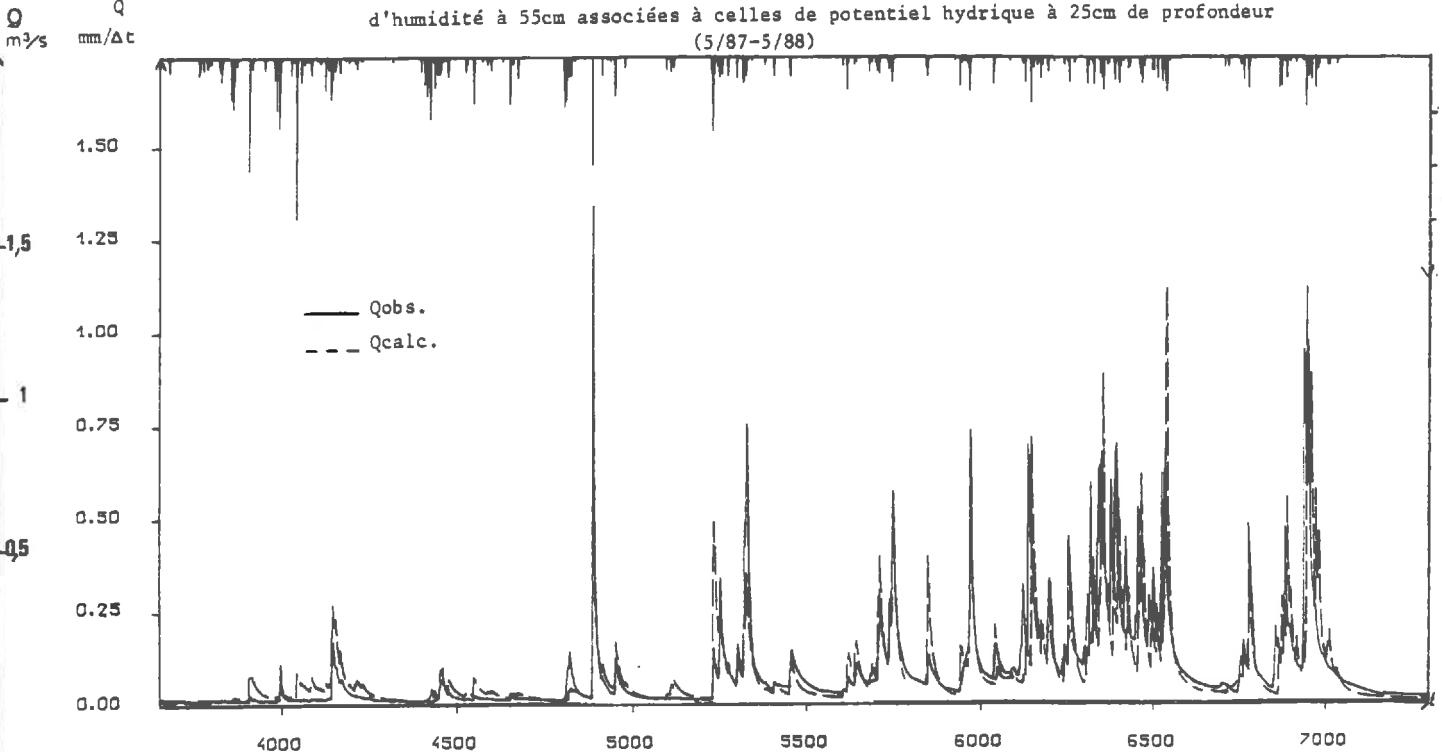
**VII.4.c - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm  
associée au potentiel hydrique à différentes profondeurs**

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 25cm de profondeur  
(5/86-5/87)



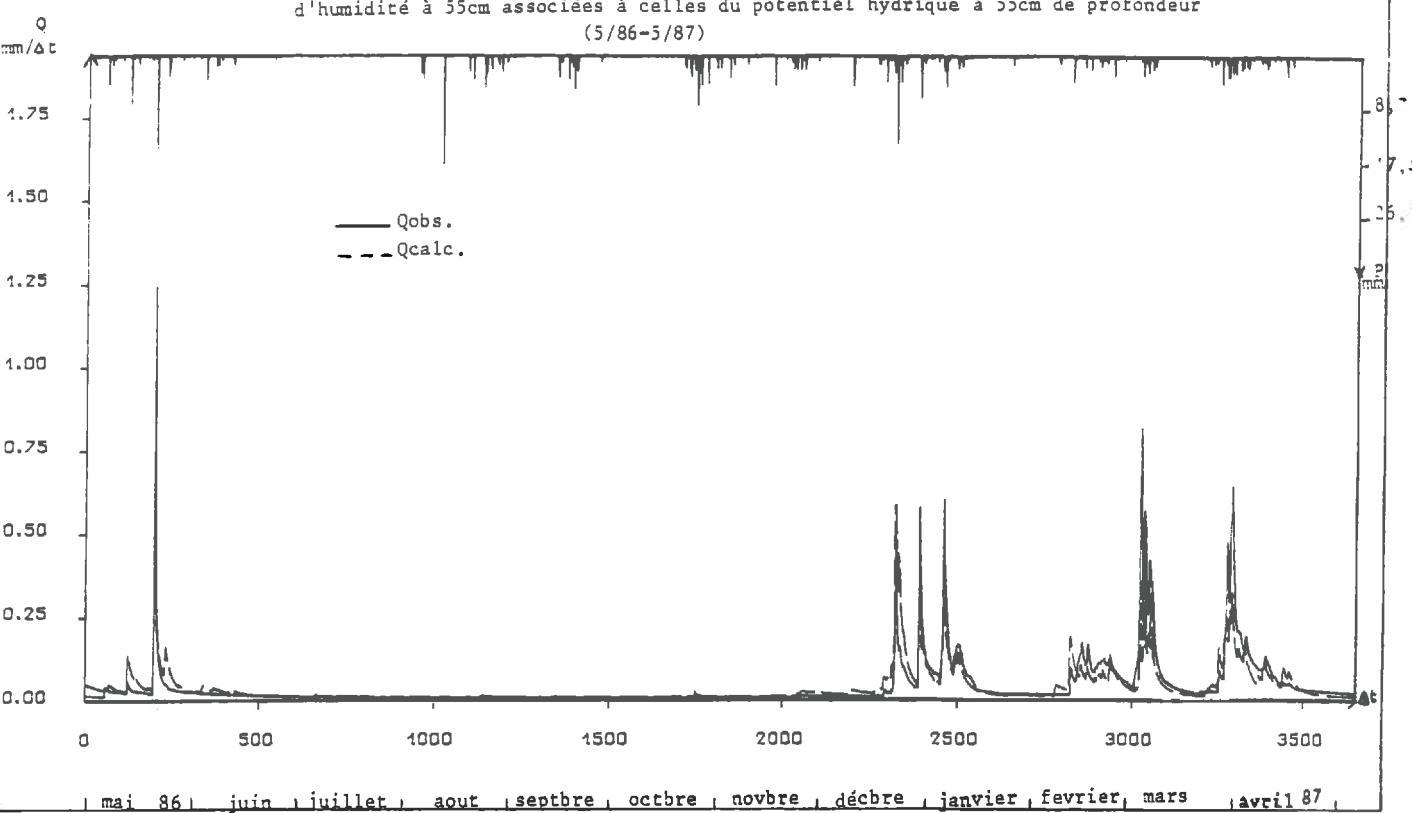
mai 86 juin juillet aout septembre octobre novembre décembre janvier février mars avril 87

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles de potentiel hydrique à 25cm de profondeur  
(5/87-5/88)

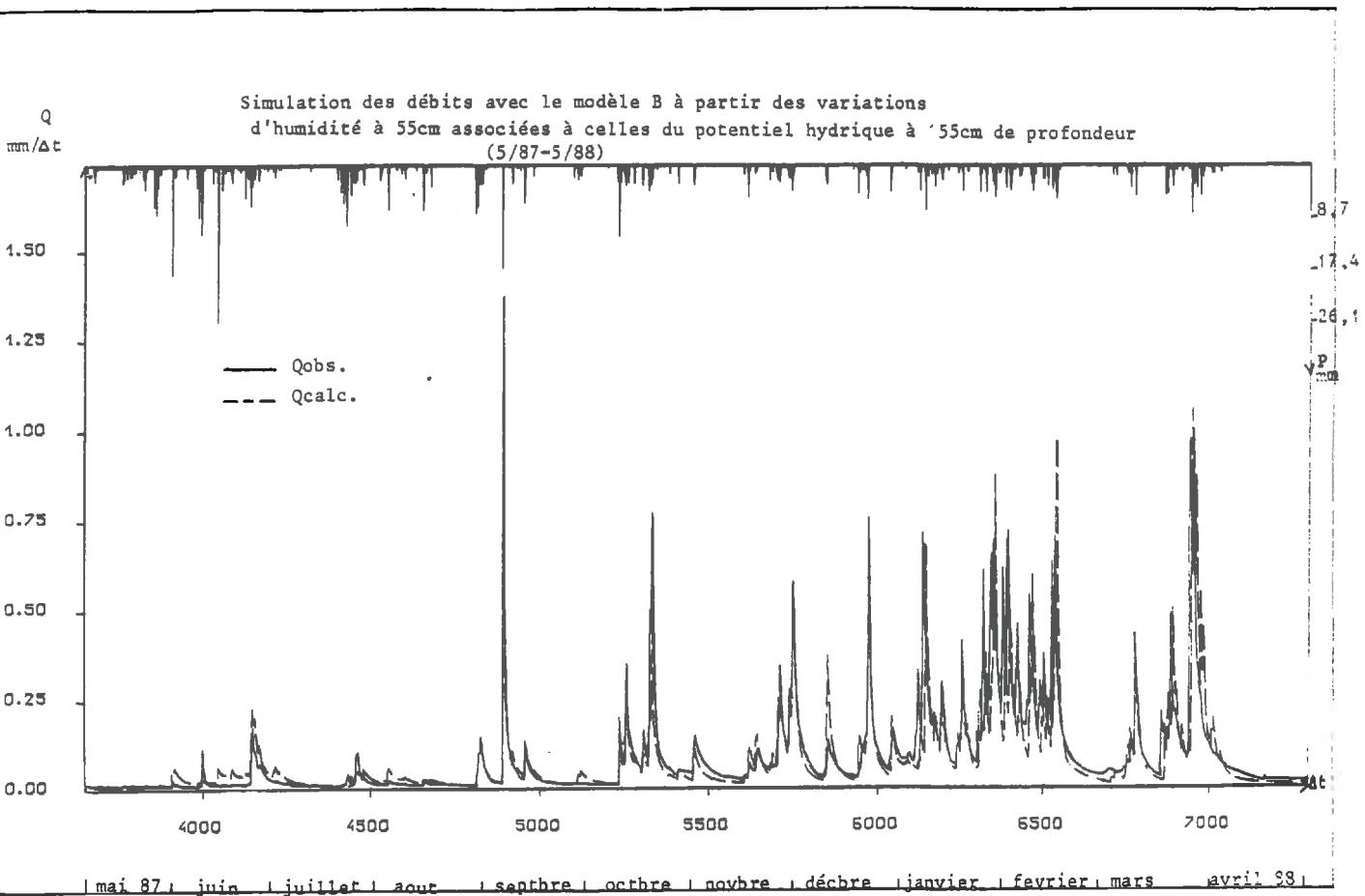


mai 87 juin juillet aout septembre octobre novembre décembre janvier février mars avril 88

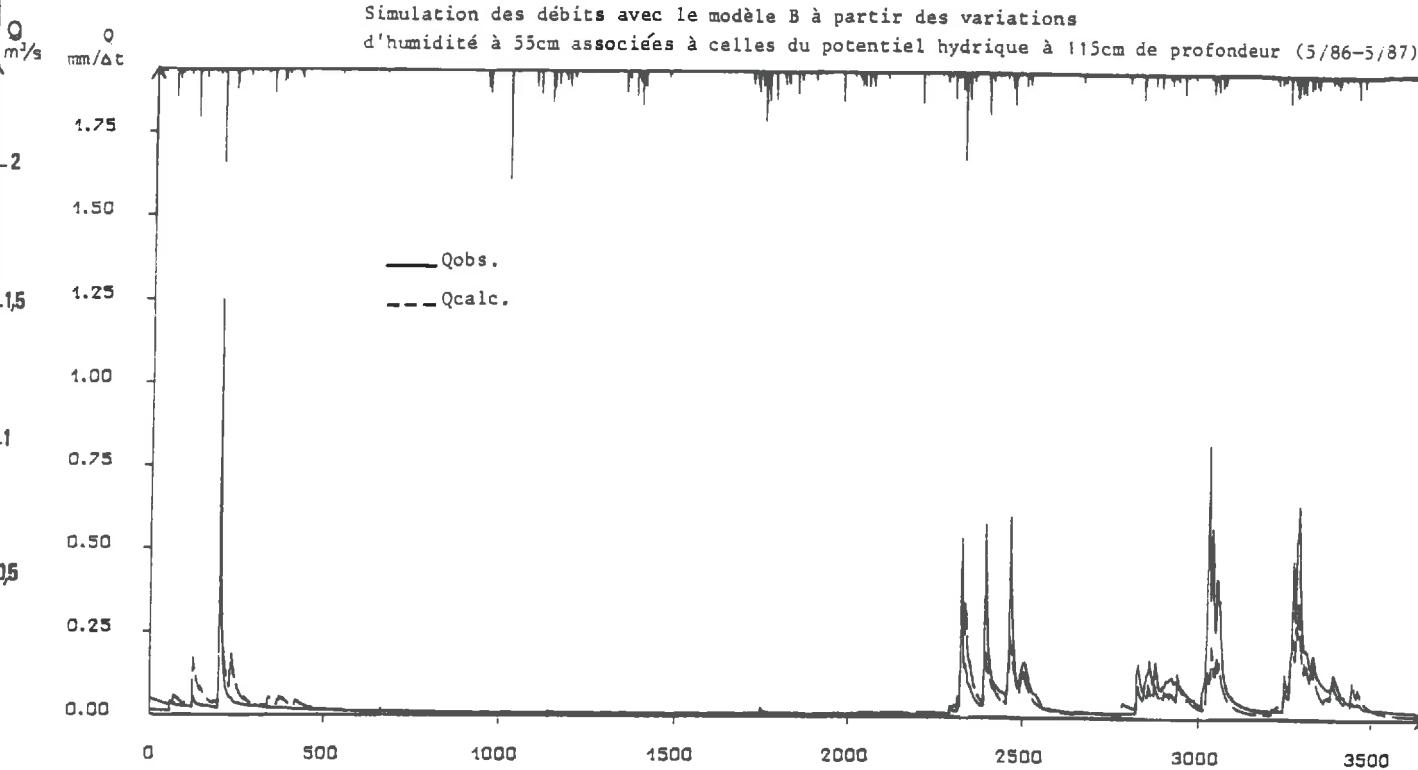
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 55cm de profondeur  
(5/86-5/87)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 55cm de profondeur  
(5/87-5/88)

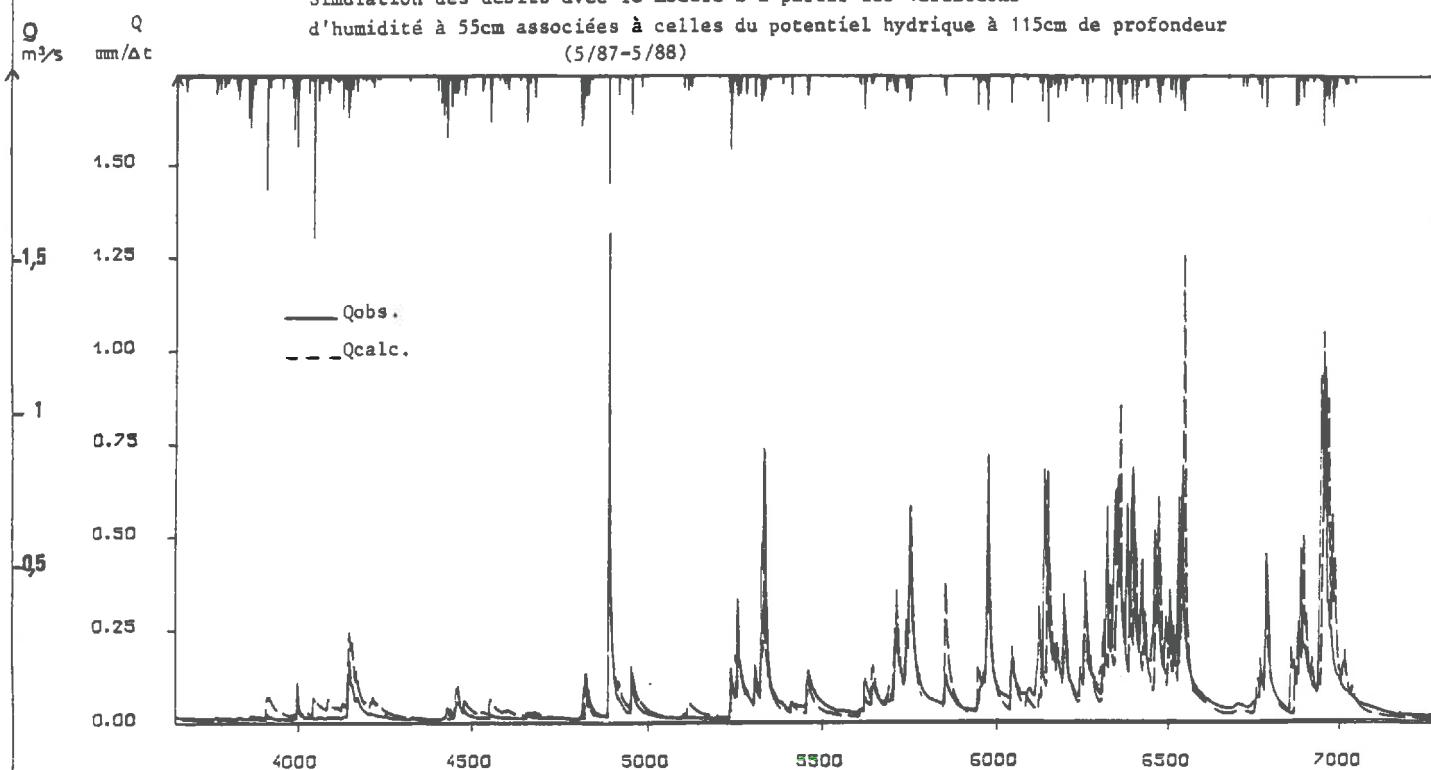


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 115cm de profondeur (5/86-5/87)



| mai 86 | juin | juillet | aout | septembre | octobre | novbre | décembre | janvier | fevrier | mars | avril 87 |

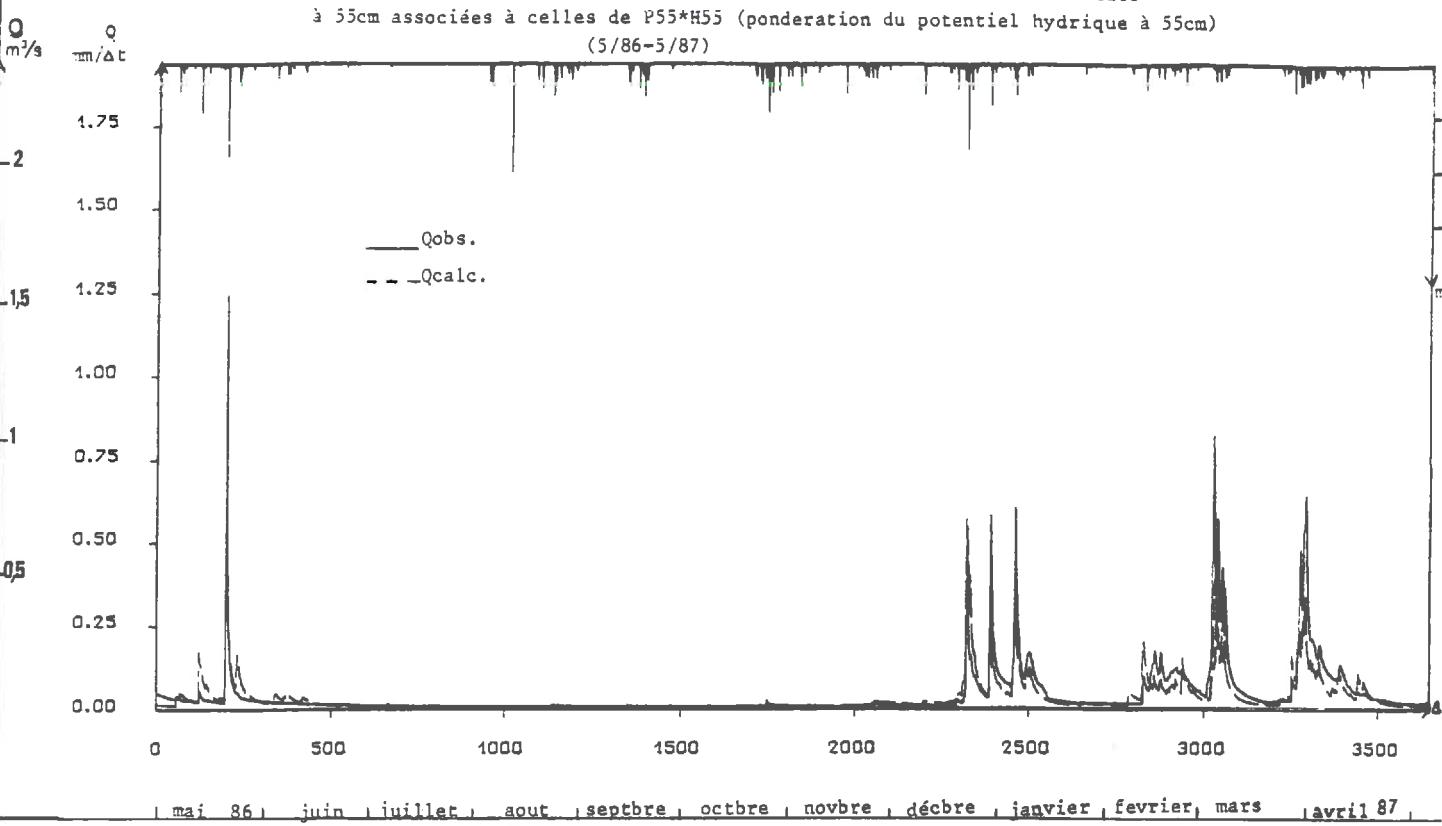
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations  
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 115cm de profondeur  
(5/87-5/88)



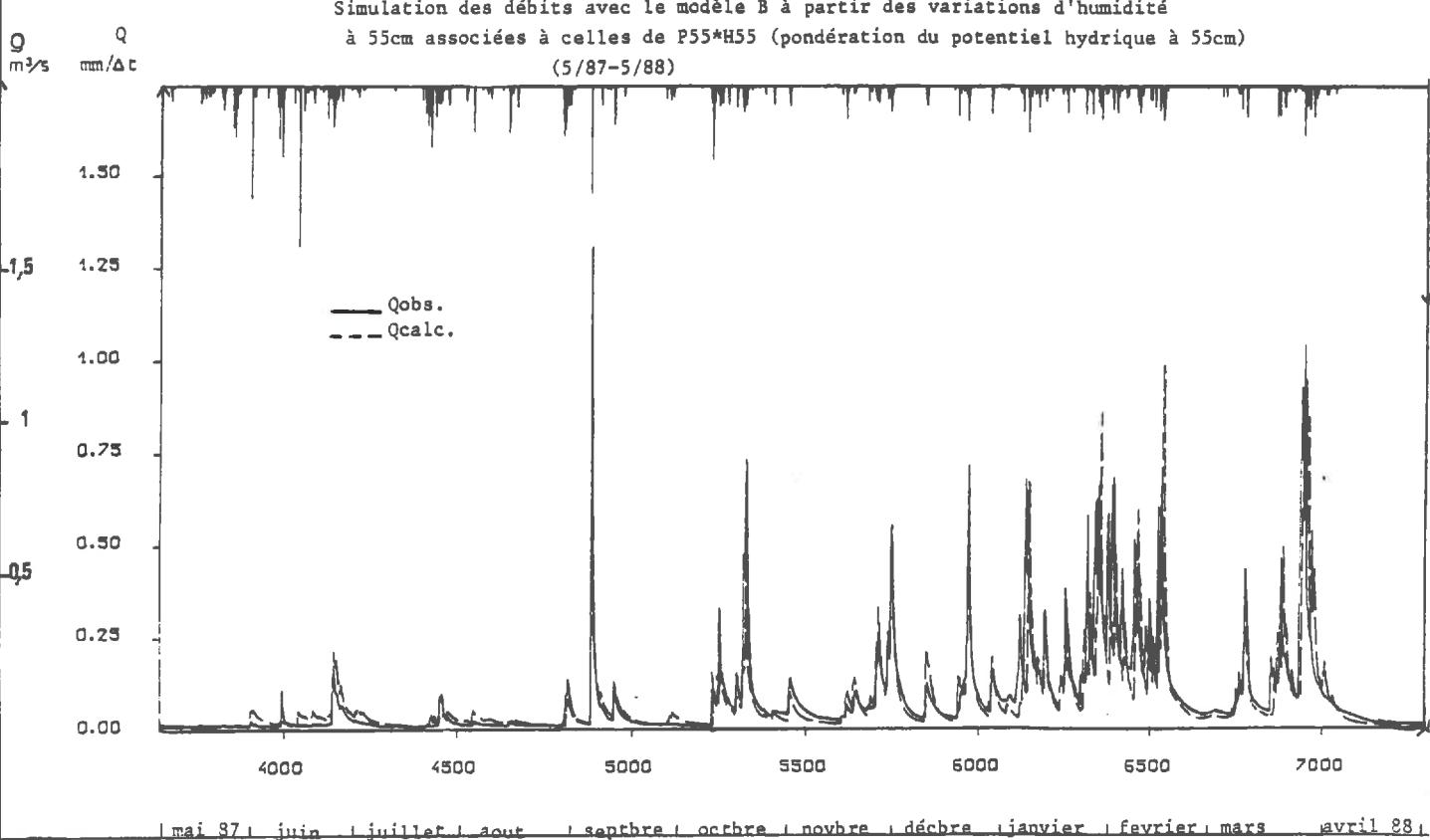
| mai 87 | juin | juillet | aout | septembre | octobre | novbre | décembre | janvier | fevrier | mars | avril 88 |

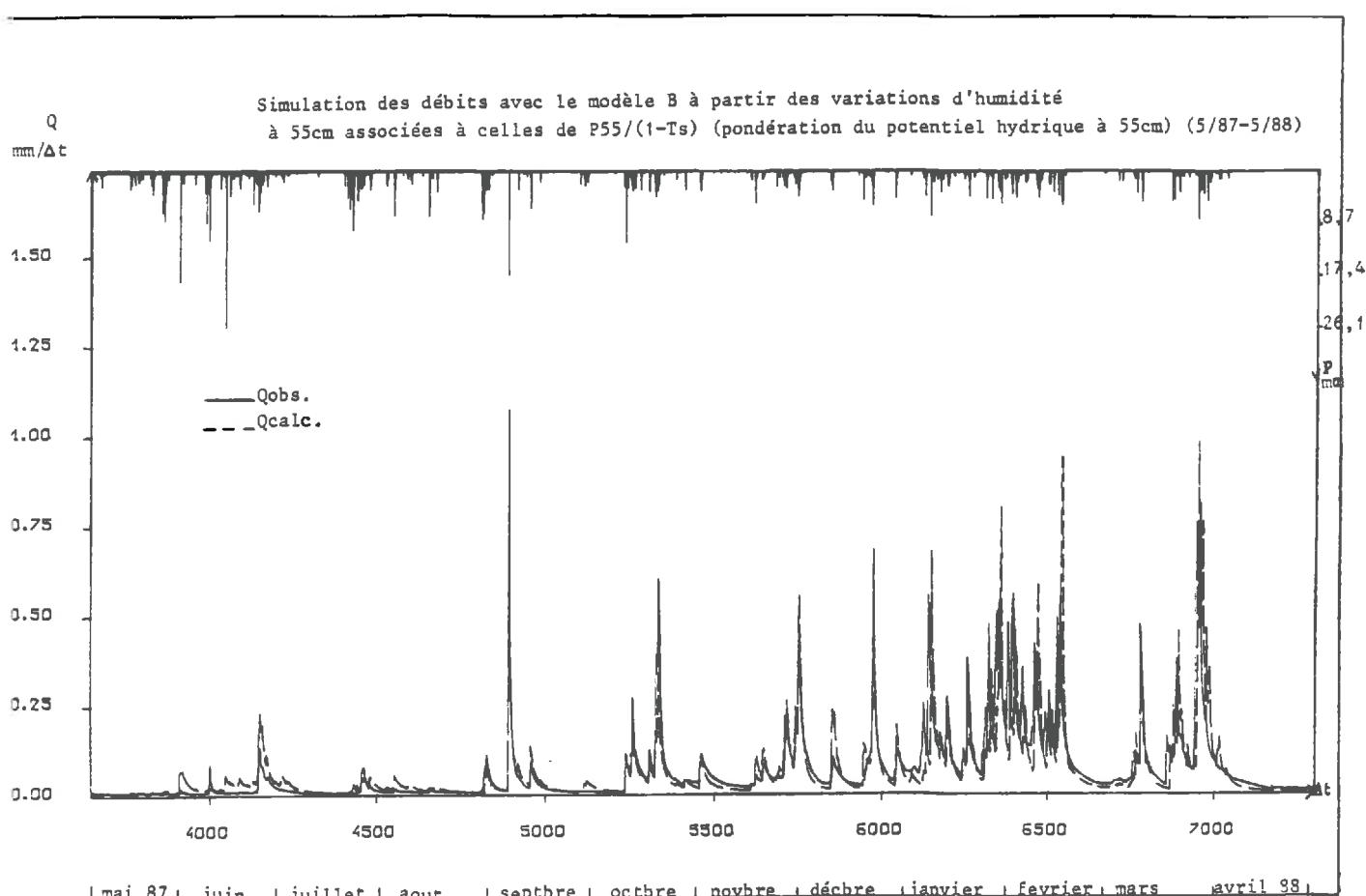
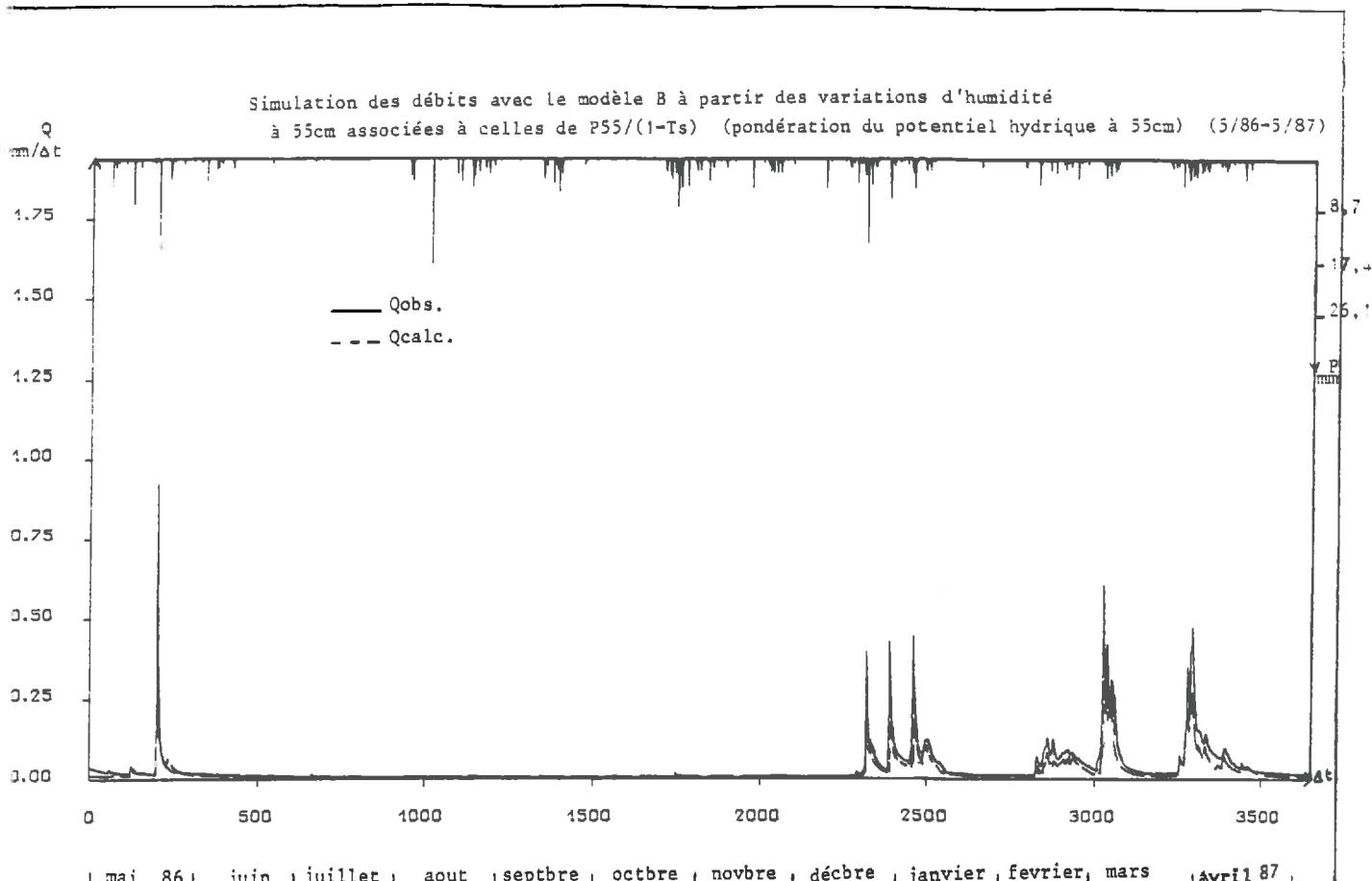
**VII.4.d - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm  
associée aux essais de pondération du potentiel hydrique à 55 cm**

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de P55\*H55 (pondération du potentiel hydrique à 55cm)  
(5/86-5/87)



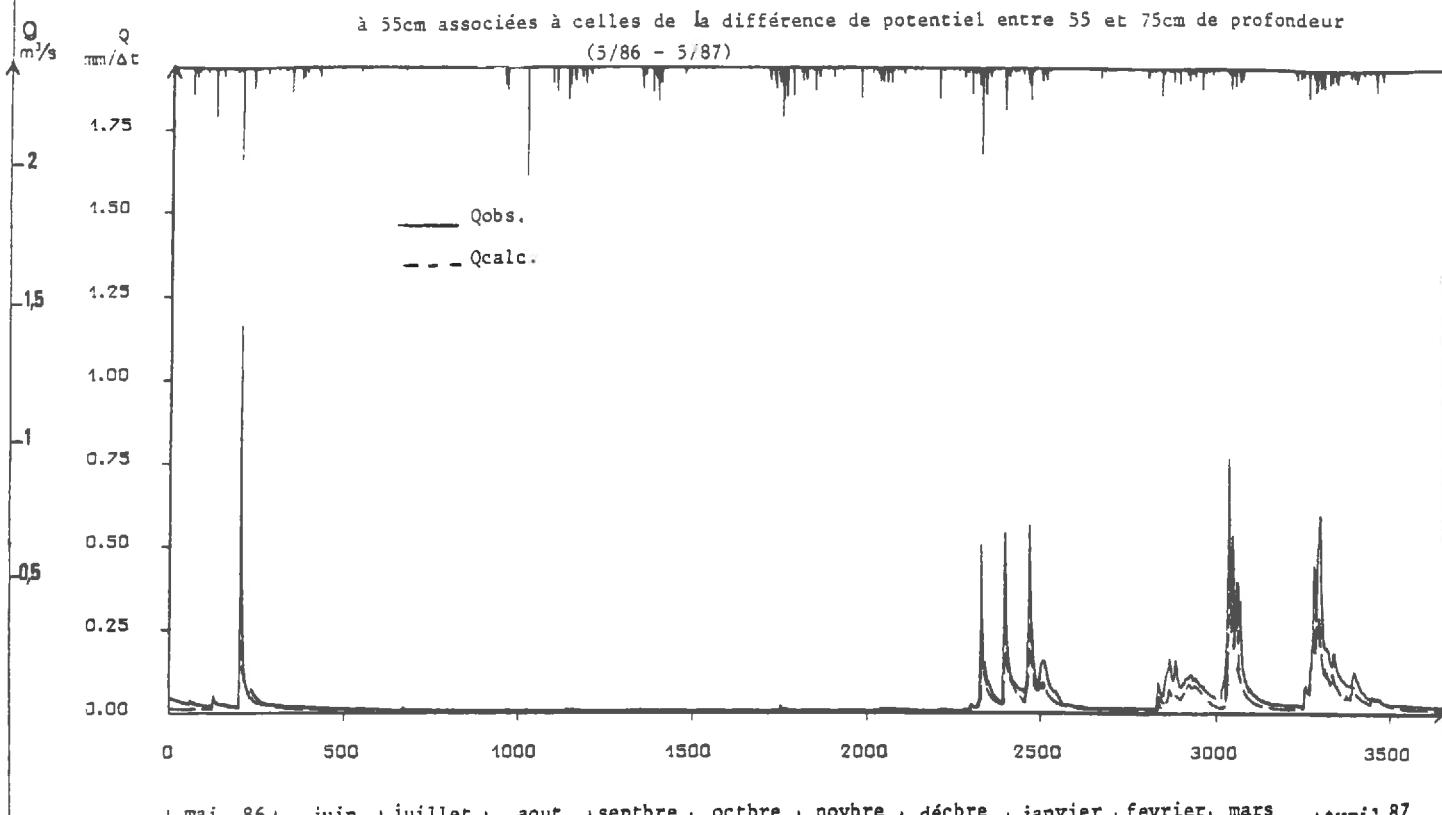
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de P55\*H55 (pondération du potentiel hydrique à 55cm)  
(5/87-5/88)





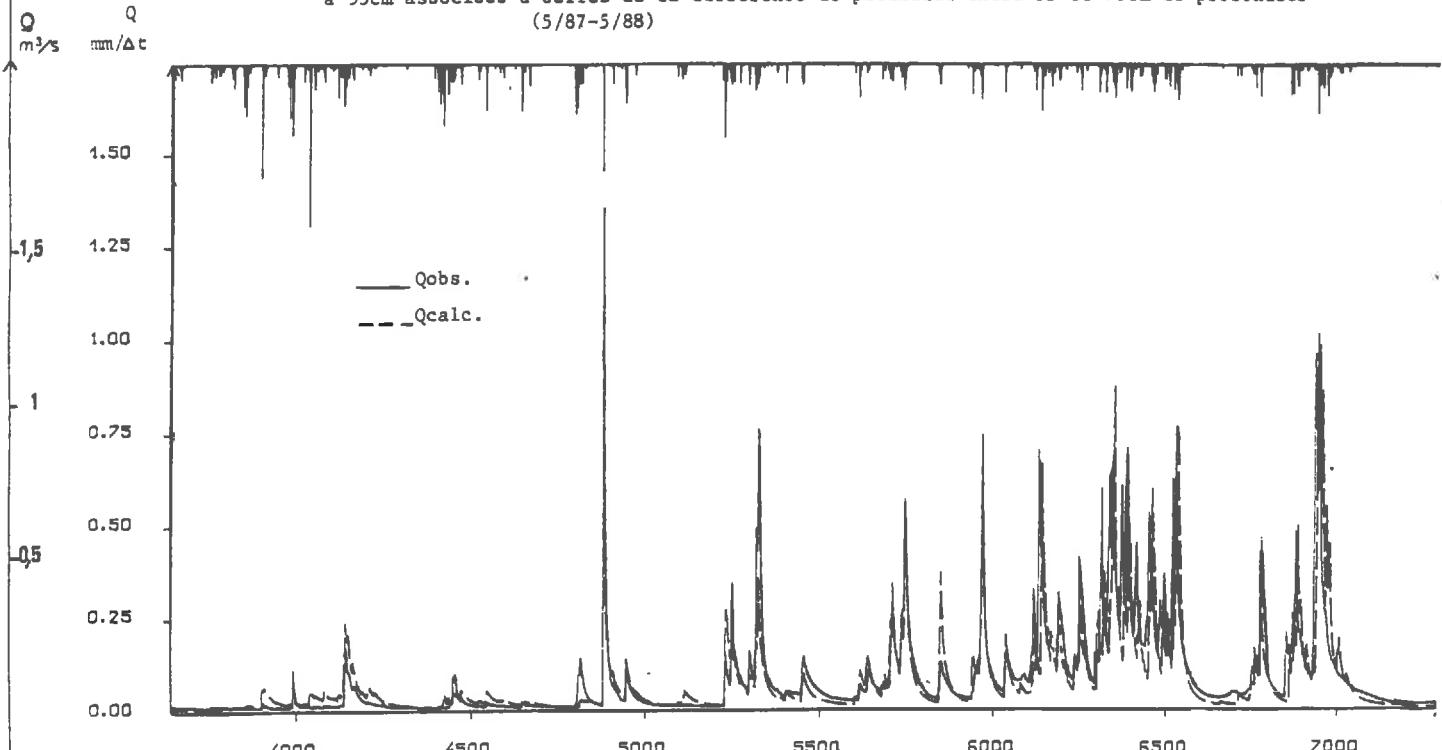
**VII.4.e - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm associée aux différences de potentiel à différentes profondeurs**

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de la différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur  
(5/86 - 5/87)



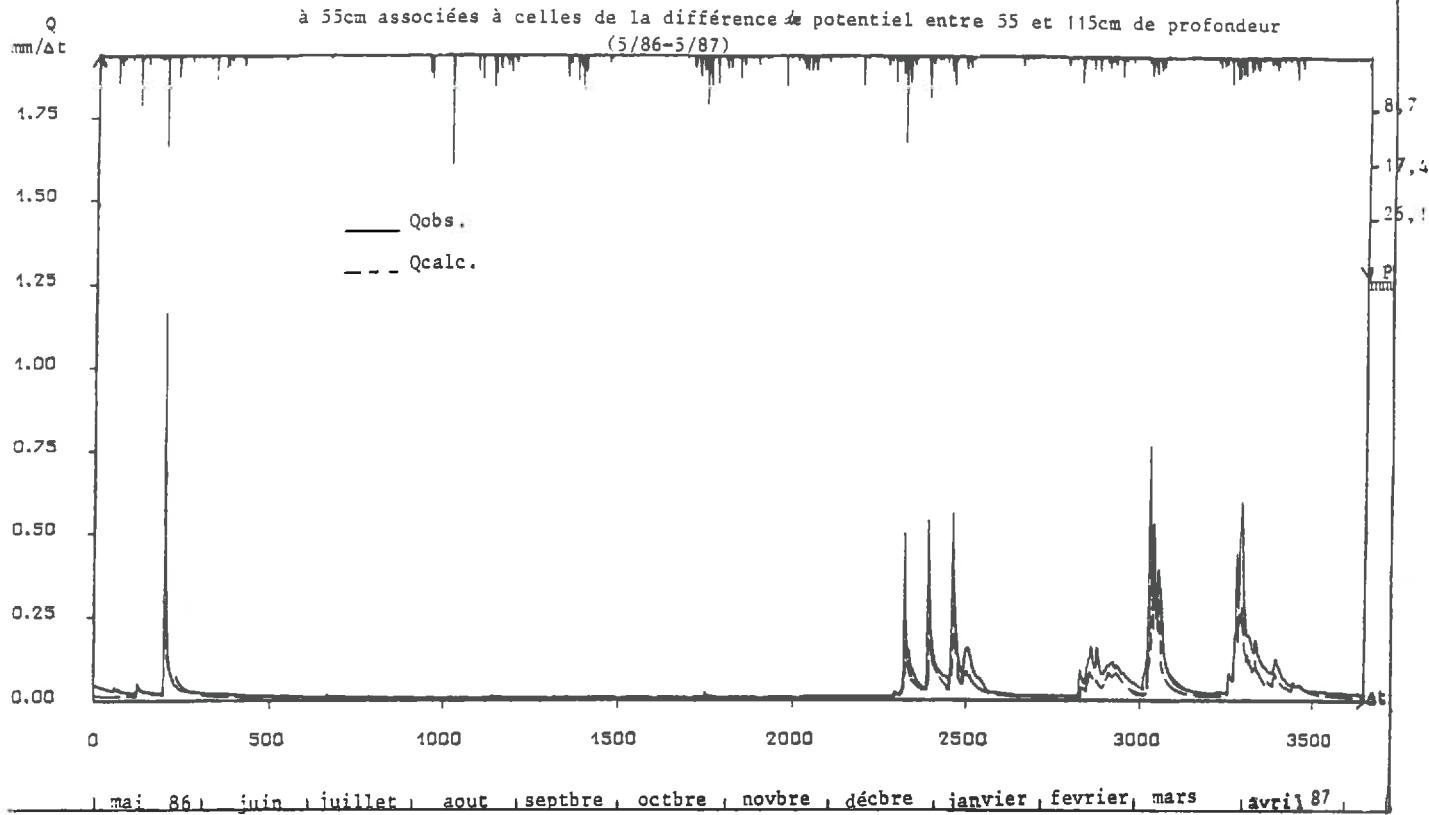
mai 86 | juin | juillet | aout | septembre | octobre | novembre | décembre | janvier | février | mars | avril 87

Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de la différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur  
(5/87-5/88)

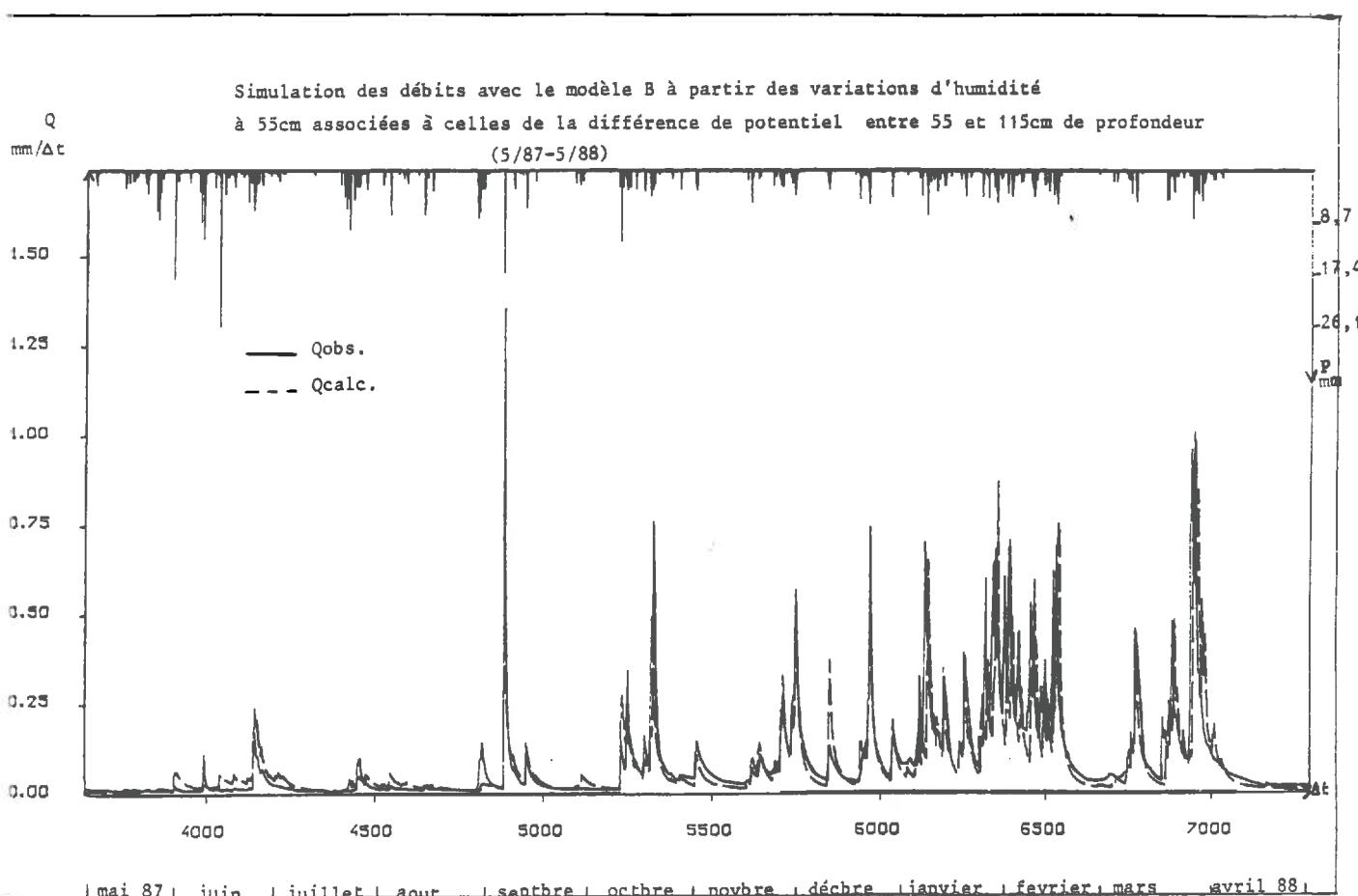


mai 87 | juin | juillet | aout | septembre | octobre | novembre | décembre | janvier | février | mars | avril 88

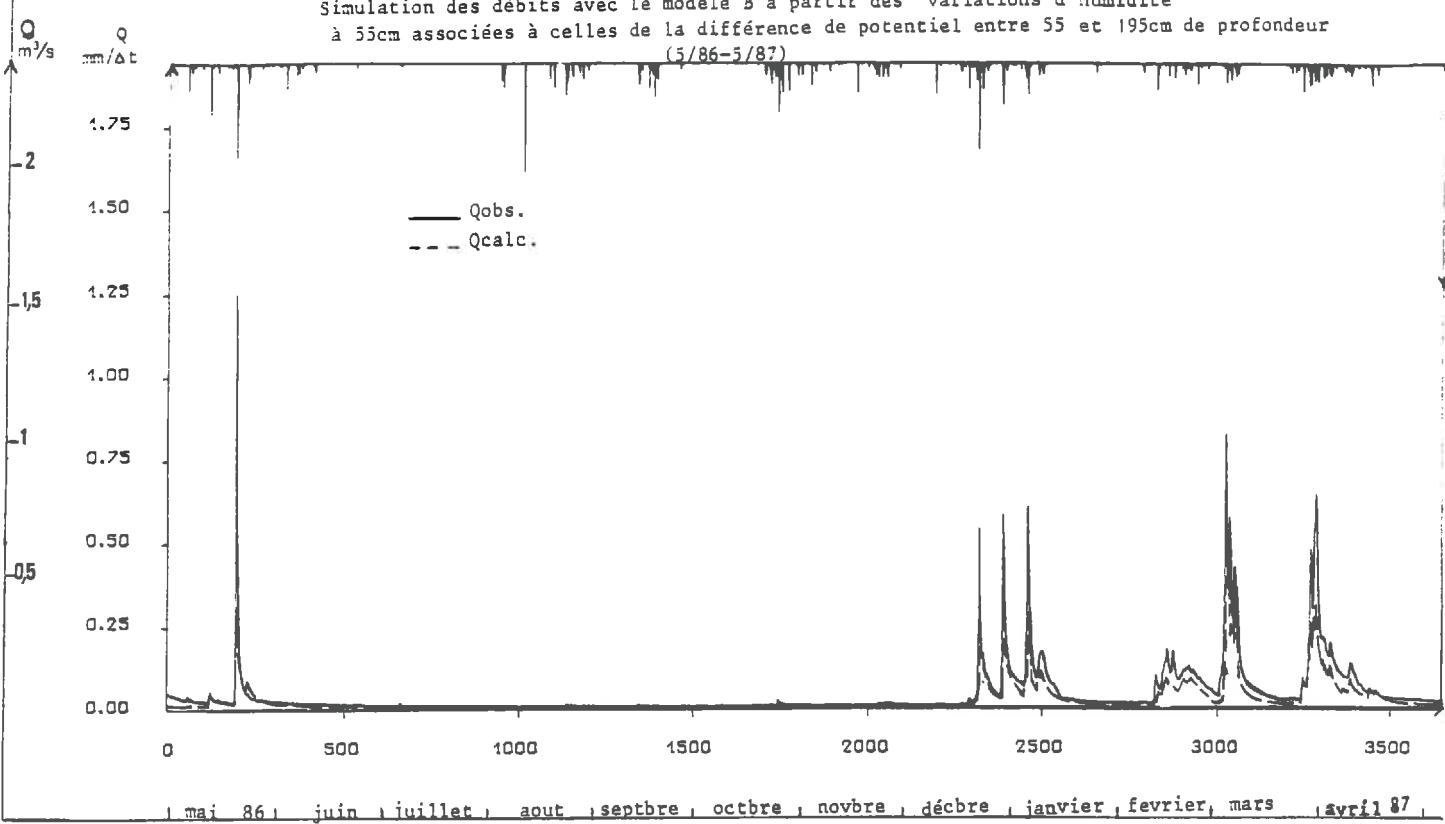
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de la différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur  
(5/86-5/87)



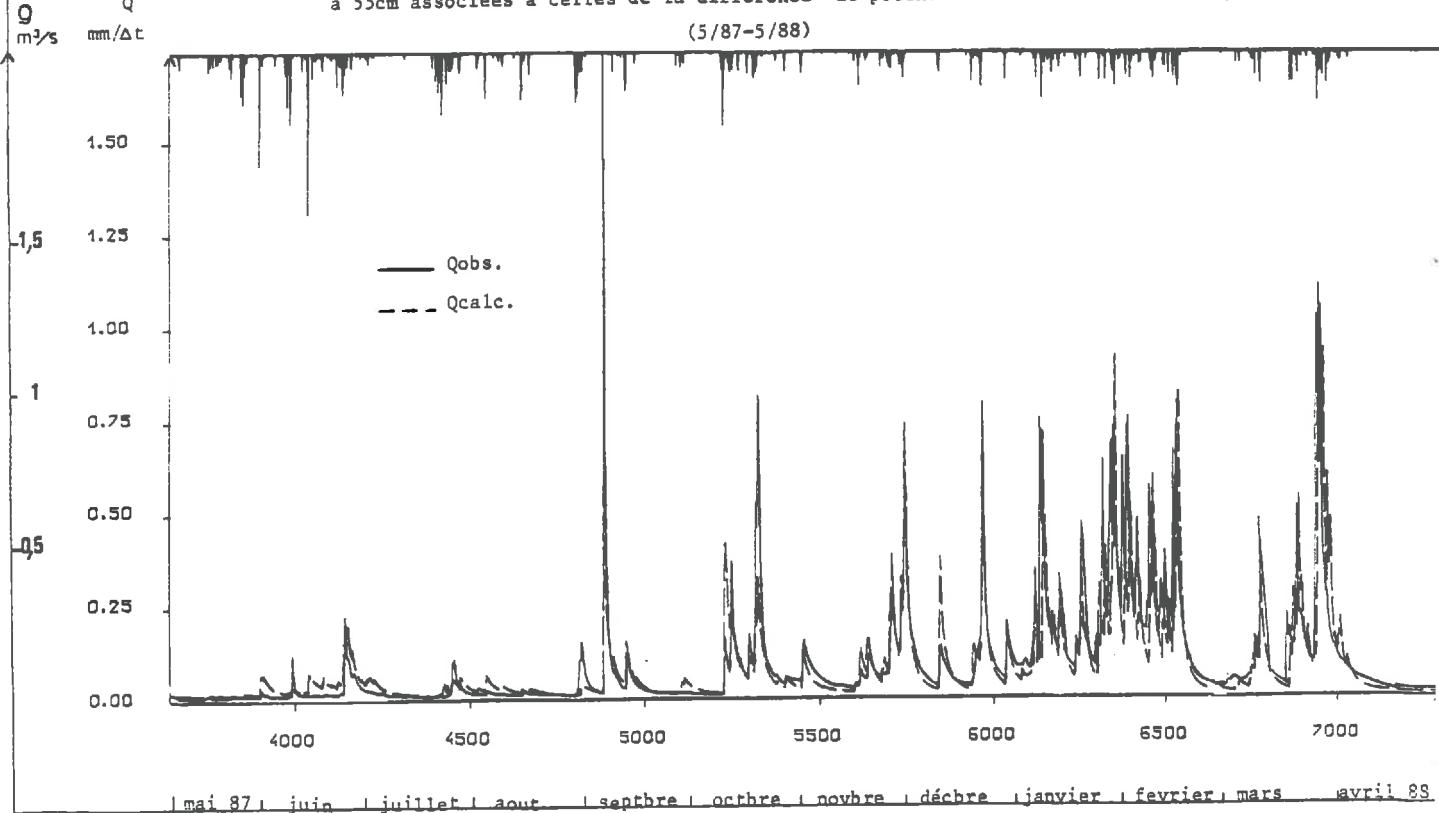
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de la différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur  
(5/87-5/88)



Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de la différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur  
(5/86-5/87)



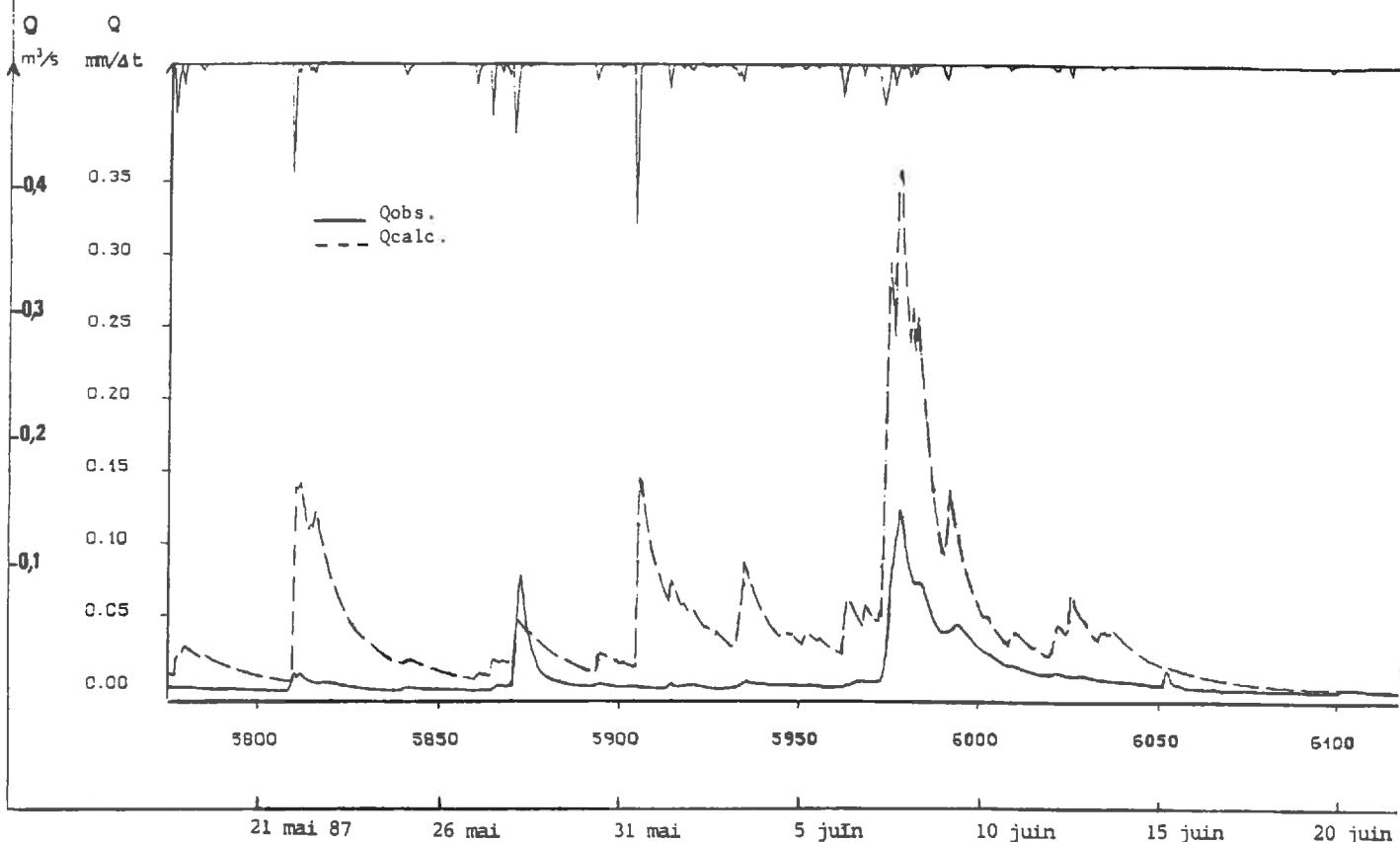
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité  
à 55cm associées à celles de la différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur  
(5/87-5/88)



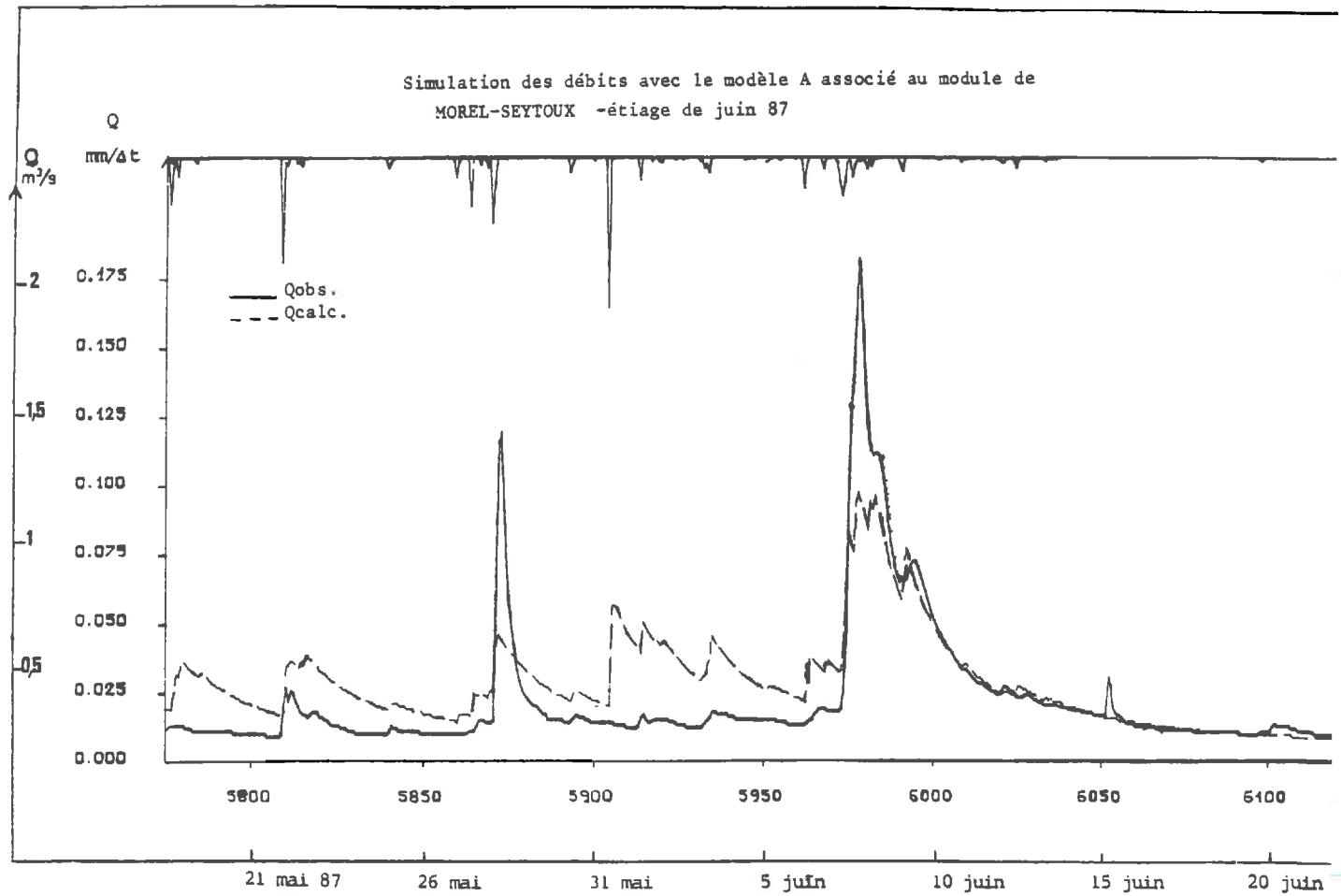
**VII.5 - Simulation avec le modèle A seul et associé au module de MOREL-SEYTOUX**

**a - de l'étiage de juin 87**  
**b - de la crue de septembre 87**

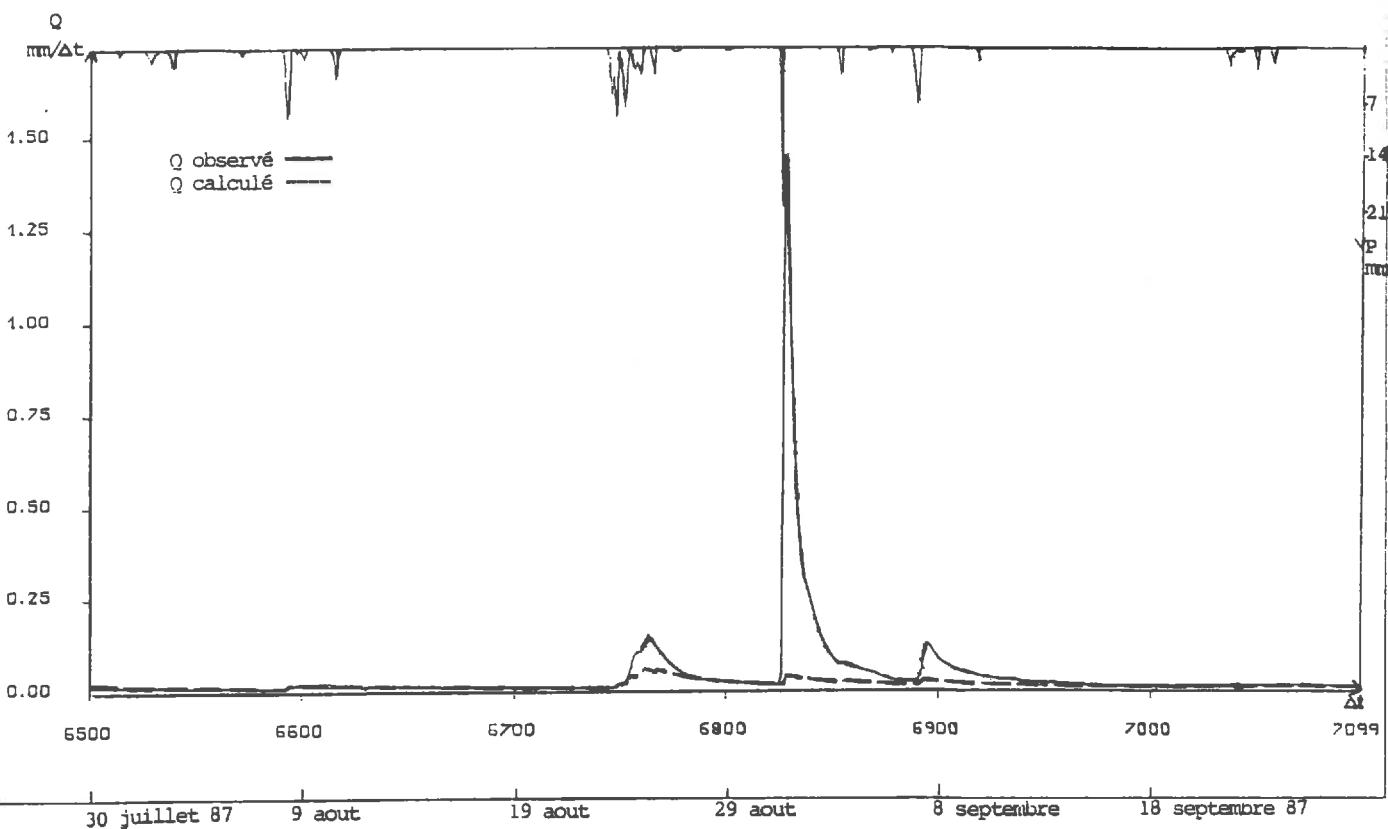
Simulation des débits avec le modèle A -étiage de juin 87



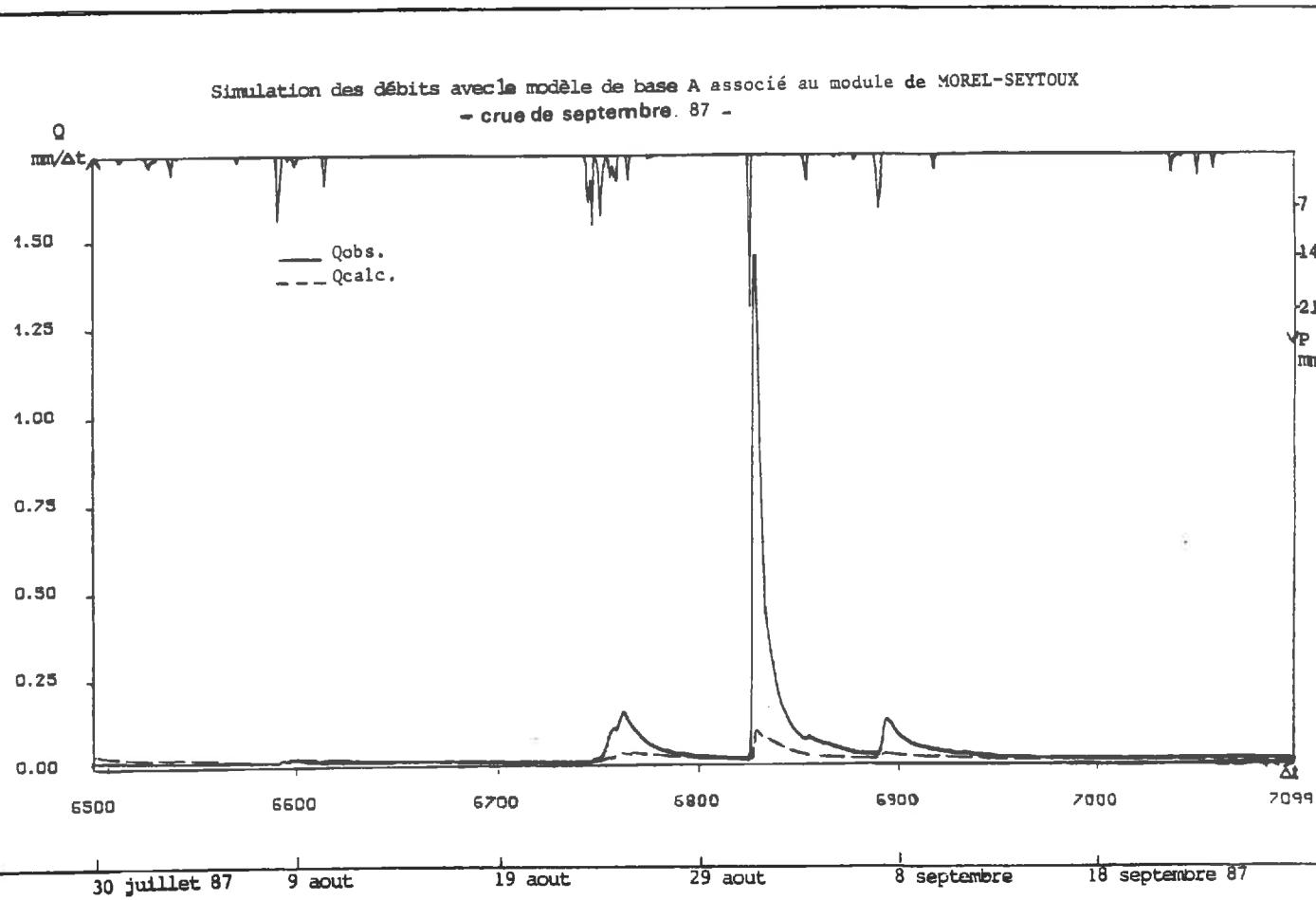
Simulation des débits avec le modèle A associé au module de  
MOREL-SEYTOUX -étiage de juin 87



Simulation des débits avec le modèle de base A - crue de septembre 87



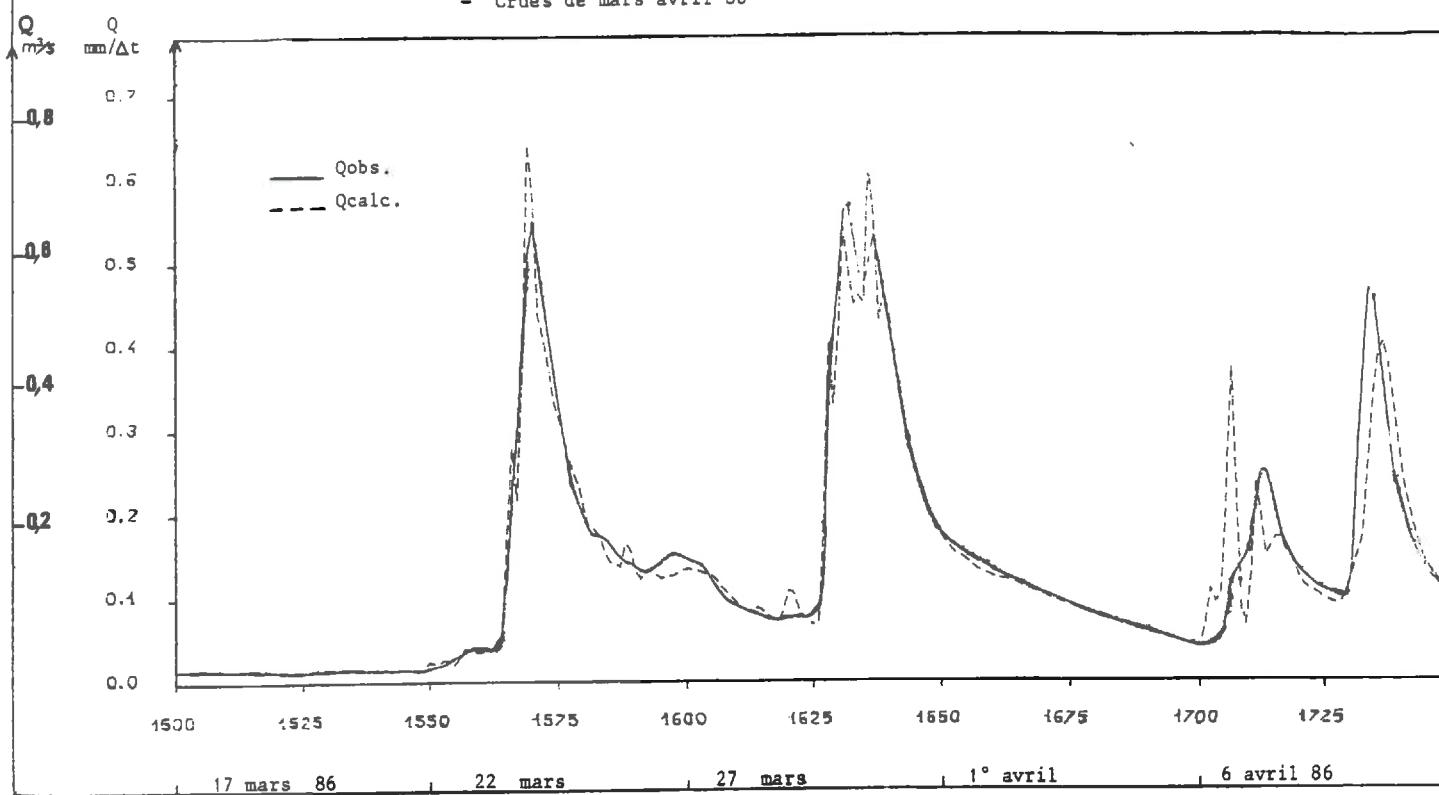
Simulation des débits avec le modèle de base A associé au module de MOREL-SEYTOUX  
- crue de septembre 87 -



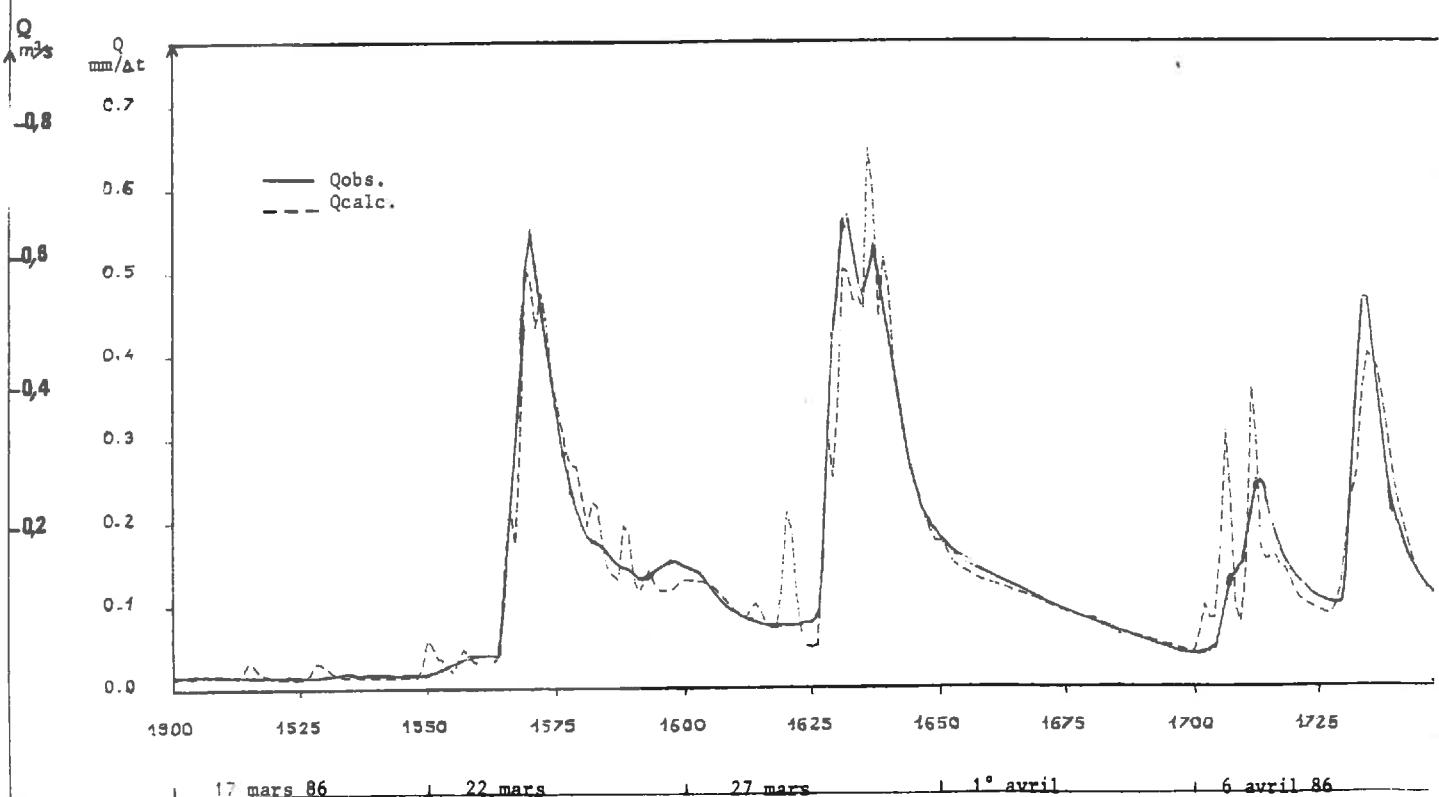
**VII.6 - Prévision des débits avec les modèles de base A et B  
avec correction des erreurs**

- a - crues de mars-avril 86**
- b - crue de mai 86**
- c - crue de février 87**
- d - crue d'avril 87**

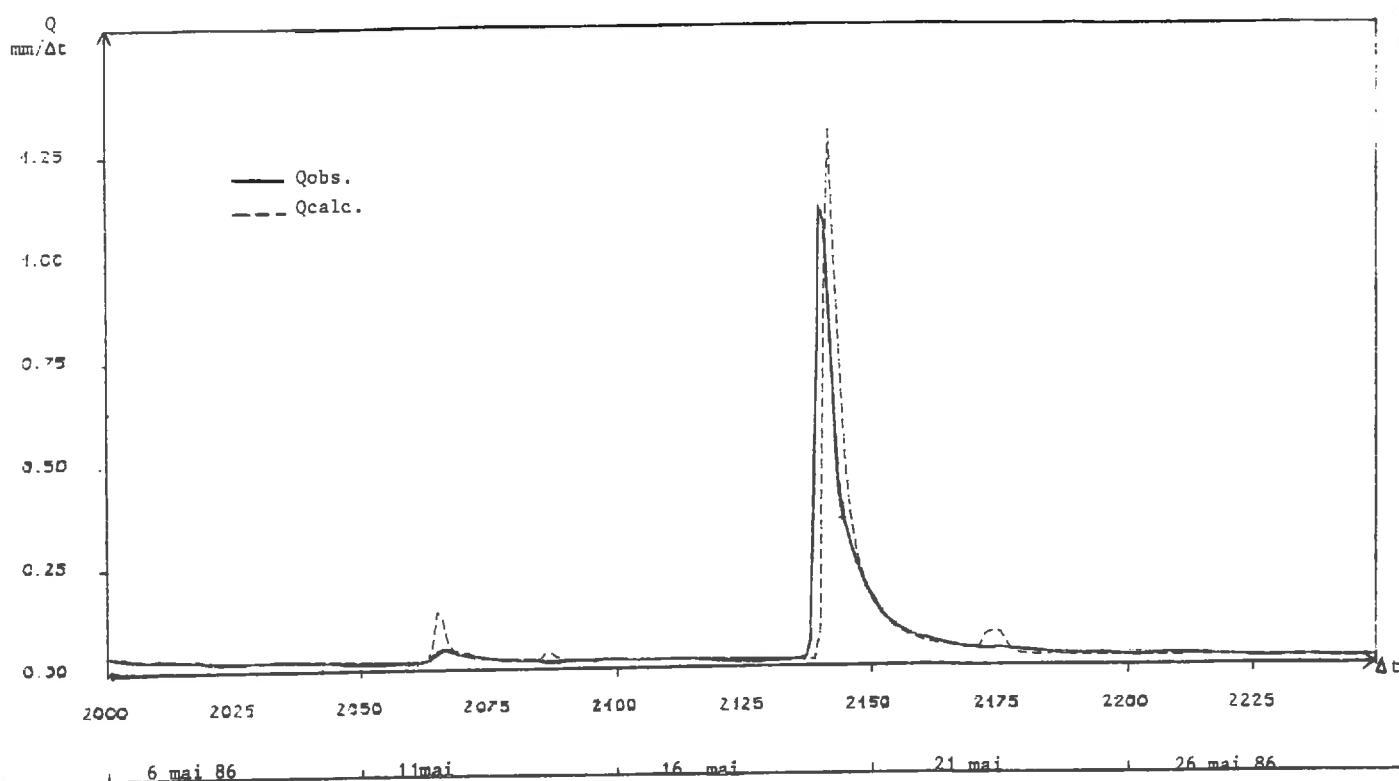
Prévision des débits avec le modèle  $\beta$  + correction des erreurs  
- Crues de mars-avril 86 -



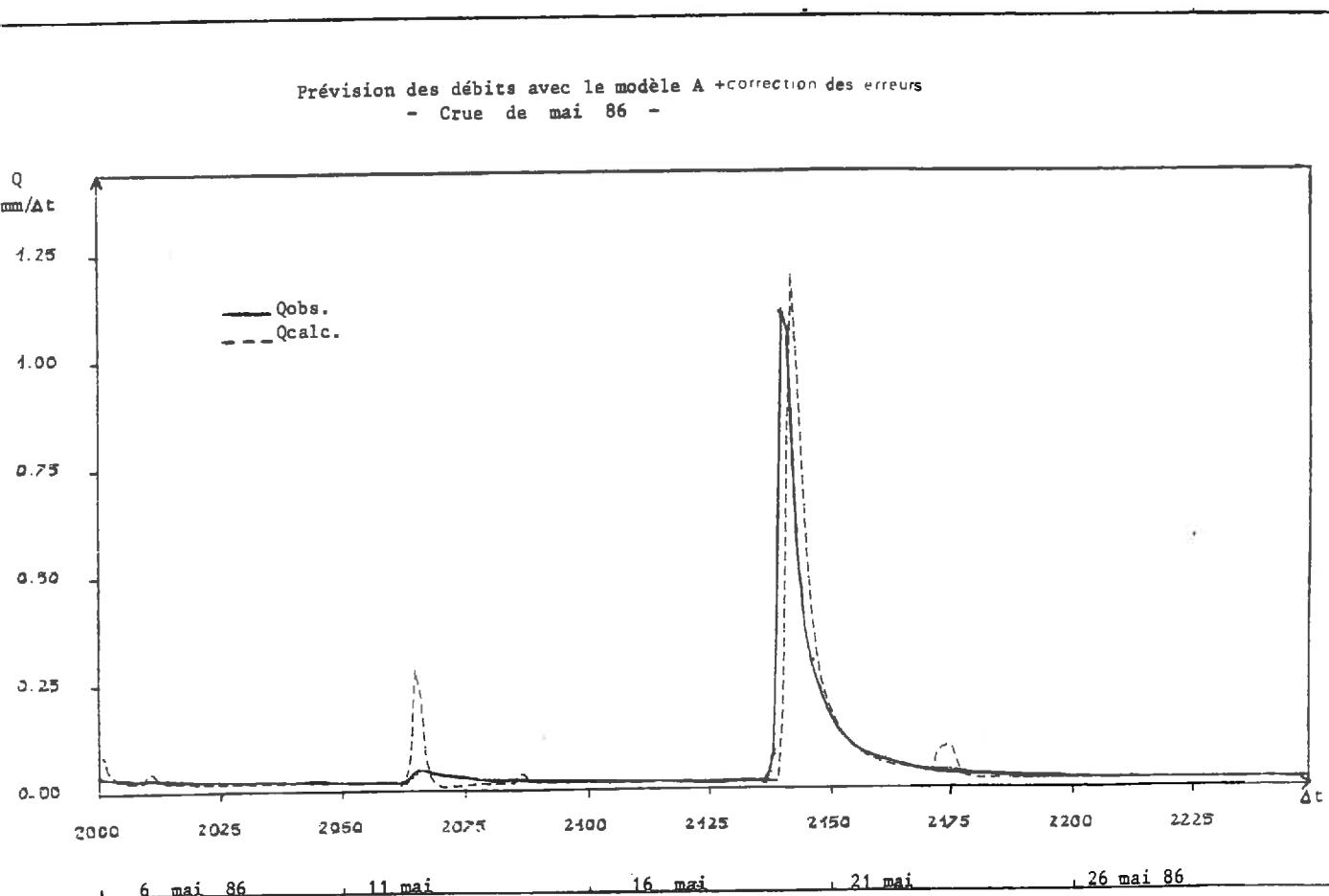
Prévision des débits avec le modèle A + correction des erreurs  
- Crues de mars-avril 86 -



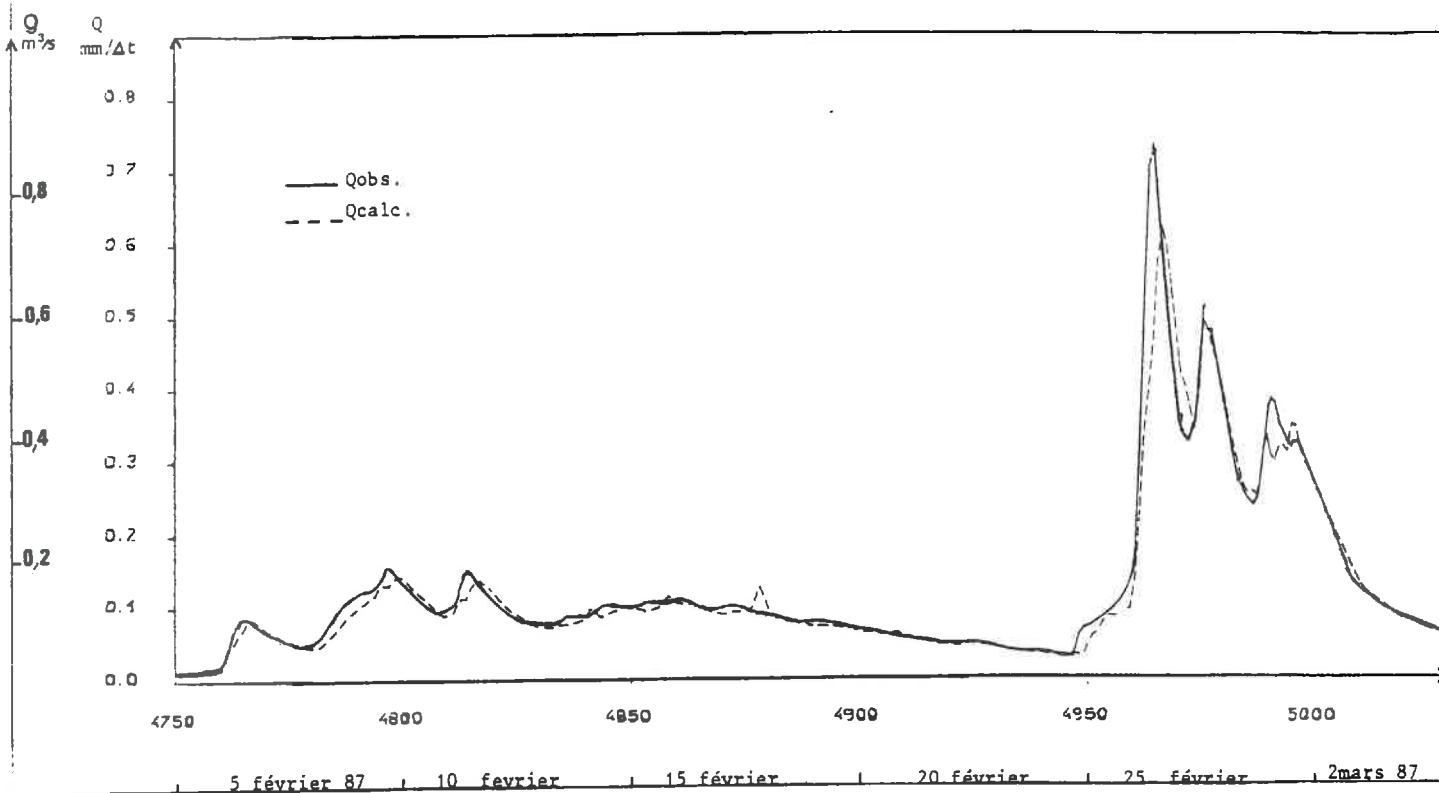
Prévision des débits avec le modèle B + correction des erreurs  
- Crue de mai 86 -



Prévision des débits avec le modèle A + correction des erreurs  
- Crue de mai 86 -



Prévision des débits avec le modèle B + correction des erreurs  
- Crue de février 87 -



Prévision des débits avec le modèle A + correction des erreurs  
- Crue de février 87 -

