

UNIVERSITE de PARIS-SUD

CENTRE d' ORSAY

THESE

Presentée
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 ROSENBROCK	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	

réservoirs (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	108
c - exemples de profils de potentiel incohérents	109
IV.4 - chroniques des différences de potentiel à différentes profondeurs (5/86-5/88)	113

<u>Annexe V - Traitement des données</u>	119
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	133
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	137
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 ROSENBROCK

141

Annexe VII - Dessins des chroniques de pluie et de débit
(observe et calcule)

147

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

149

a - à partir des données d'ETP PENMAN

b - à partir des données de températures journalières

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

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

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

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

VII.4 - simulation des débits avec le modèle B en introdui-
sant plusieurs variables

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

VII.5 - simulation avec le modèle A seul et associé au mo-
dèle de MOREL-SEYTOUX

211

a - de l'étiage de juin 87

b - de la crue de septembre 87

VII.6 - prévision avec les modèles A et B avec correction
des erreurs

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 genèse des crues du Grand Morin et juger de l'efficacité de réservoirs d'écrêtement des crues.

Ce bassin est subdivisé en sous-bassins emboîtés, 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 emboîtés :

- 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

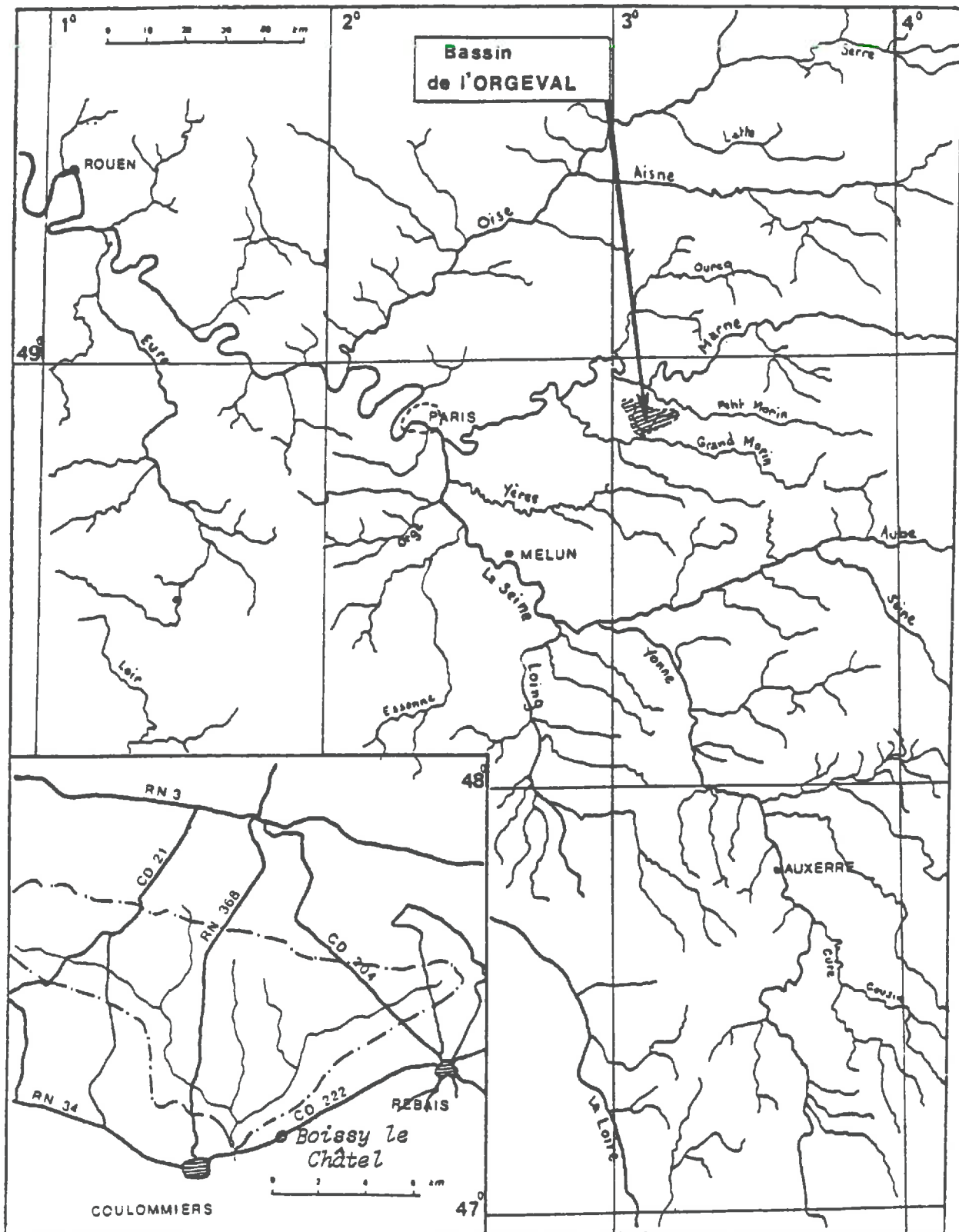


FIG N ° 76

BASSIN VERSANT DE L'ORGEVAL

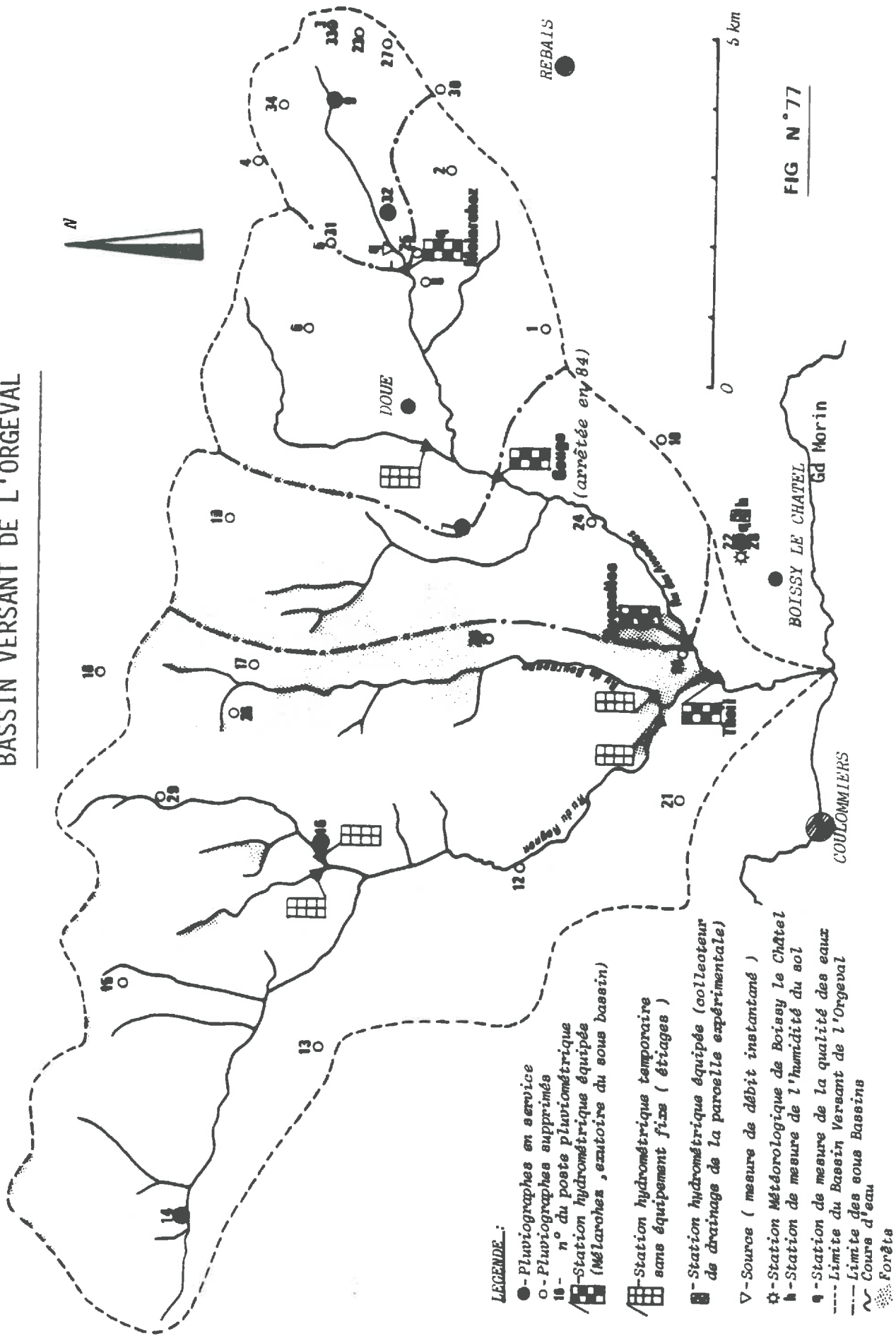


FIG N°77

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 km² 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 km² 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 (Aquitaniens). 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

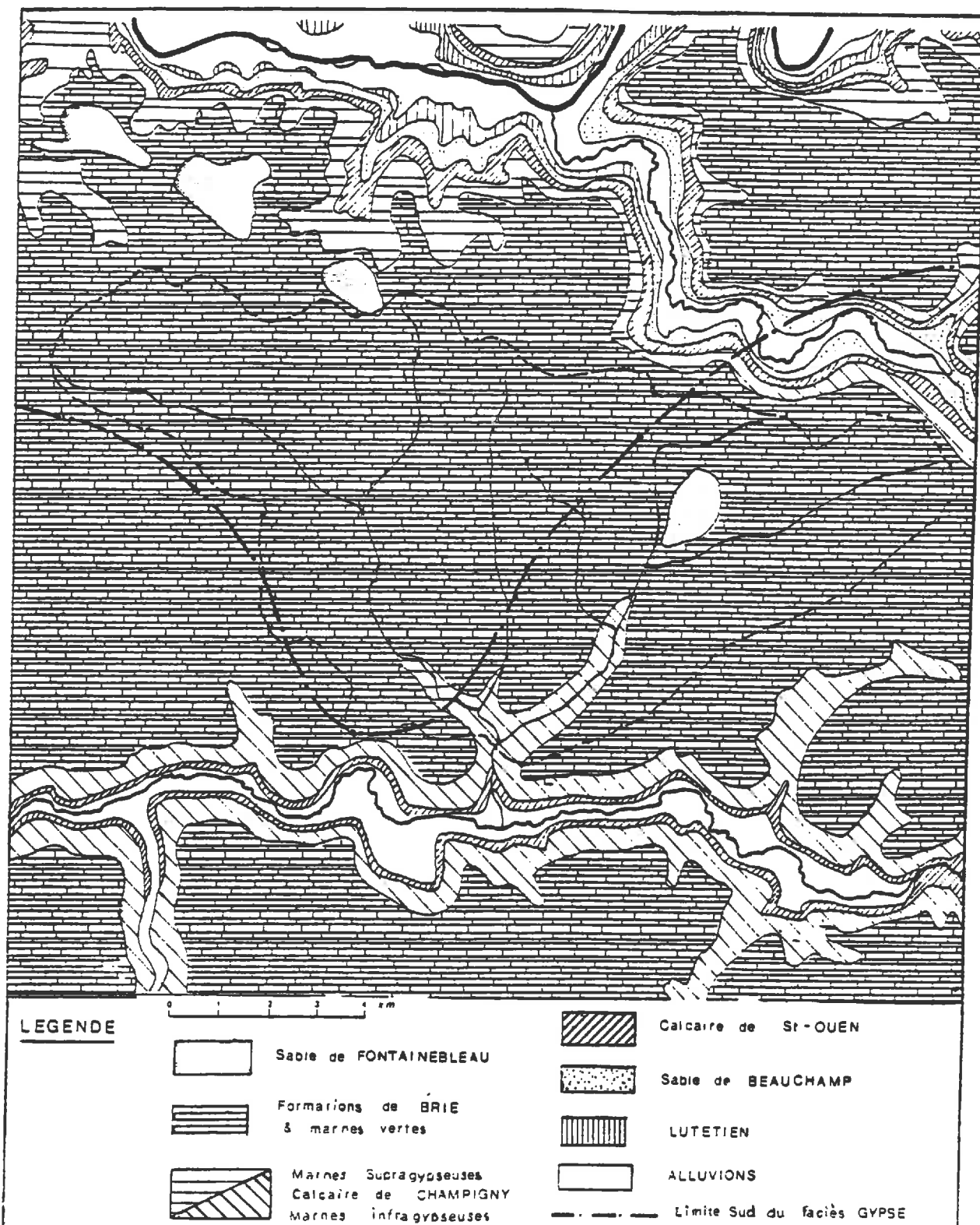


FIG N° 78

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 aujets 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 limnigraphe à flotteur, 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 m². 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.

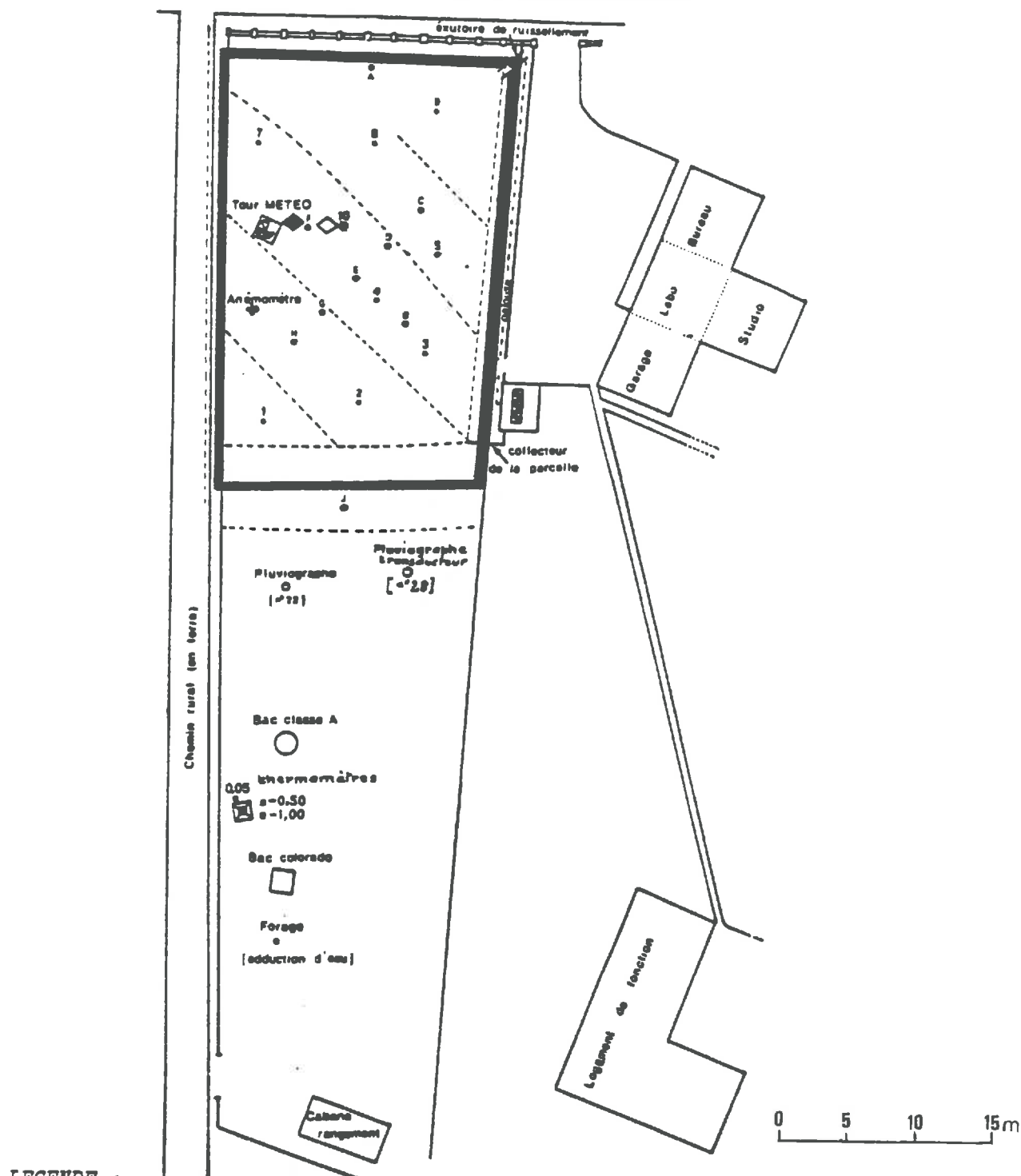
L'infiltration est récupérée par un réseau de drainage de type poterie enterrée. Les drains situés à environ 70 centimètres de profondeur recueillent une partie de l'eau infiltrée lorsque le sol est aéré et rabattent la nappe à leur niveau lorsque le sol est saturé.

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 dixièmes 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 humidimétriques 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



LEGENDE :

- ◇-Sondes capacitatives (humidité du sol)
- ◆-Chaîne de mesure par tensiomètres et capteurs de pression (potentiel hydrique)
- Piézomètres , °-identification
- Tubes de sonde neutronique , 10 -identification
- Réseau de drain
- Banquette délimitant le B.V superficiel de la parcelle expérimentale drainée (615m²)
- Abri Météorologique
- Chambre de mesure sur le collecteur (débit-qualité des eaux)

A N N E X E I I

**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

II.1 - L'humidimètre SOLO 40

II.1.a - Description de l'appareil de mesure

Le module neutron comporte :

- . une source radioactive d'Americium-Beryllium de 30 μ Ci émettant des neutrons d'énergie moyenne égale à 5 Mev ;
- . un détecteur de neutrons lents (3 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 prétemps 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) + câble 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 chaine de mesures tensiométriques

- a- Description de l'appareil de mesure**
- b- Programmation de la chaine 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 jauges 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 m A ;

- 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. Travaillant 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-e₁) ;

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 I I I

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

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C JMB.BAS: C
C PROGRAMME DE TRANSFERT HUNTER --->MICRO C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
```

```
10 CLOSE :CLS
20 LOCATE 8,10 :PRINT"PROGRAMME EFFICACE DE RECEPTION DE FICHIERS HUNTER"
30 LOCATE 10,12:PRINT"REGLER PARAMETRES DE COMMUNICATION SUR HUNTER:"
40 LOCATE 12,12:PRINT"Rate-4800 Prtcl-Xon/Xoff Pty-8bits LF-Y"
50 LOCATE 13,17:PRINT" Autres Parametres:n,off,no,0"
60 '*****Initialisation des parametres de communication
70 OPEN"COM1:4800,N,8,1,RS,CS,DS,CD"AS#1
80 PRINT:PRINT:PRINT:INPUT"NOM DU FICHIER SUR PC:",N$
90 OPEN N$ FOR OUTPUT AS #2
100 XOFF$=CHR$(19):XON$=CHR$(17)
110 PRINT"TAPER SUR HUNTER:Send Nom du fichier A (ENTER) "
120 IF EOF(1) THEN 120
130 '*****Gestion Xon/Xoff
140 IF LOC(1)<200 THEN 170
150 PRINT#1,XOFF$;
160 GOTO 250
170 IF LOC(1)>50 THEN 250
180 PRINT#1,XON$;
190 '*****Controle fin de fichier
200 FOR I=1 TO 2000
210 IF NOT EOF(1) THEN 250
220 NEXT I
230 PRINT "FIN DE FICHIER":GOTO 280
240 '*****Ecriture et impression du fichier
250 D$=INPUT$(1,#1):IF ASC(D$)=0 THEN 250:'FILTRAGE DU CARACTERE DE CONTROLE NUL
260 PRINT D$;:PRINT #2,D$;
270 GOTO 140
280 END
```

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

[illegible]

```

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

```

[illegible]

```

DIMENSION K1(10,5),K2(10,5),L1(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


```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CH.FOR:
PROGRAMME DE DESSIN DES CHRONIQUES D'HUMIDITE ET DE POTENTIEL HYDRIQUE
A DIFFERENTES PROFONDEURS
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
large
DIMENSION H(30,1000),S(7,1000),P(1000)
DIMENSION ZN(1000),PORO(30)
DIMENSION IX(30),MM(12)
DIMENSION ZH(30),ZS(7),A(4),AS(4)
CHARACTER *2 TYP
OPEN (108,FILE='PRN')
OPEN (100,FILE='SOLO.DAT',STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
OPEN (101,FILE='TENS6.DAT',STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
OPEN (103,FILE='PJ.DAT',STATUS='OLD')
OPEN (106,FILE='NAPPE.DAT',STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
00 FORMAT(6X,3I2,2X,15I3)
01 FORMAT(13(I3,1X))
03 FORMAT(20F4.1)
04 FORMAT(80X)
06 FORMAT(20I4)
15 FORMAT(14X,15I3)
17 FORMAT(' humidite volumique en % ')
20 FORMAT(' potentiel de succion en cm ')
40 FORMAT(' PLUIE JOURNALIERES EN l/10mm')
00 FORMAT(1H ,15F5.1)
01 FORMAT(1H ,7F10.2)
02 FORMAT(1H ,10F8.2)
03 FORMAT(1X,15F4.1)
15 FORMAT(' DONNEES PIEZOMETRIQUES EN CM ')
SUITE PROGRAMME PRINCIPAL
DATA MM/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
DATA ZH/15.,25.,35.,45.,55.,65.,75.,85.,95.,105.,115.,125.,
&135.,145.,155.,165.,175.,185.,195.,205.,215.,225.,235.,245.,
&255.,265.,275.,285.,295.,305./
DATA ZS/195.,155.,135.,115.,75.,55.,25./
DATA PORO/39.6,38.8,39.2,36.5,36.5,36.5,36.5,36.,34.6,34.6,
&37.3,38.5,39.2,39.2,38.6,38.3,39.45,40.6,39.9,39.2,38.85,38.5
&,38.65,38.8,38.65,38.5,38.65,38.8,39.3,39.8/
A(4)=0
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
INITIALISATION DES TABLEUX UTILISEES
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
DO 1 N=1,1000
DO 2 L=1,30
H(L,N)=-99.9
CONTINUE
DO 3 L=1,7
S(L,N)=-999.
CONTINUE
ZN(N)=-999.
CONTINUE
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
LECTURE DES DONNEES BRUTES DE LA SONDE A NEUTRON(FICHER:SOLO.DAT)
ET CALCUL DE L'HUMIDITE VOLUMIQUE(TABLEAU:H(30,1000))
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
GOTO 66
DO 4 N=1,1000
READ(100,100,END=6)LJ,LM,LA,(IX(I),I=1,15)
READ(100,115,END=6)(IX(I),I=16,30)
IF(LA.EQ.85.OR.LA.EQ.86.AND.LM.LT.3.OR.LA.EQ.86.AND.LM.EQ.3
&.AND.LJ.LT.3)GO TO30
READ(100,104)

```

```

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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C LECTURE DES DONNEES BRUTES DES TENSIOMETRES(FICHER:TENS6.DAT) C
C ET CALCUL DU POTENTIEL TOTAL(TABLEAU:S(7,1000)) C
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C LECTURES DES DONNEES PIEZOMETRIQUES C
C (FICHER:NAPPE.DAT-->TABLEAU:ZN(1000)) C
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
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)
```

[illegible]

```

      IF(TYP.EQ.'HP') G(1)=-305.
      IF(TYP.EQ.'SP') G(1)=-195.
      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 PROGRAME 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.1.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

```

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

```

```

100 '*****CREATION D'UN FICHIER DE DONNEES TENSIOMETRIQUES*****'
110 INPUT"VOM DU FICHIER DE DONNES =";DON$
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

```

```

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

```

```

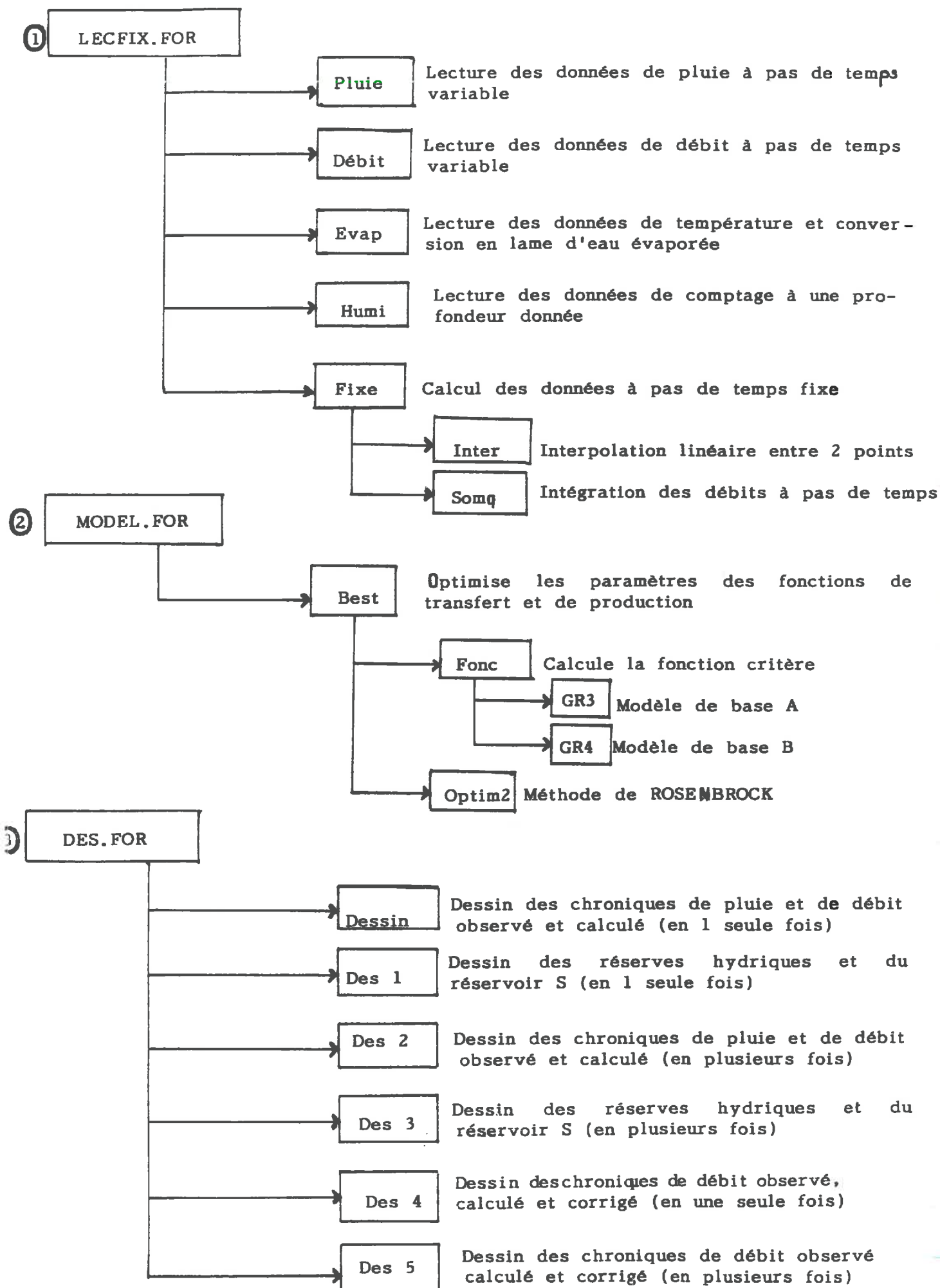
DIMENSION J1(5),J2(2),J3(6)
100 FORMAT(17X,5(5X,I3),2(6X,I3))
200 FORMAT(1X,6(I3,6X))
300 FORMAT(18X,5(5X,I3),2(6X,I3))
400 FORMAT(2X,6(I3,6X))
1000 FORMAT(5(I3,1X),2(I3,1X),6(I3,1X))
OPEN(1,FILE='TM',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='T1',STATUS='NEW')
DO 10 I=1,10
READ(1,100) (J1(L),L=1,5),(J2(L),L=1,2)
READ(1,200) (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 ROSENBROCK
 - 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 filtré 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

— 47 —

C

C

C

c

C

— — — — —

```
READ (LEC,100)IA,IM,IO,(J(I),I=1,16)
```



```

      IF(KREP.EQ.1) THEN
        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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME PRINCIPAL CALCULE LES DEBITS ET LES PLUIES A PDT FIXEC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C RECHERCHE LE DEBUT DES DONNEES COMMUNES POUR P ET Q C
C RECHERCHE LES VALEURS INITIALES DE P,Q,E,H C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE FIXE(IP,ITP,NP,IQ,ITQ,NQ,IE,NE,I0,IDT,N)
COMMON/ET0/QO(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+IDT
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,LP)
  IF(LP.EQ.1) I1=I2
  IF(LP.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*NB
  IF(IS.LT.375) K1=2*NB
  IF(IS.GT.792) K1=2*(NB+1)
  IF(IS.GE.375.AND.IS.LE.792) K1=2*NB+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)*IDT)/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

```



```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C  SOUS-PROGRAMME QUI INTEGRE LES DEBITS SUR UN PAS DE TEMPS FIXE      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C  SORTIE: LAME D'EAU ECOULEE EN MM                                     C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
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 ROSENBROCK
c1 - sous-programme d'exploration d'une grille de recherche

— () —

[illegible]

```

C OPTIMISATION DES PARAM DES FCT TRANSF OU PRODUC
  WRITE(*,'(A)')' PERIODE DE MISE EN ROUTE (CALAGE)=1,NON=0?'
  READ(*,*)JREP
  CALL BEST (XI,XS,XF)
  IF(IREP.EQ.0) GOTO 1
  WRITE(*,'(A)')' PERIODE DE MISE EN ROUTE (CONTROLE)=1,NON=0?'
  READ(*,*)KREP
  IC=IC+1
  CALL FONC(XF,FC,XF)

```

```

WRITE(108,'(A)') ' PERIODE DE CONTRÔLE'
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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME QUI OPTIMISE LES PARAM DES FCT TRANSF OU PRODUC C
C IL APPELLE .LES SOUS-PRGR OPT2 C
C LE SOUS-PRGR FONC C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE BEST(XI,XS,X)
DIMENSION X(8),Y(8),XI(8),XS(8)
COMMON/ET0/QO(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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME QUI -EST APPELE PAR BEST C
C -CALCULE QC AVEC LES MODELES GR3,GR4 C
C -CALCULE LA FCT CRITERE C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE FONC(Y,FC,X)
COMMON/ET0/QO(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)
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
        B1=B(I,J)**2
      9 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.FOC)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

```
C SOUS-PROGRAMME QUI OPTIMISE LES PARAM DES FCT TRANSF OU PRODUC C
C IL APPELLE .LE SOUS-PRGR CHEMIN C
C N EST LE NOMBRE DE PARAMETRES <= 6,XN VALEURS MIN DES PARAMS, ET XX C
C VALEURS MAX DES PARAMS C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE CREUX(XN,XX,XC,N,ZF)
DIMENSION XN(*),XX(*),XC(*)
DIMENSION A(6),B(6),DX(6),X(6)
100 FORMAT(1X,A,F8.3,1X,A,6(F8.3,1X))
NB DE MAILLES
FM=4.*FLOAT(INT(ZF/FLOAT(N)))
INCREMENT SUR LES PARAMETRES
DO 10 I=1,N
A(I)=0.75
B(I)=1.-A(I)
10 CONTINUE
CALCUL DU PAS D'ESPACE ET DES VALEURS INITIALES DES PARAMETRES
DO 20 I=1,N
DX(I)=(XX(I)-XN(I))/FM
XC(I)= 0.5*(XN(I)+XX(I))
20 CONTINUE
CALL FONC(...H,XC)
WRITE (108,100)'1,FCT.CRITERE,H=' ,H,'PARAMETRES=',(XC(I),I=1,N)
DO 30 I1=1,2
X(1)=A(1)*XN(1)+B(1)*XX(1)
C=B(1)
B(1)=A(1)
A(1)=C
IF(N.EQ.1) GOTO 31
DO 40 I2=1,2
X(2)=A(2)*XN(2)+B(2)*XX(2)
C=B(2)
B(2)=A(2)
A(2)=C
IF(N.EQ.2) GOTO 41
DO 50 I3=1,2
X(3)=A(3)*XN(3)+B(3)*XX(3)
C=B(3)
B(3)=A(3)
A(3)=C
IF(N.EQ.3) GOTO 51
DO 60 I4=1,2
X(4)=A(4)*XN(4)+B(4)*XX(4)
C=B(4)
B(4)=A(4)
A(4)=C
IF(N.EQ.4) GOTO 61
DO 70 I5=1,2
X(5)=A(5)*XN(5)+B(5)*XX(5)
C=B(5)
B(5)=A(5)
A(5)=C
IF(N.EQ.5) GOTO 71
DO 80 I6=1,2
X(6)=A(6)*XN(6)+B(6)*XX(6)
C=B(6)
B(6)=A(6)
A(6)=C
CALL CHEMIN(N,X,Dx,XC,H,XN,XX)
80 CONTINUE
71 CALL CHEMIN(N,X,Dx,XC,H,XN,XX)
70 CONTINUE
61 CALL CHEMIN(N,X,Dx,XC,H,XN,XX)
60 CONTINUE
51 CALL CHEMIN(N,X,Dx,XC,H,XN,XX)
50 CONTINUE
41 CALL CHEMIN(N,X,Dx,XC,H,XN,XX)
40 CONTINUE
```

```

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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C PARCOURS DE TOUTES LES BRANCHES DE L'ARBRE C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
  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

— 7 —

C DESSIN DES RESERVES

```
SUBROUTINE DES1(IA,IY,DO)
DIMENSION DO(1),T(2000),Q(2000),X(3),Y(3)
```

C DESSIN DES CHRONIQUES EN PLUSIEURS BOUTS	C
--	---

```

SUBROUTINE DES2(IA,IY,DO,DC,PO)
DIMENSION DO(1),DC(1),PO(1),T(3650),Q(3650),X(3),Y(3)
,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),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)

```



```

      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
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C  DESSIN EN PLUSIEURS BOUTS DES DEBITS CALCULES,OBSERVES,ET      C
C  CORRIGES PAR KALMAN                                             C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      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

```

SUBROUTINE GR3(Q,P,E,V,I)
DIMENSION V(1)
100 FORMAT(3(F6.3))
IF (I.NE.0) GOTO 1
C INITIALISATIONS
Q0=.0072
PC=0.
D=0.
PR=0.
U=.1E10
W=.1E07
C INITIALISATION DES PARAMETRES
A=V(1)
B=V(2)
S=35.
SK=EXP(V(4))
H=EXP(V(5))
T=EXP(V(6))
IF(V(3).LT.0.) V(3)=0.
R1=(Q0+SQRT(Q0*Q0+4.*Q0*V(3)))/2.
Q1=Q0
C REEVALUATION DU RESERVOIR S DE LA FCT RENDEMENT
1 IF(P.GT.E)THEN
P=P-E
E=0.
ELSE
E=E-P
P=0.
ENDIF
X=A+B*S
IF(X.LT.-7.) X=-7
IF(X.GT.14.) X=14.
CALL MOREL(P,E,PC,D,U,W,PR,SK,H,T,TI)
PN=TI/(1.+EXP(X))
C CALCUL DU DEBIT Q1 ET REEVALUATION DU RESERVOIR R1
S=S+TI-PN-E
IF(S.LT.0.) S=0.
Q=Q1+49.8E-04
Q1=R1*R1/(R1+V(3))
R1=R1+PN-Q1+PR
RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C CALCUL DE LA PLUIE NETTE(EXEDENTAIRE) PAR LA METHODE DE MOREL C
C SEYTOUX AVEC: R=INTENSITE MOYENNE DE LA PLUIE C
C G=PAS DE TEMPS C
C SK=CONDUCTIVITE SATUREE C
C H=PRESSION CAPILLAIRE C
C T=HUMIDITE C
C Q=PLUIE NETTE C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE MOREL(P,E,PC,D,U,W,Q,SK,H,T,TI)
DIMENSION V(1)
N=6
G=1.
R=P/G
CCCC INTENSITE DE PLUIE = 0
CCCC REINITIALISATION DE LA PLUIE CUMULEE PC, DE LA PLUIE NETTE Q
IF (R.EQ.0.) THEN
U=U+N*SK*G/W
Q=0.
PC=0.
D=0.
TI=0.
GOTO 4

```

ENDIF

-75-

```

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
      ENDIF
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
      ENDIF
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
      ENDIF
C   2° CAS PARTICULIER
      IF(B.LT.0.) THEN
        X=0.
        D=G
        R1=SK*(1.+S/PC)
      ENDIF
      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
      ENDIF
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 :

$$\begin{array}{ccccc} z & = & x & + & b \\ \text{observation} & & \text{terme} & & \text{terme} \\ \text{(mesure)} & & \text{déterministe} & & \text{aléatoire} \\ & & \text{(modèle)} & & \text{(bruits)} \end{array}$$

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)

$Z = C.X + V$ 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 discrétisation du système (1) au temps k donne :

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

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

Alors l'estimation de X au temps k sera :

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

où :

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

K_k est appelé 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 :

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

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

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

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 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 Φ , 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

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


```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C SOUS-PROGRAMME CALCULANT LES DEBITS AVEC 2 RESERVOIRS , L'ÉVAPOPORA-
C TION ET L'HUMIDITE
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE GR3(Q,P,E,H,V,I)
      DIMENSION V(1)
100   FORMAT(3(F6.3))
      IF (I.NE.0) GOTO 1
C     INITIALISATION DU RESERVOIR S ET DU DEBIT
      S=40.
      PS=0.1
      PH=1.-PS
      Q0=.0072
C     INITIALISATION DU RESERVOIR R1 DE LA FCT TRANSFERT
      IF(V(3).LT.0.) V(3)=0.
      R1=(Q0+SQRT(Q0*Q0+4.*Q0*V(3)))/2.
      Q1=Q0
      Q2=Q0
C     REEVALUATION DU RESERVOIR S DE LA FCT RENDEMENT
1     IF(P.GT.0) P=MAX(0.,P-E)
      IF(P.GT.0) E=0.
      X=(V(1)+V(2)*S)*PS+(V(4)+V(5)*H)*PH
      IF(X.LT.-7.) X=-7.
      IF(X.GT.14.) X=14.
      PN=P/(1.+EXP(X))
      S=S+P-PN-E
      IF(S.LT.0) S=0.
C     CALCUL DU DEBIT Q1 ET REEVALUATION DU RESERVOIR R1
      Q=Q2+49.8E-04
      Q2=Q1
      Q1=R1*R1/(R1+V(3))
      R1=R1+PN-Q1
      RETURN
      END

```

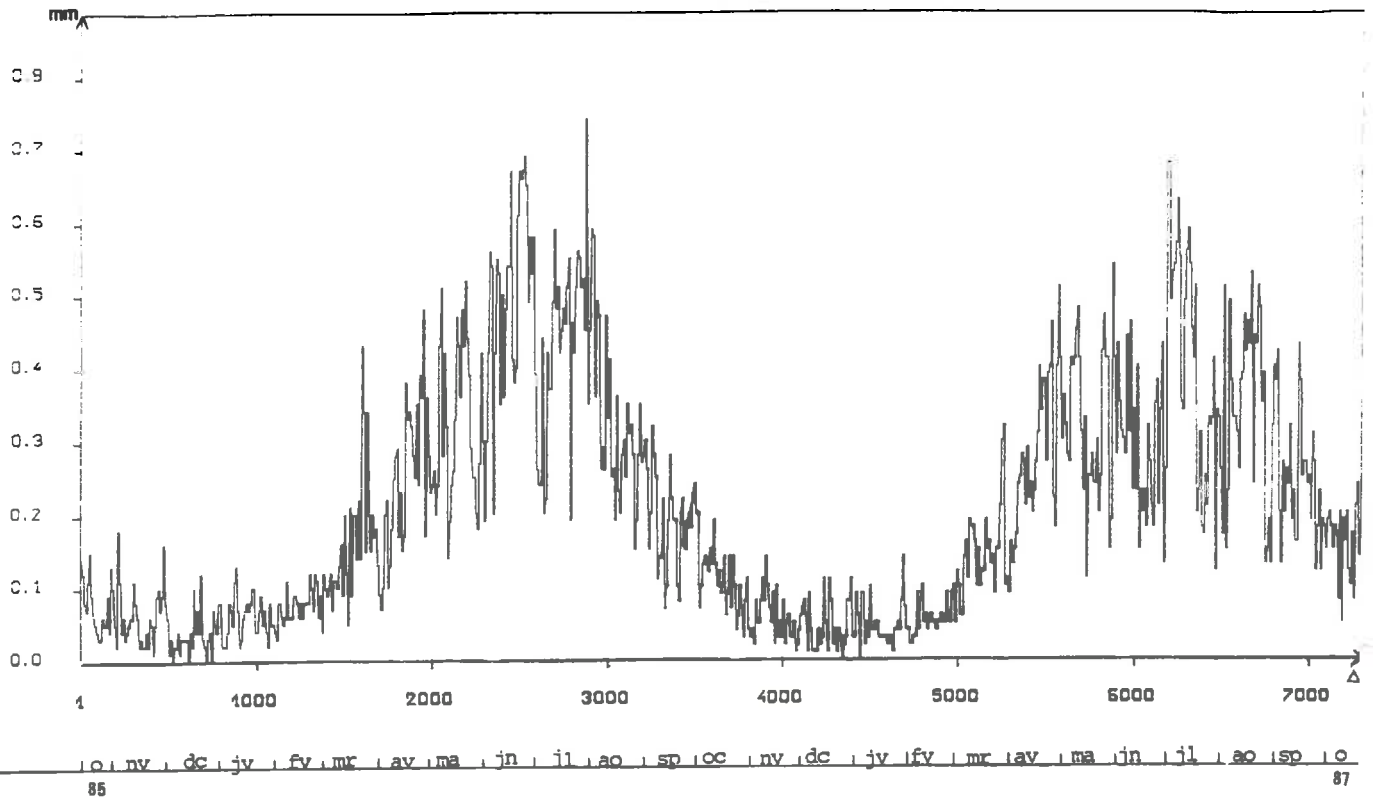
A N N E X E IV

Dessin des chroniques de variation des données

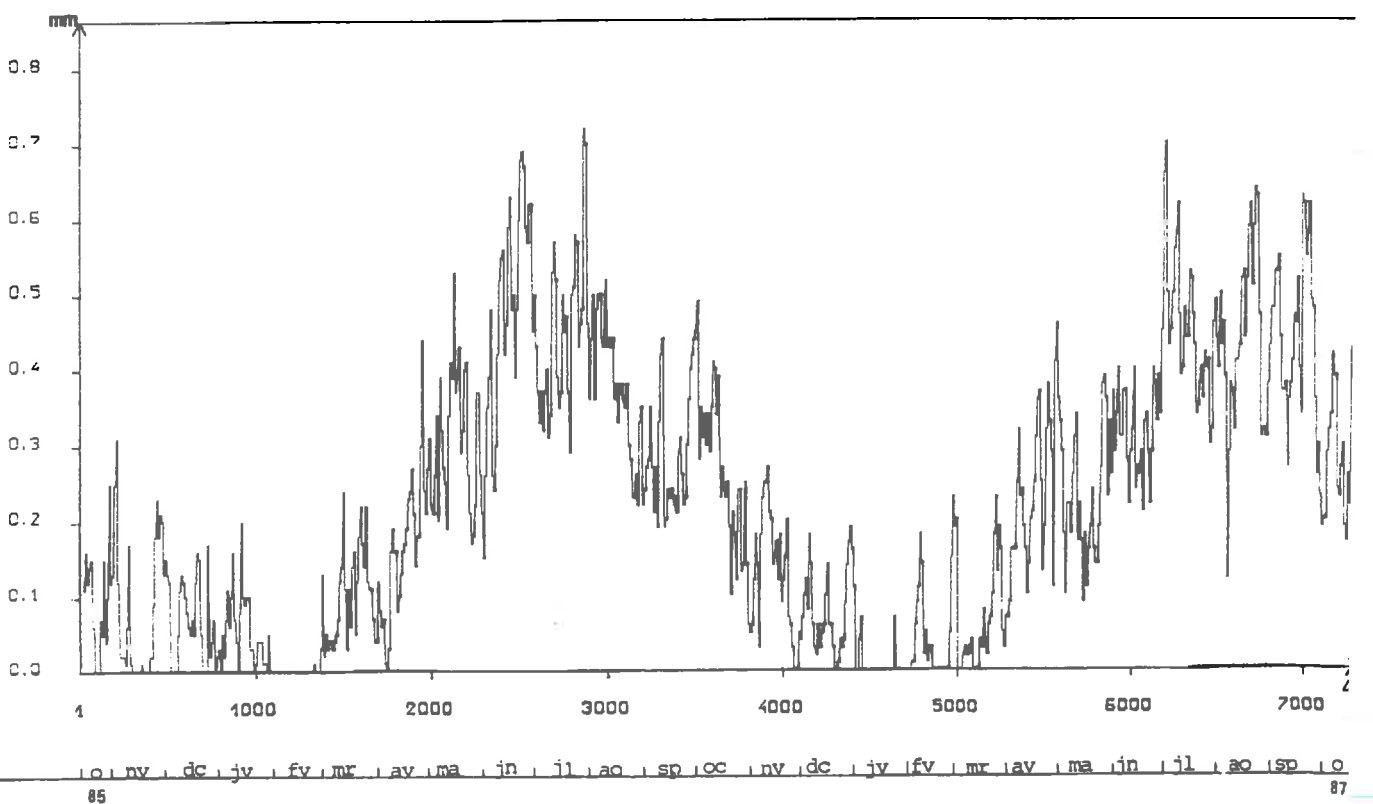
IV.1 - Chroniques des lames d'eau évaporées (10/85-10/87)

- 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)



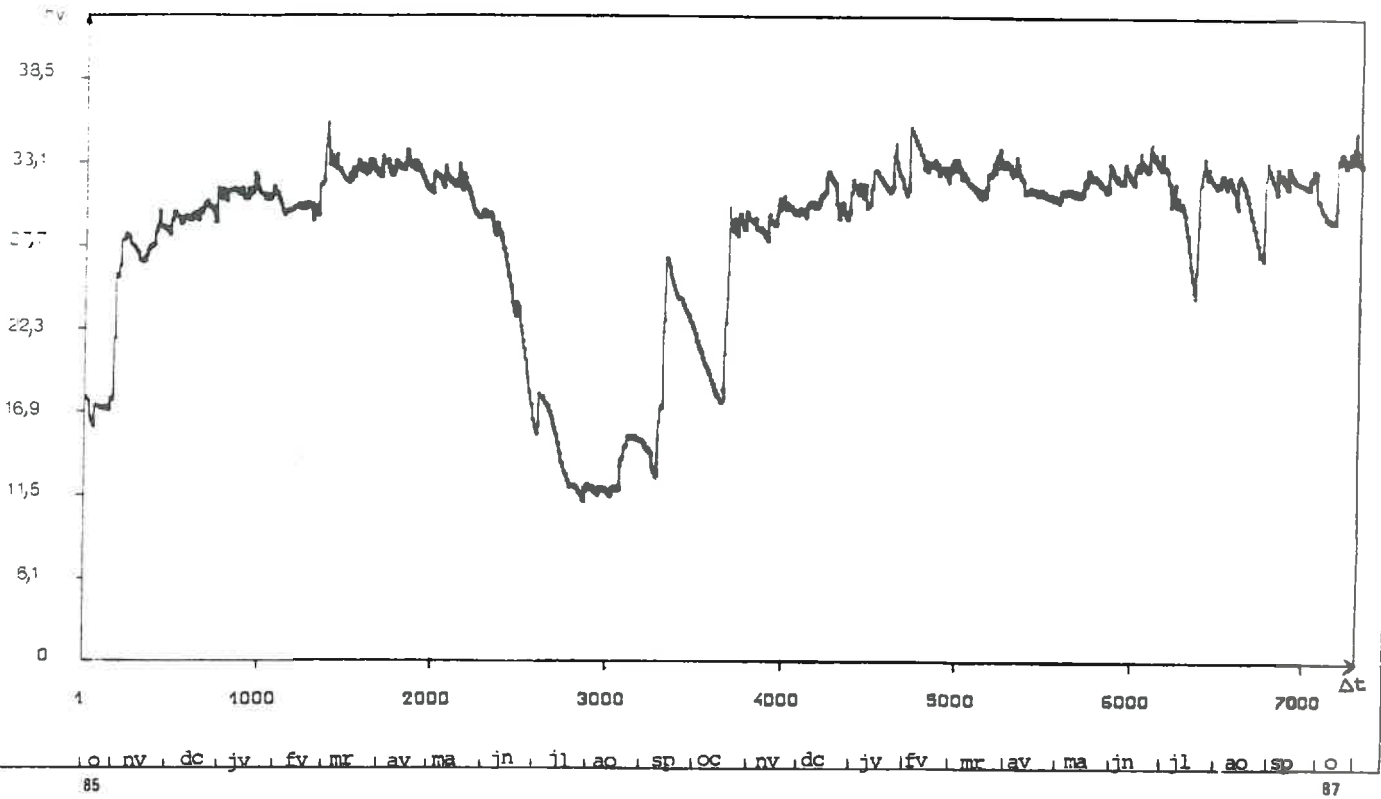
IV.2 - Chroniques d'humidité (10/85-10/87)

a - à différentes profondeurs

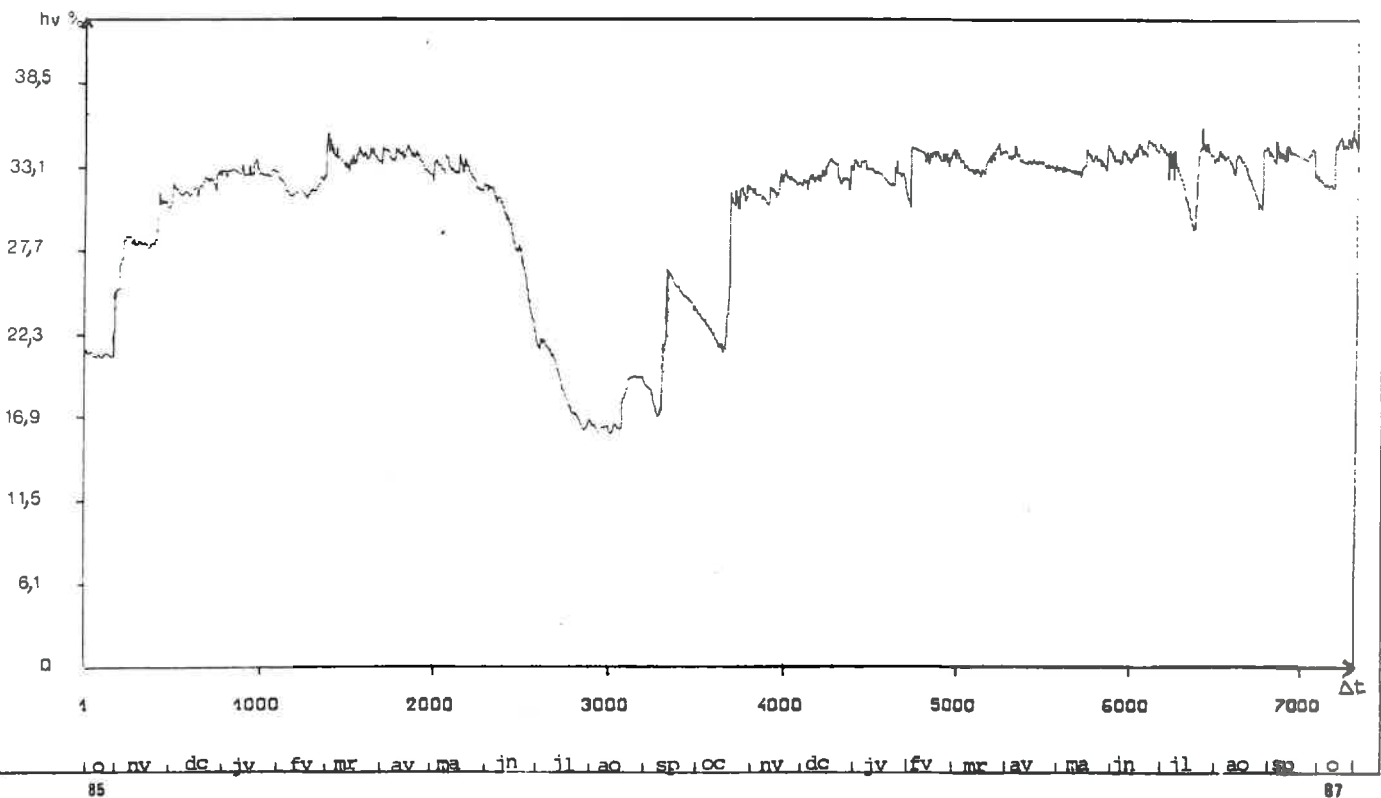
b - en cumulant les profondeurs

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

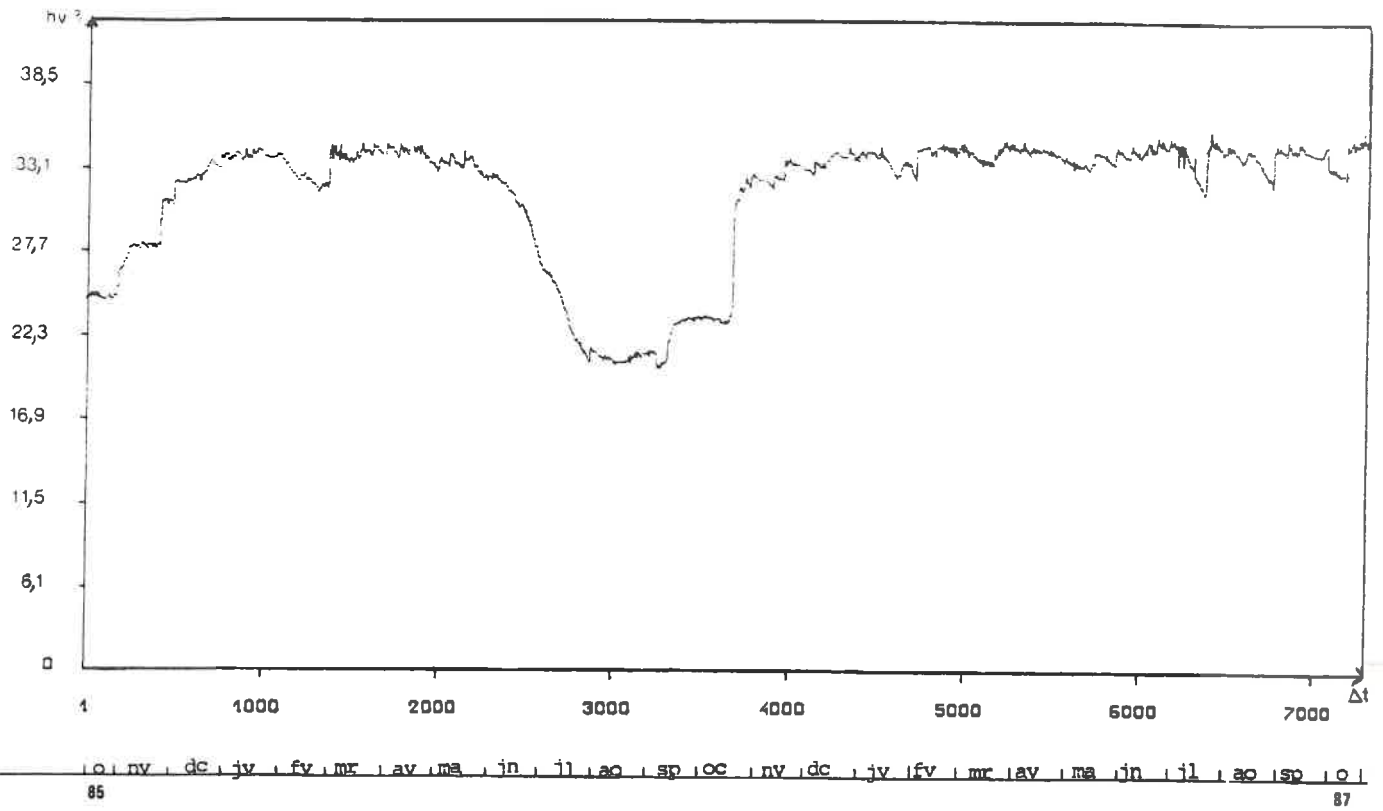
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 15cm de profondeur
(10/85-10/87)



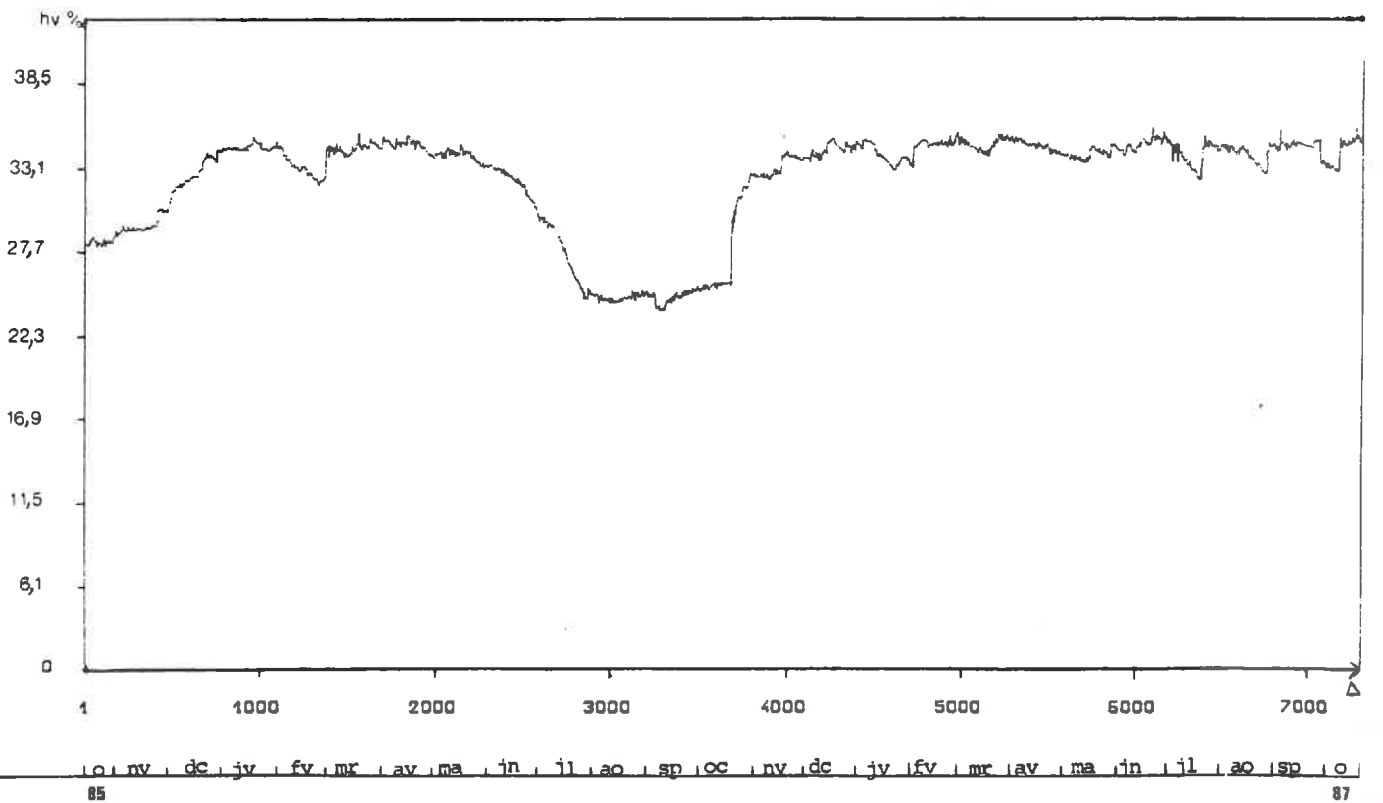
Variation de la réserve hydrique mesurée à 25cm de profondeur
(10/85-10/87)



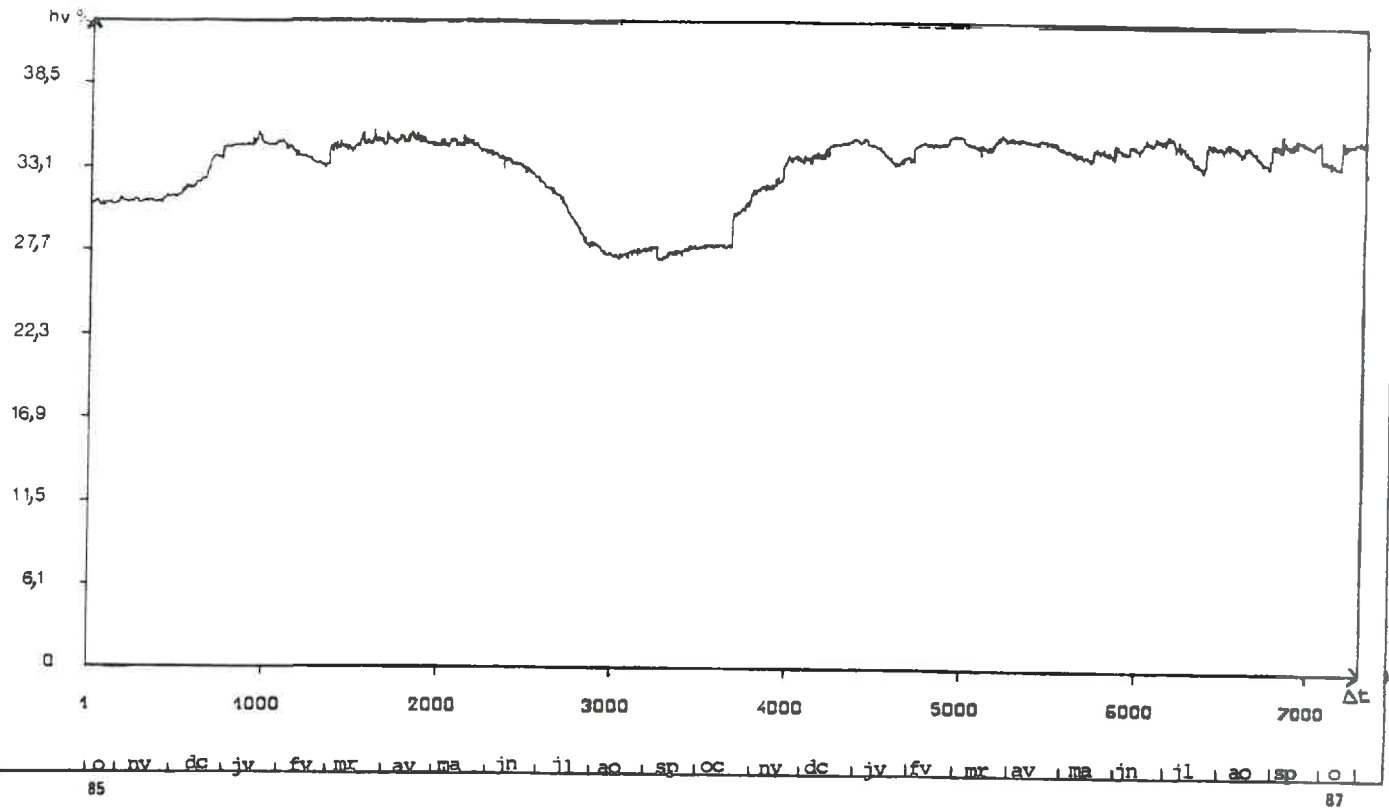
Variation de la réserve hydrique mesurée à 35cm de profondeur
(10/85-10/87)



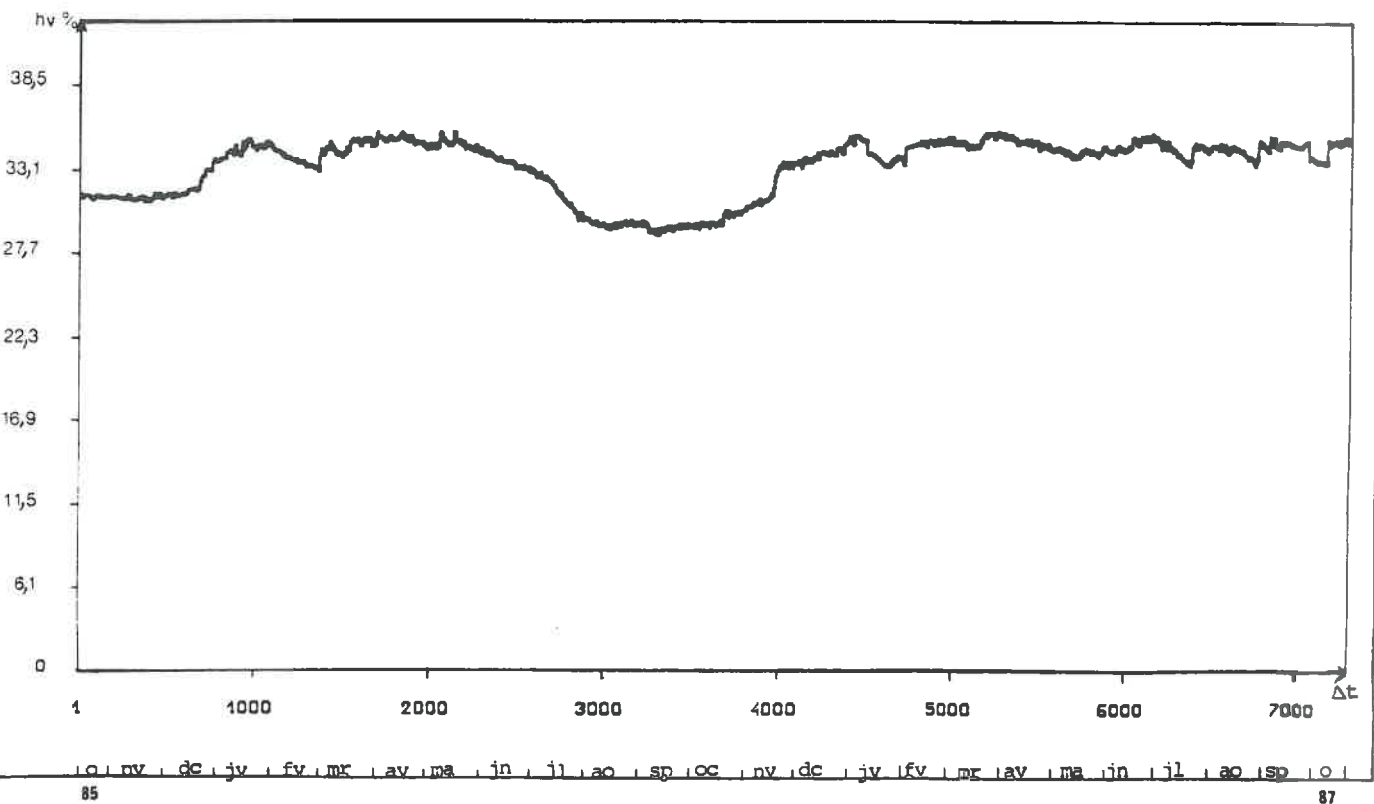
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 45cm de profondeur
(10/85-10/87)



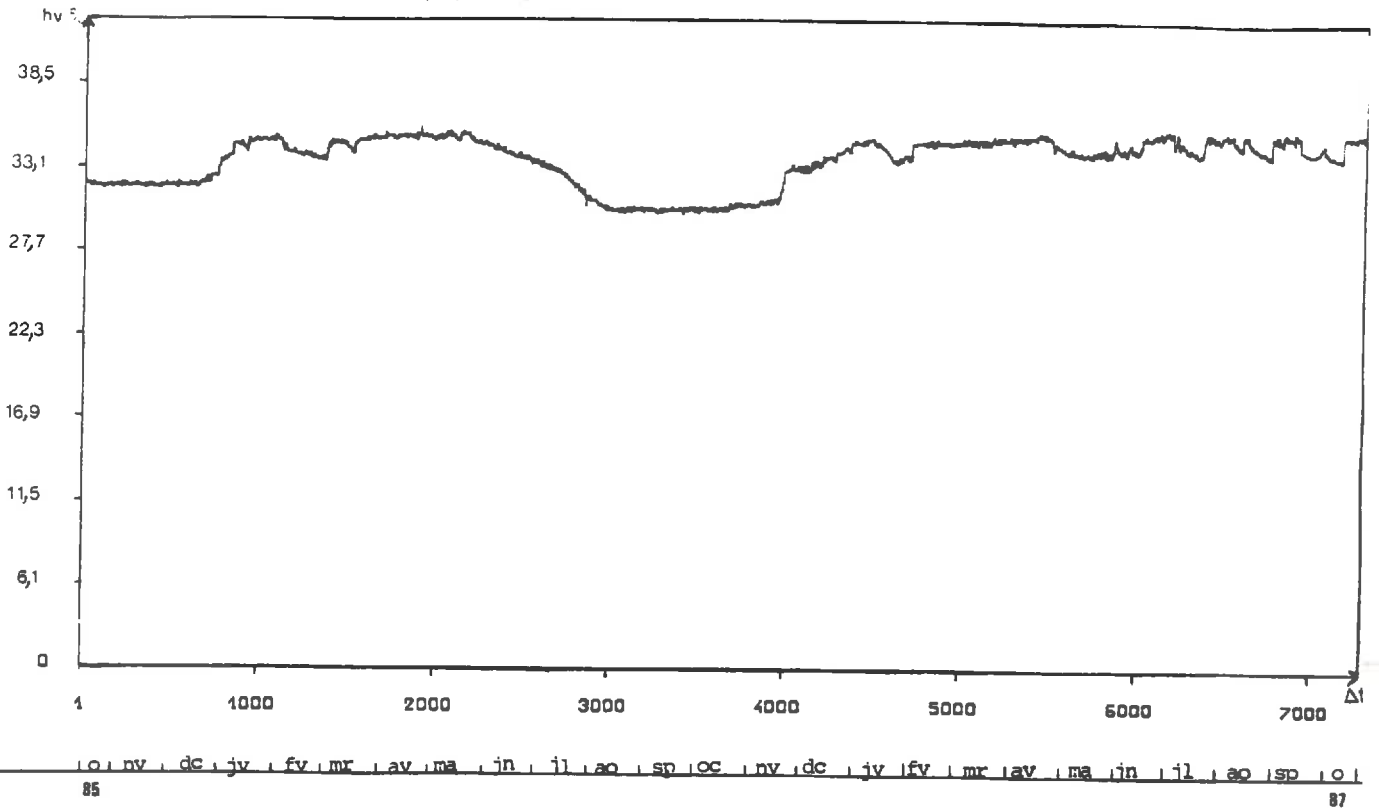
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 55cm de profondeur
(10/85-10/87)



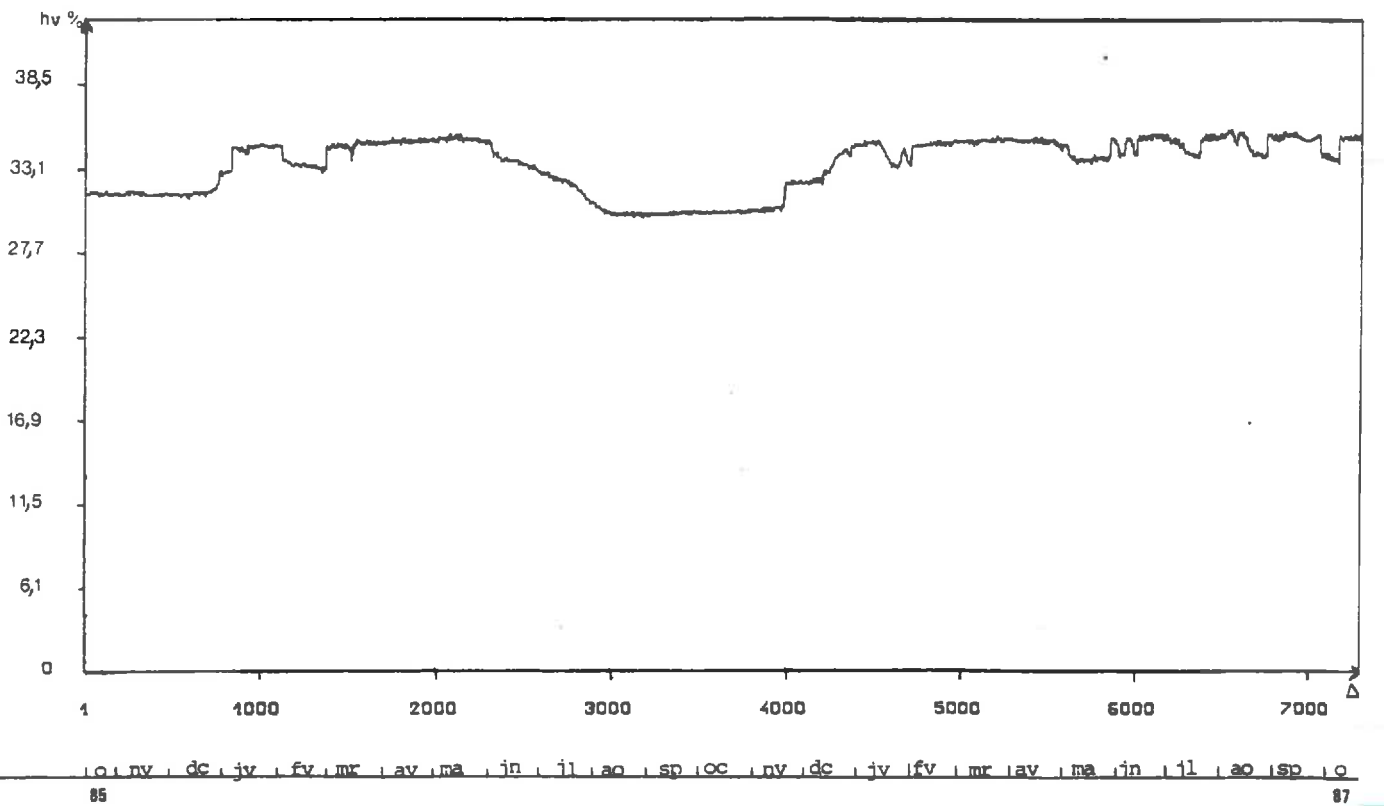
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 65cm de profondeur
(10/85-10/87)



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

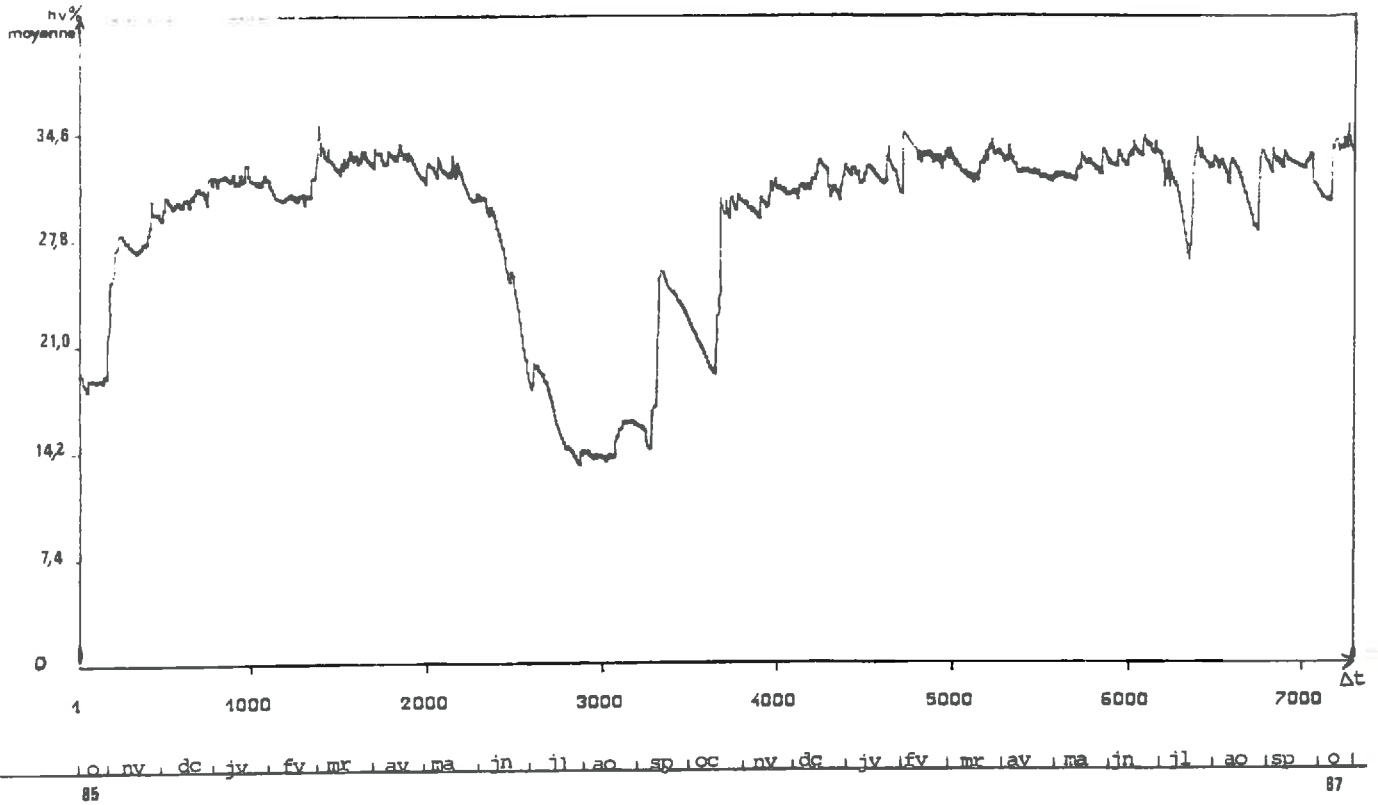


Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée à 85cm de profondeur
(10/85-10/87)

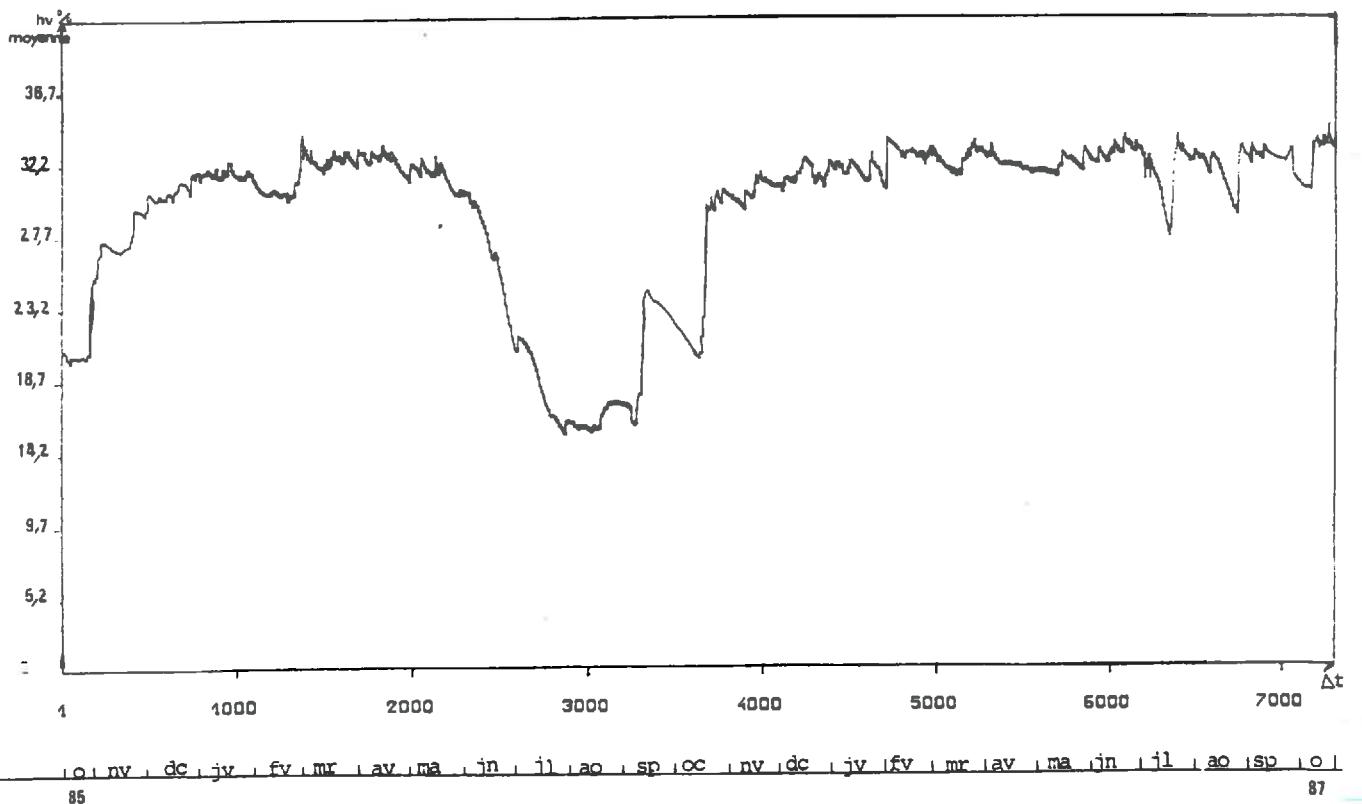


IV.2.b - Chroniques d'humidité en cumulant les profondeurs

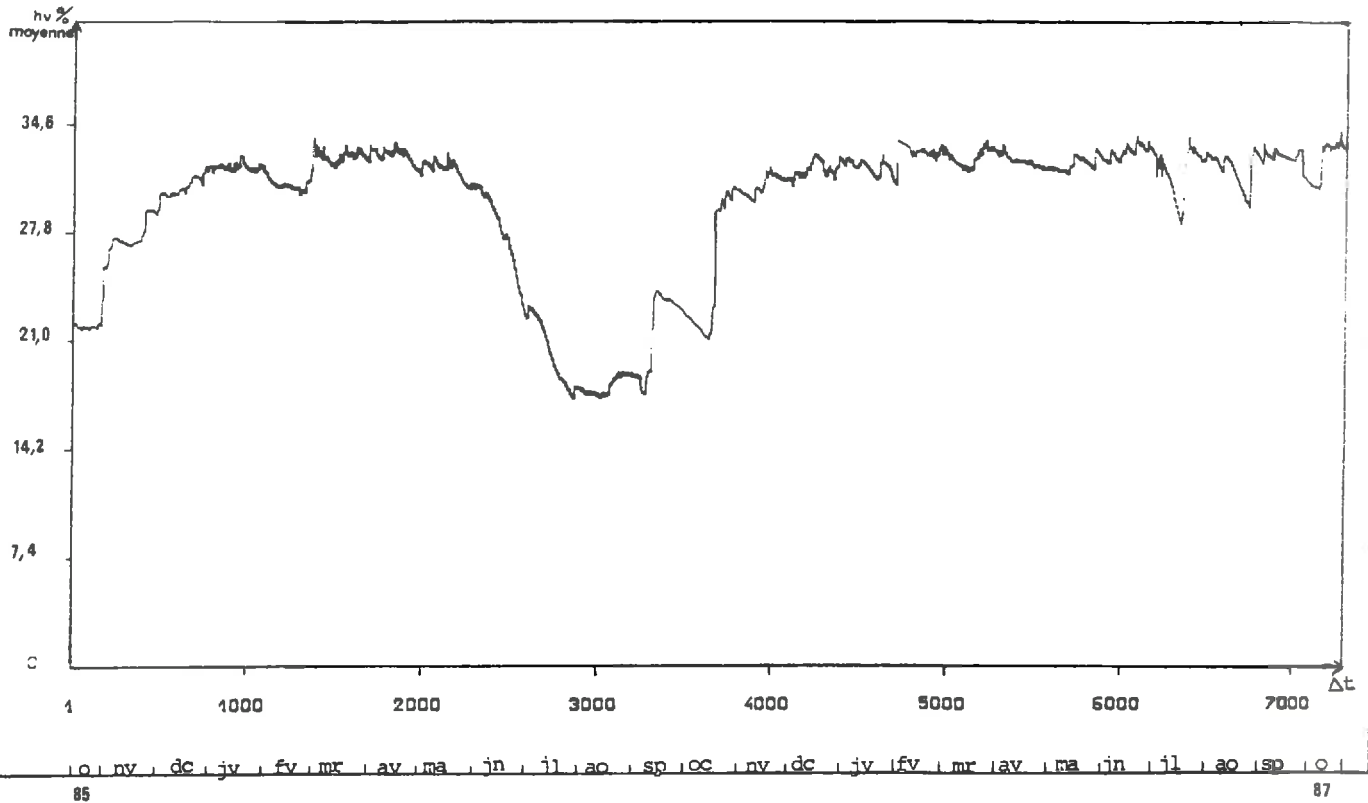
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée en cumulant
les valeurs pour 15+25cm de profondeur (10/85-10/87)



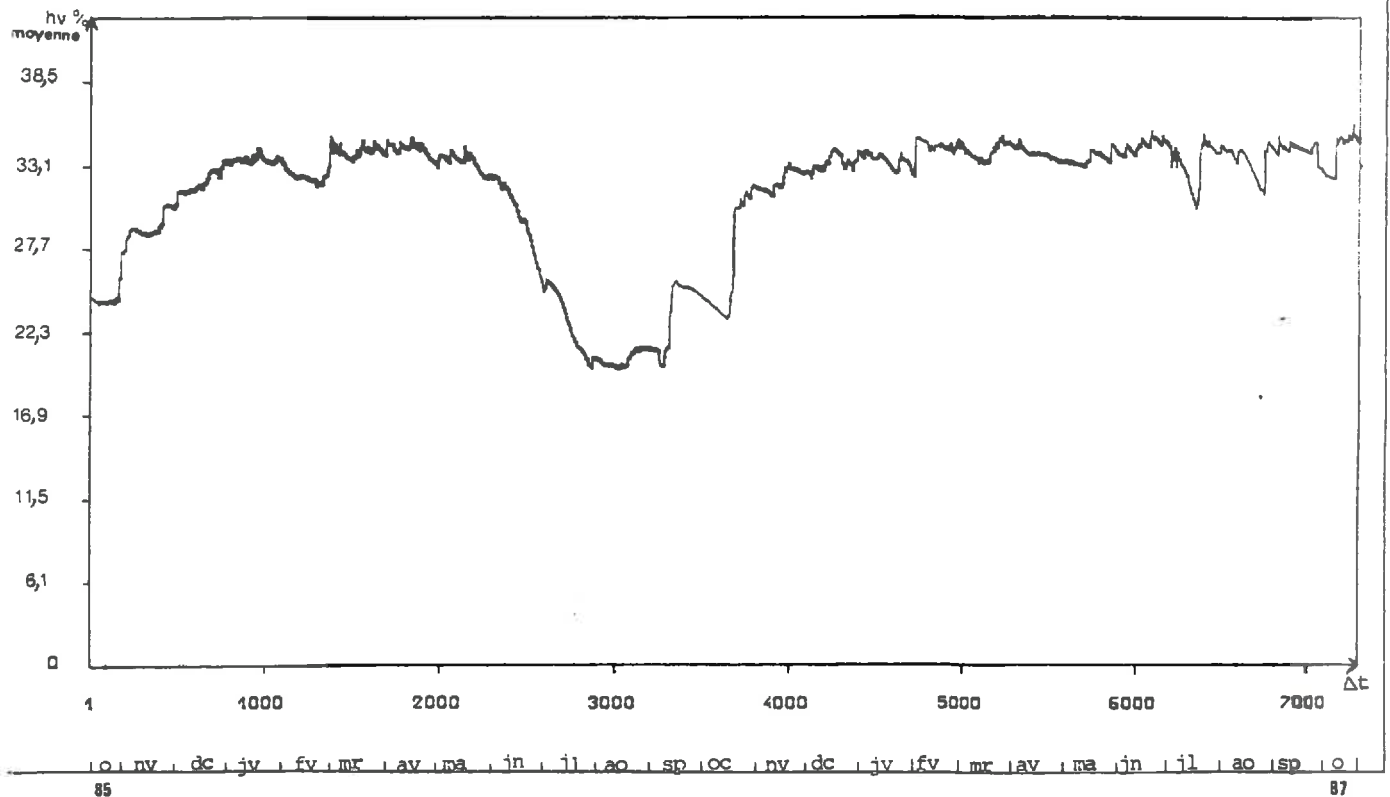
Variation du niveau de la réserve hydrique mesurée en cumulant
les valeurs pour 15+25+35cm de profondeur (10/85-10/87)



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)



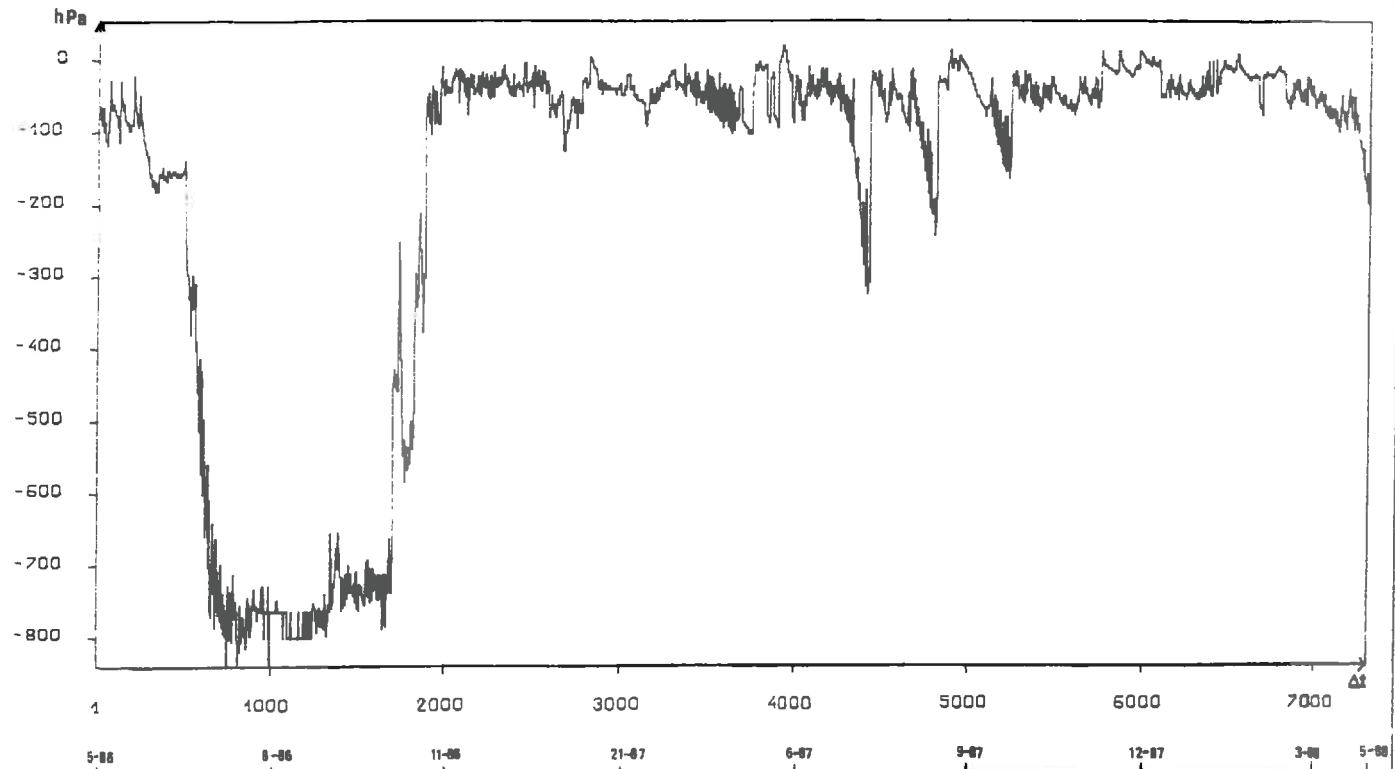
IV.3 - Chroniques de potentiel hydrique (5/86-5/88)

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

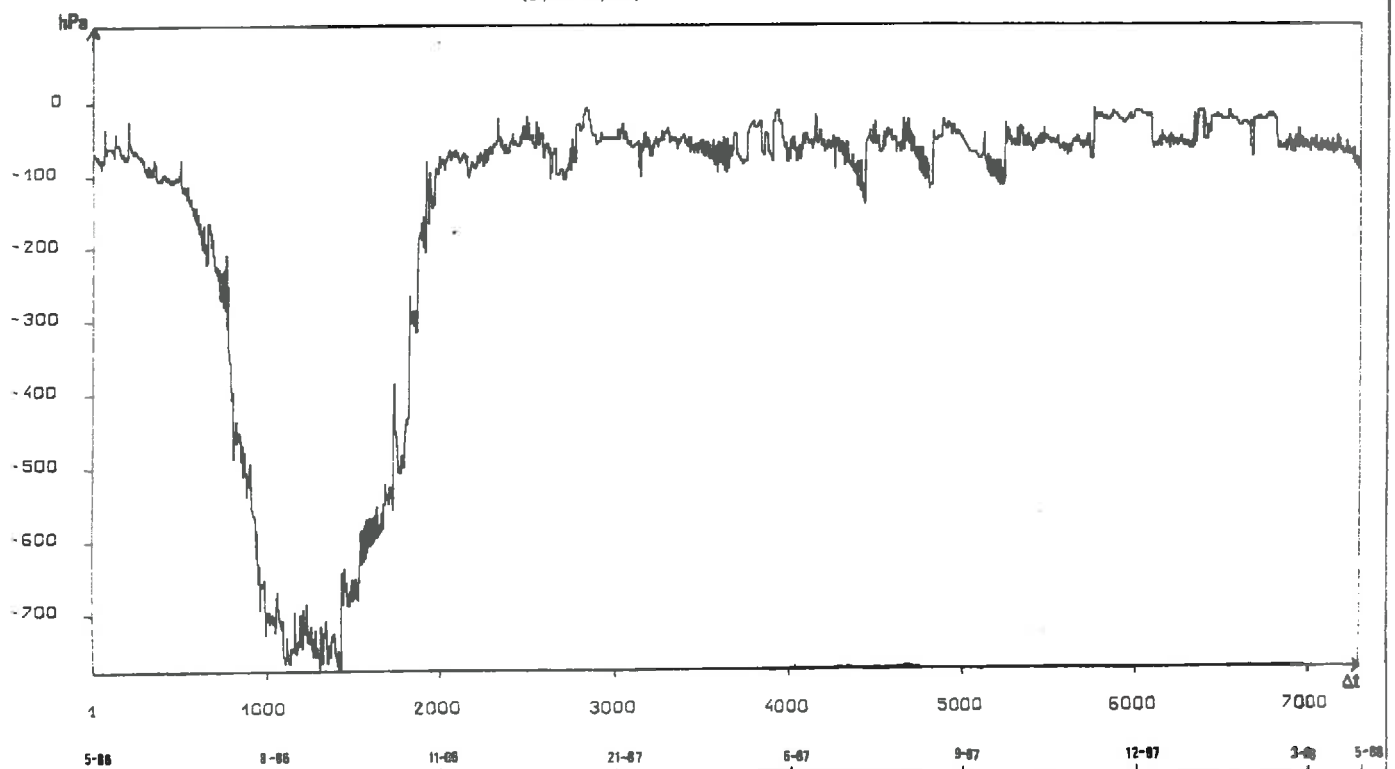
IV.3 - Chroniques de potentiel hydrique

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

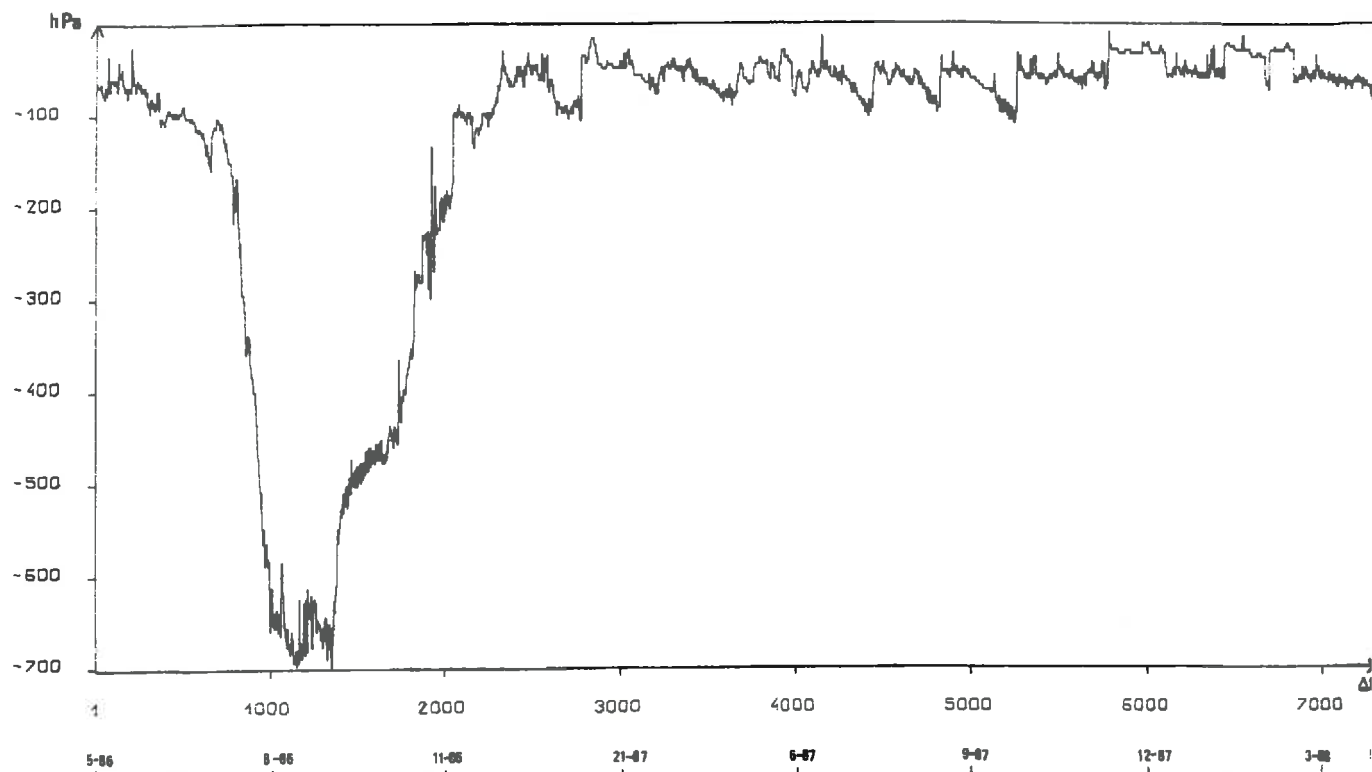
Chronique de potentiel hydrique à 25cm de profondeur
(5/86-5/88)



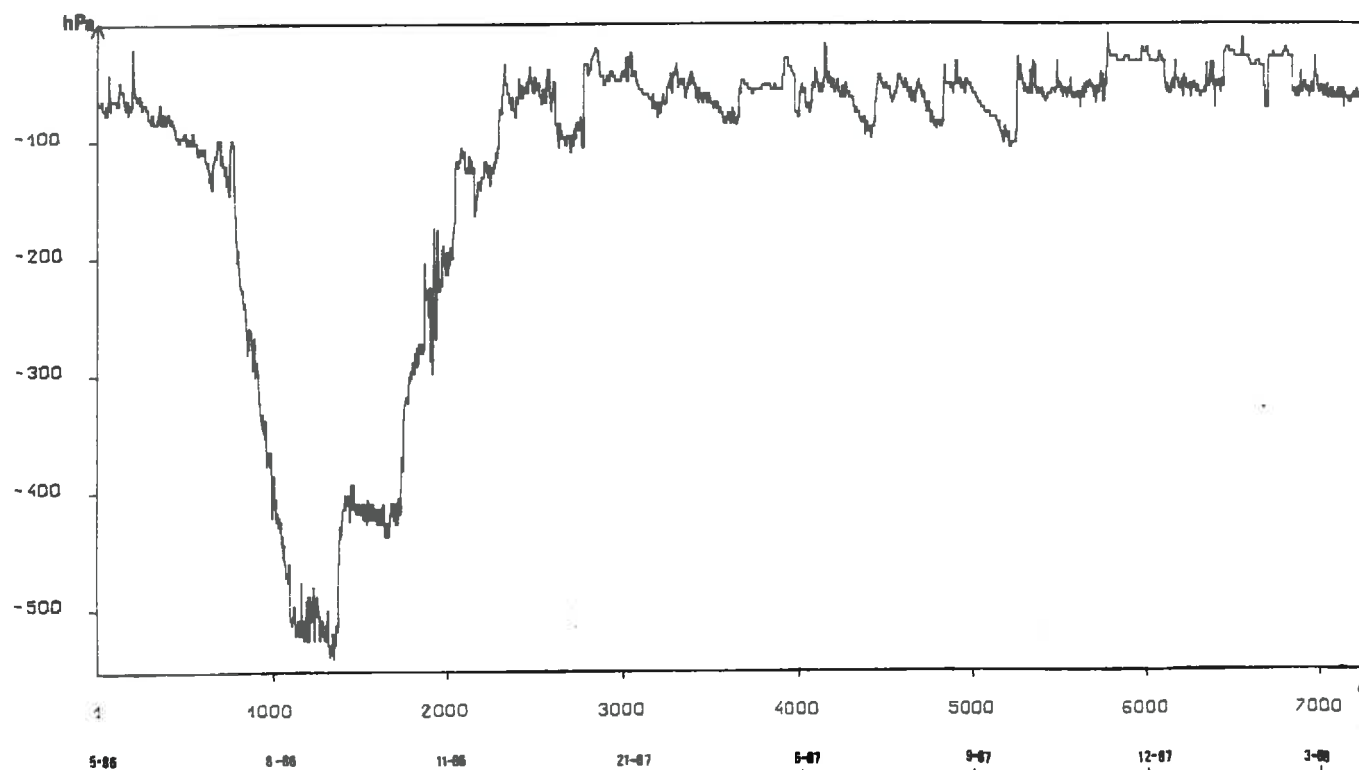
Chronique de potentiel hydrique à 55cm de profondeur
(5/86-5/88)



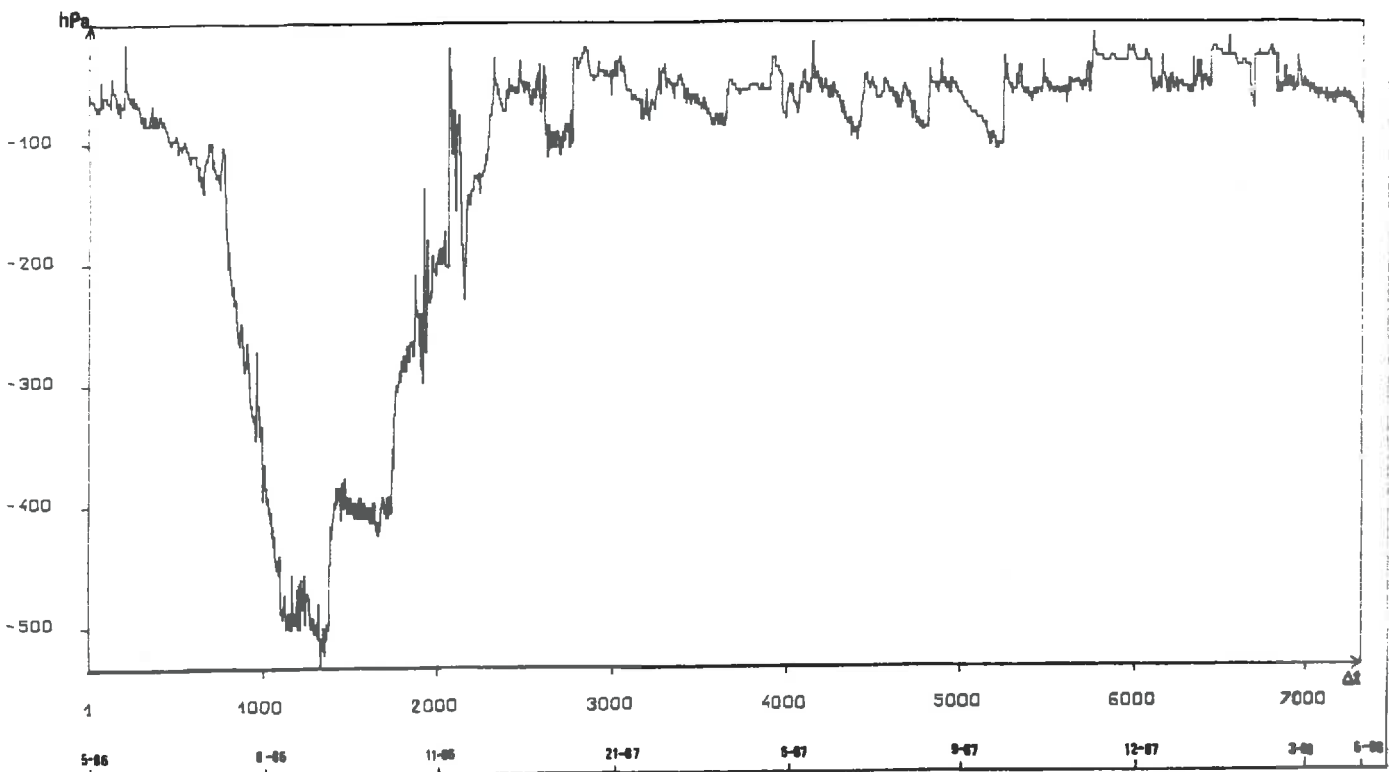
Chronique de potentiel hydrique à 75cm de profondeur
(5/86-5/88)



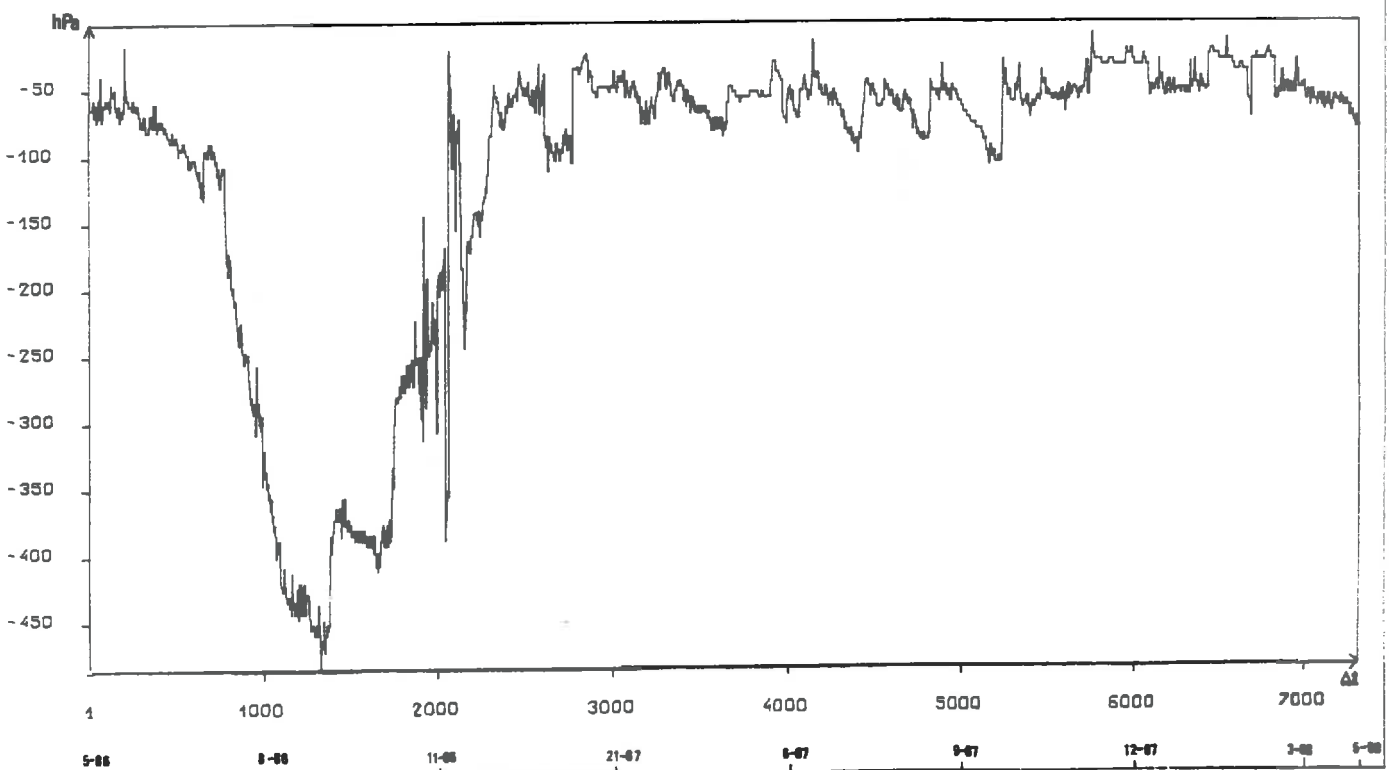
Chronique de potentiel hydrique à 115cm de profondeur
(5/86-5/88)



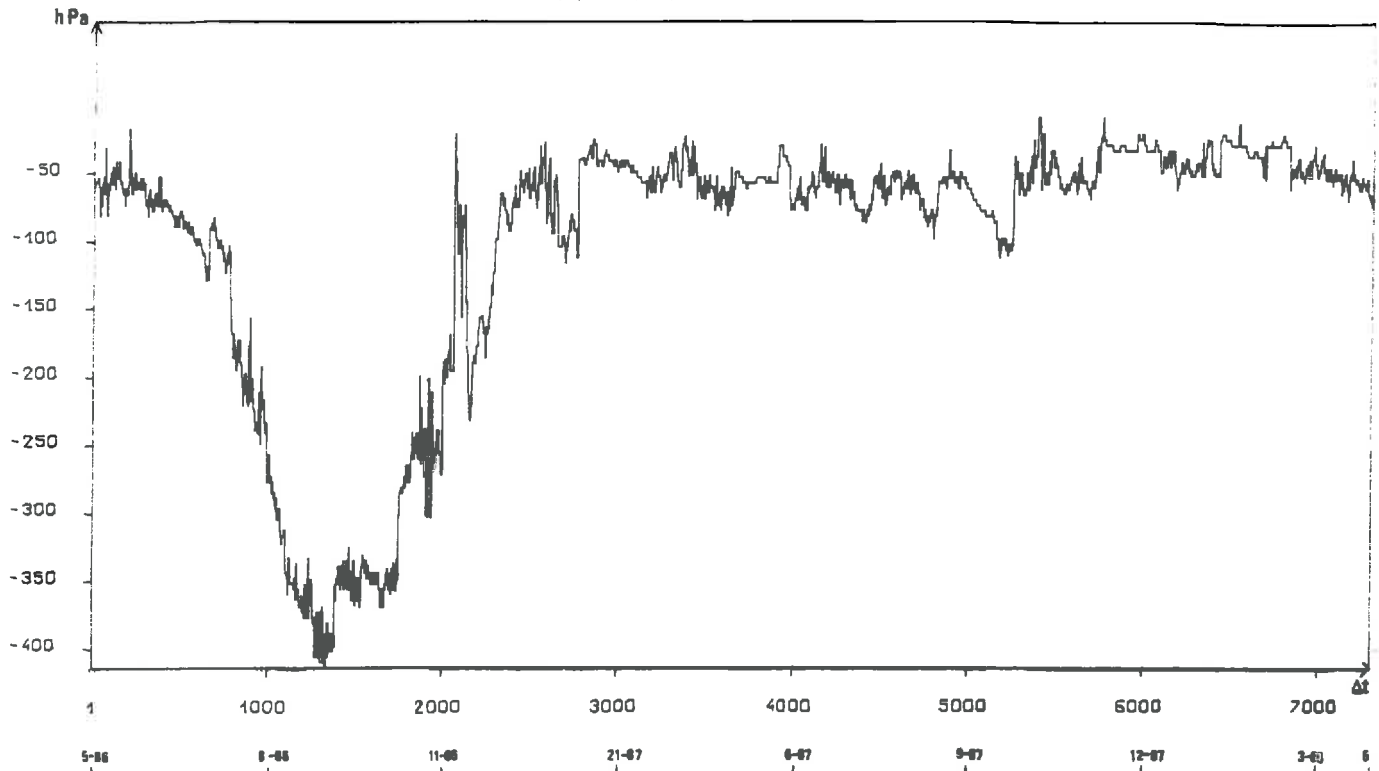
Chronique de potentiel hydrique à 135cm de profondeur
(5/86-5/88)



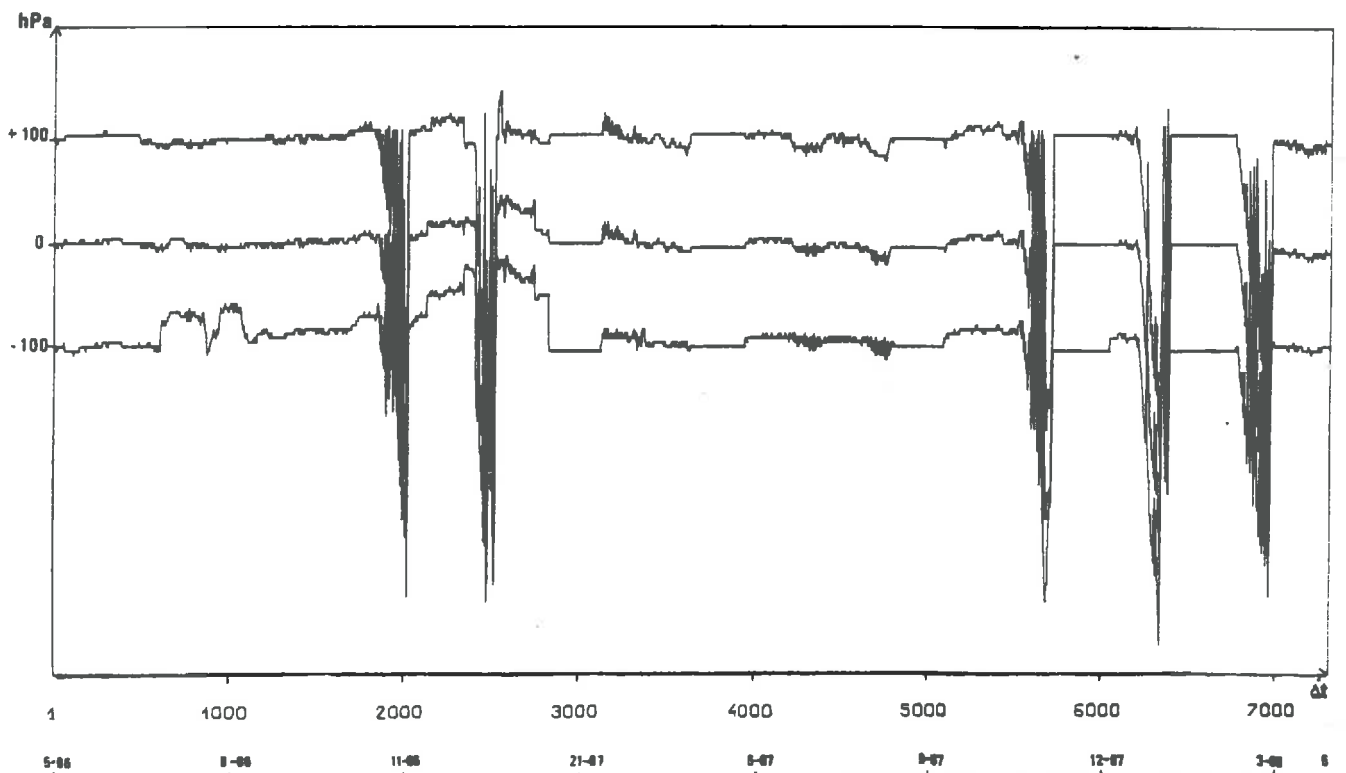
Chronique de potentiel hydrique à 155cm de profondeur
(5/86-5/88)



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



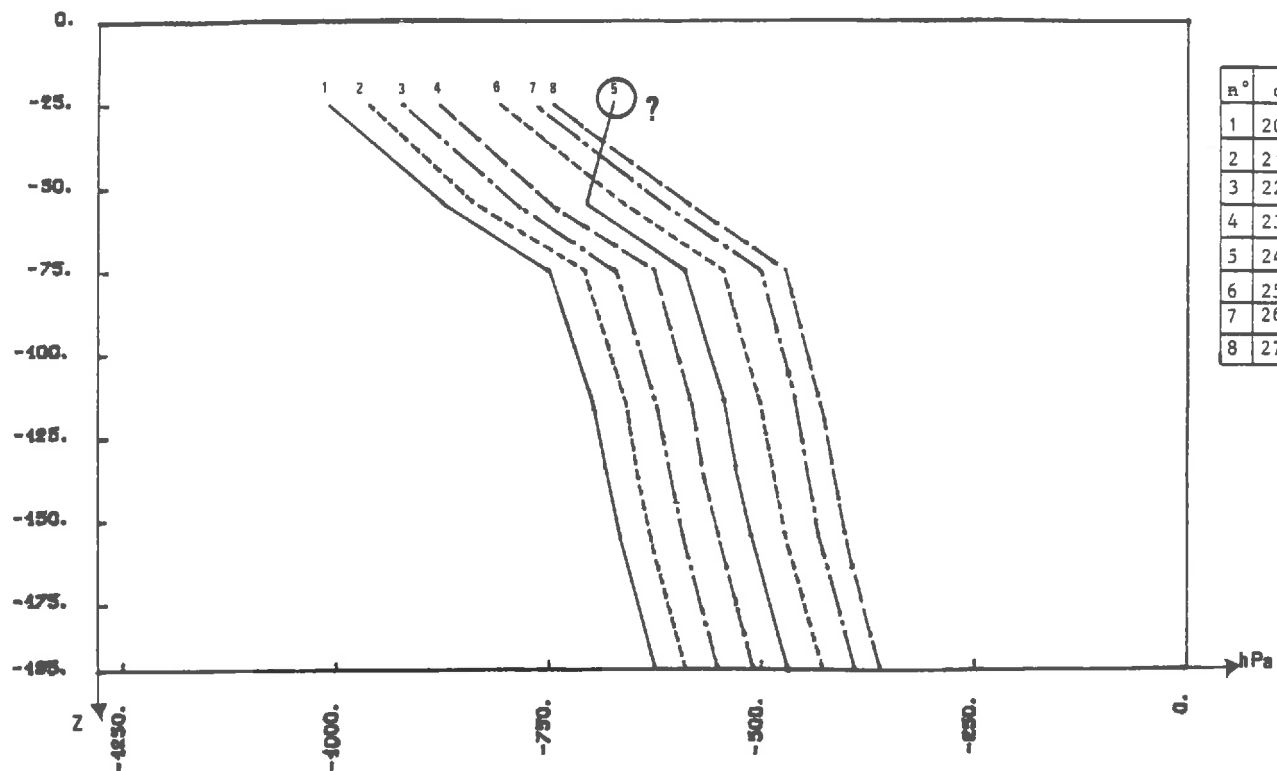
REFERENCES à -100hPa, 0hPa, +100hPa



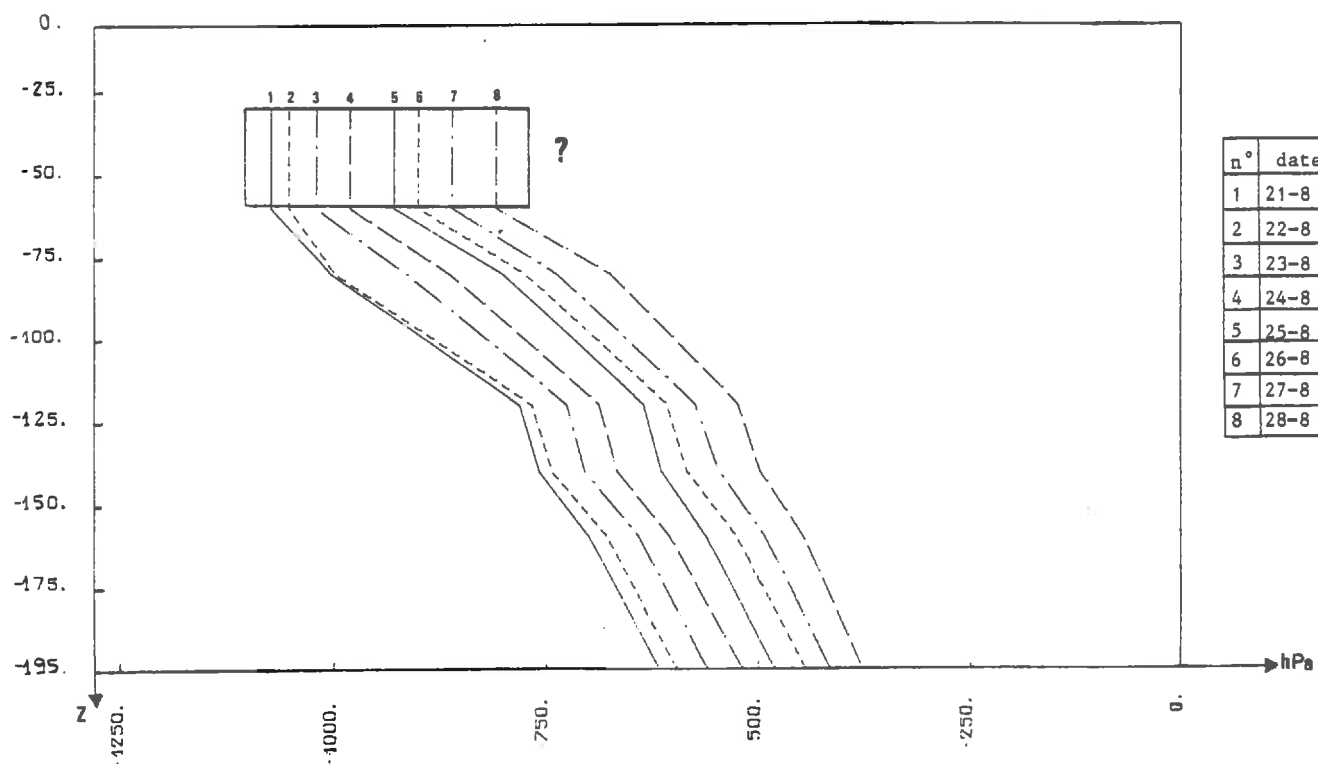
IV.3.c - Exemples de profils de potentiel incohérents

- 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

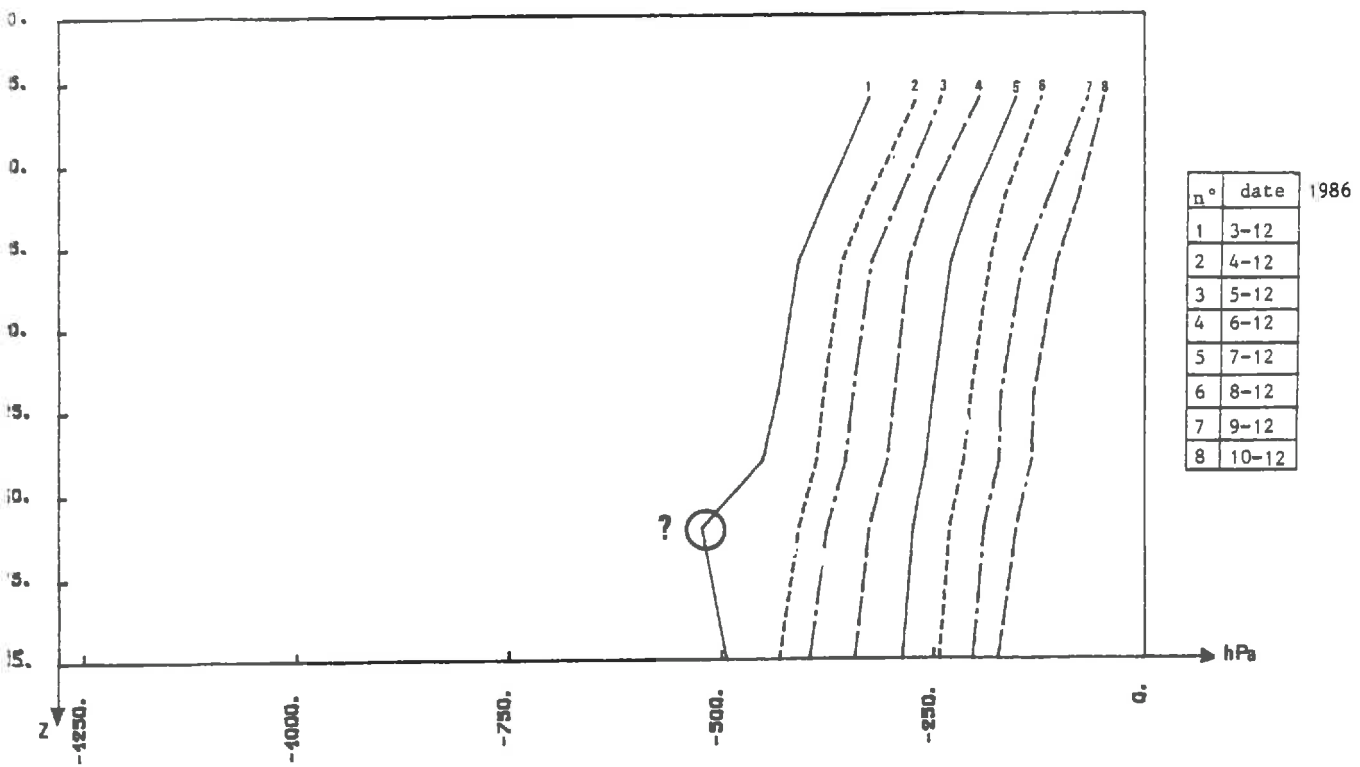
Profil de potentiel hydrique n°5 incohérent



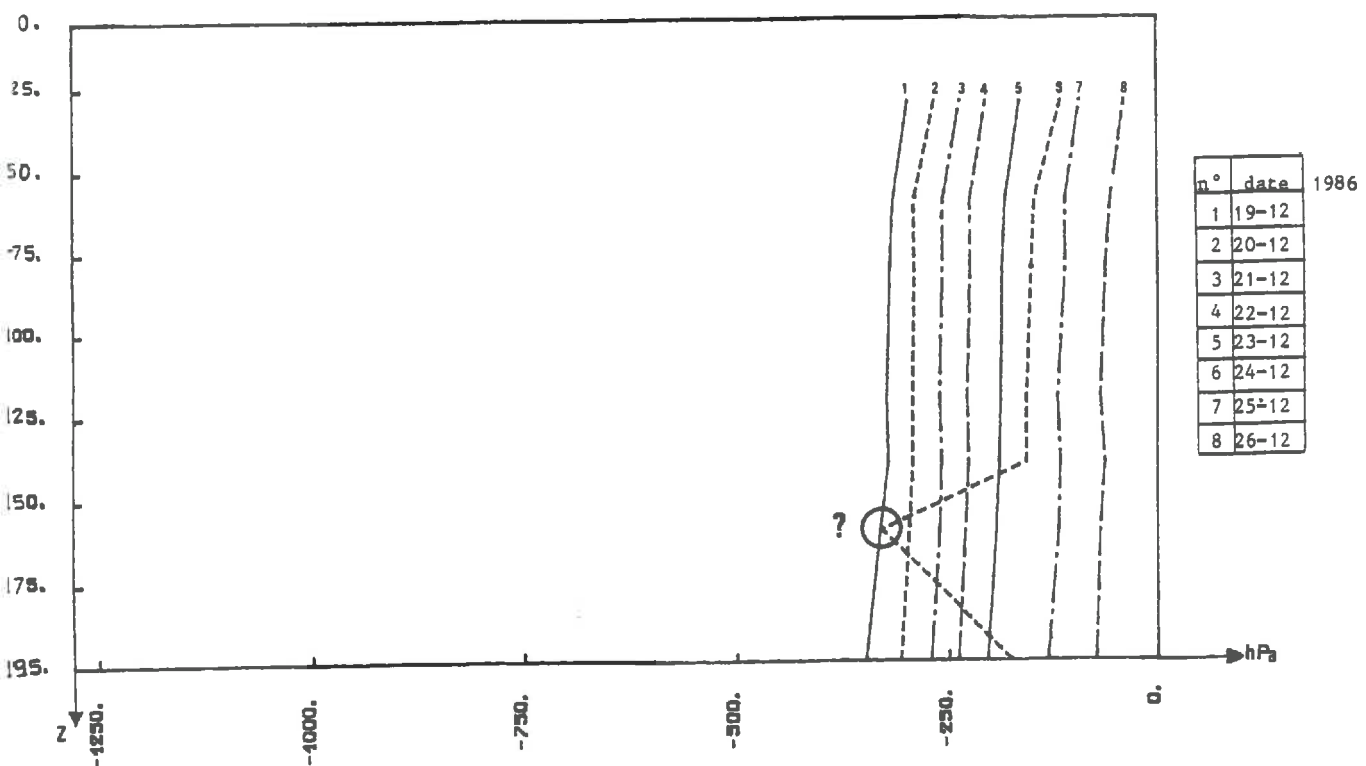
Tous les profils de potentiel hydrique sont incohérents à 25cm



Profil de potentiel hydrique n°1 incohérent



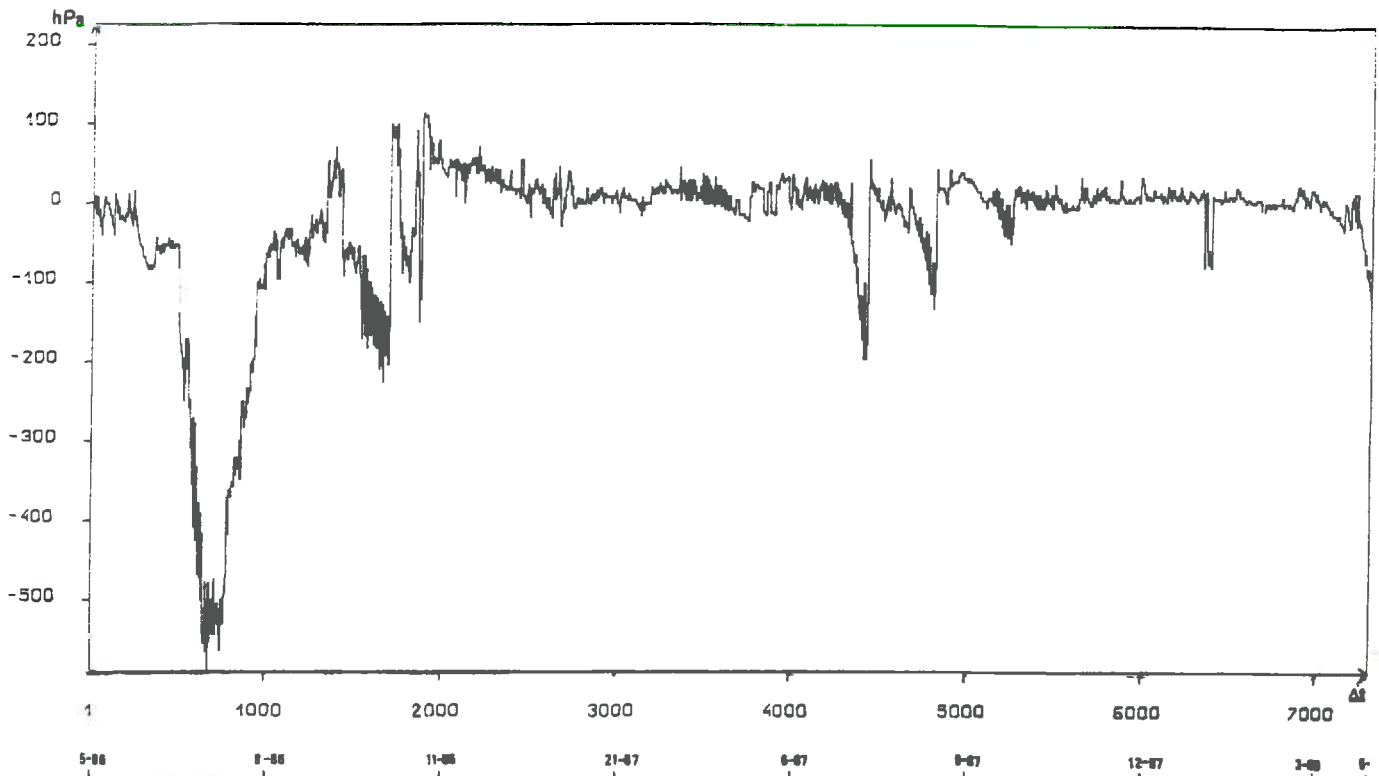
Profil de potentiel hydrique n°6 incohérent



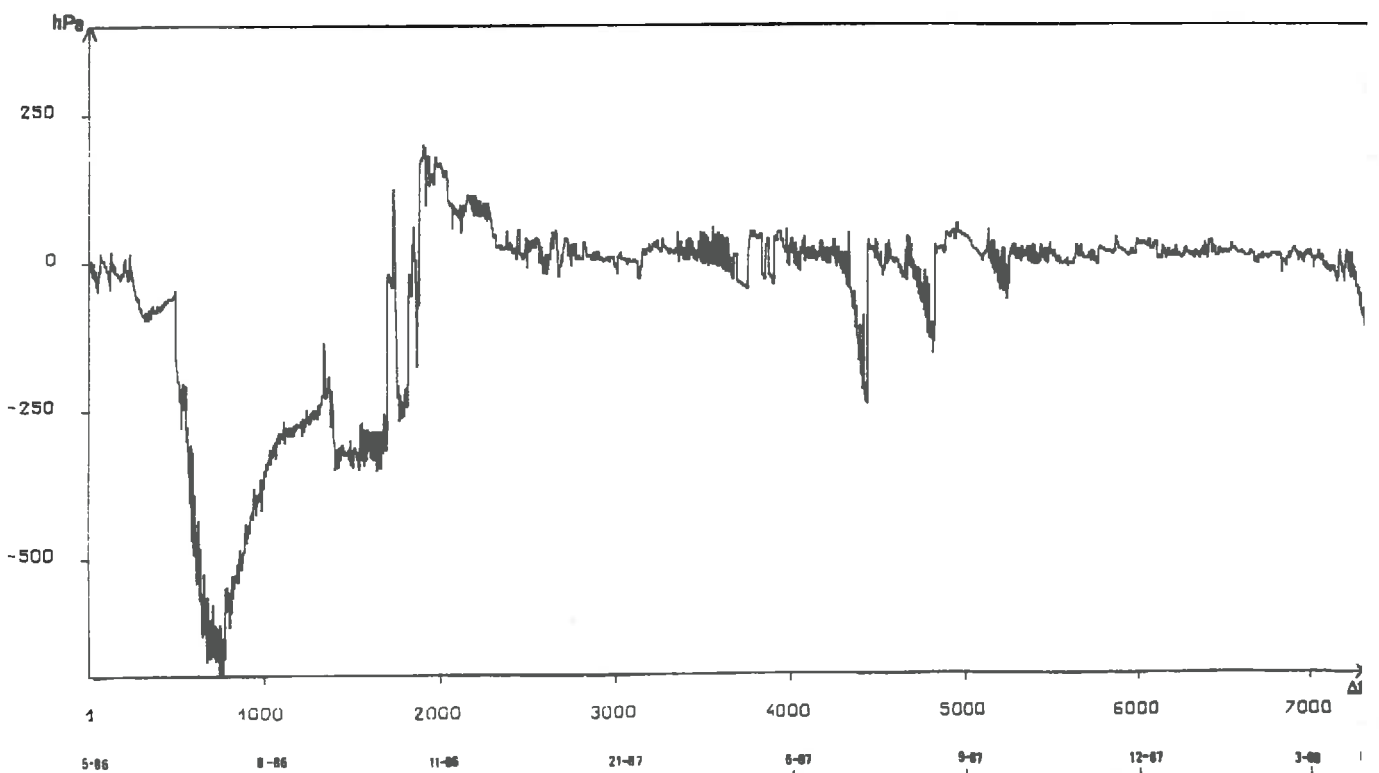
IV.4 - Chroniques des différences potentiels

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

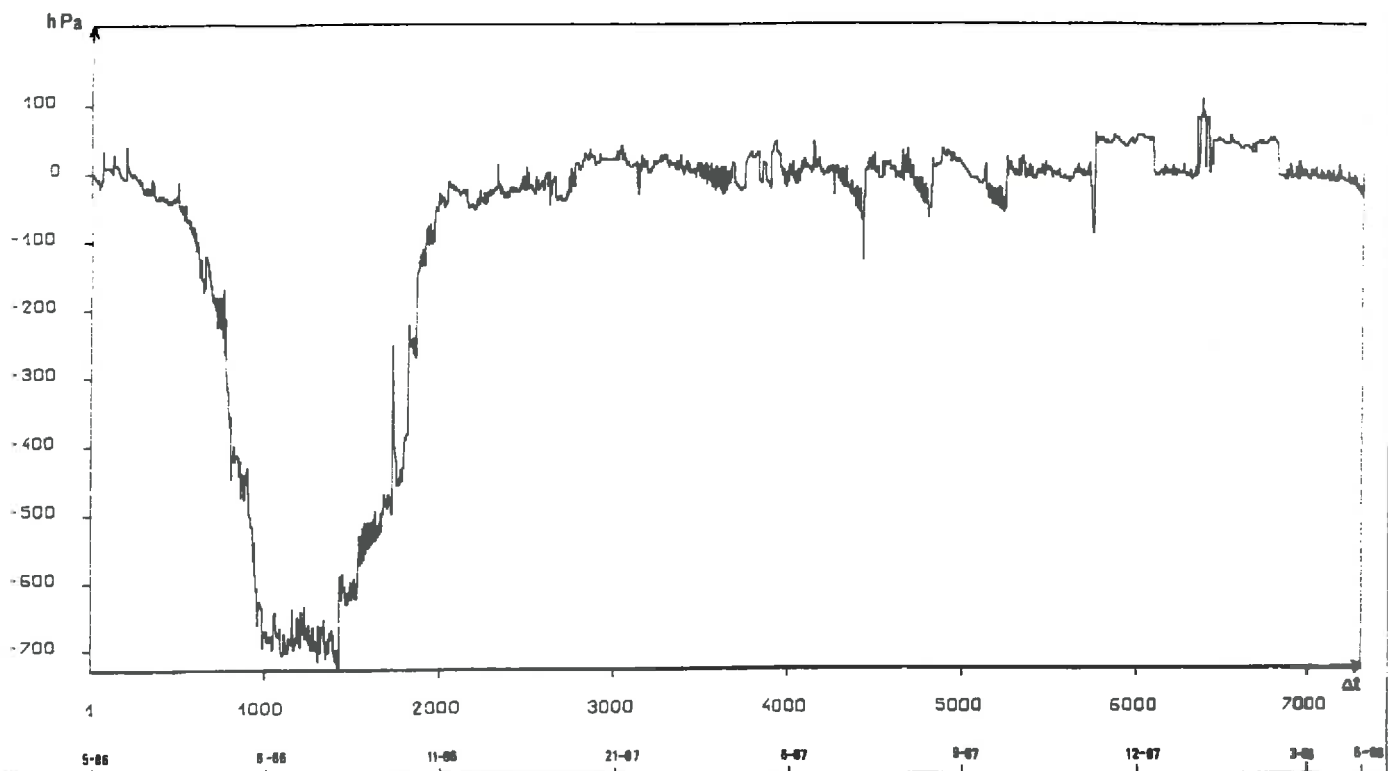
Chronique de la différence de potentiel entre 25 et 55cm de profondeur
(5/86-5/88)



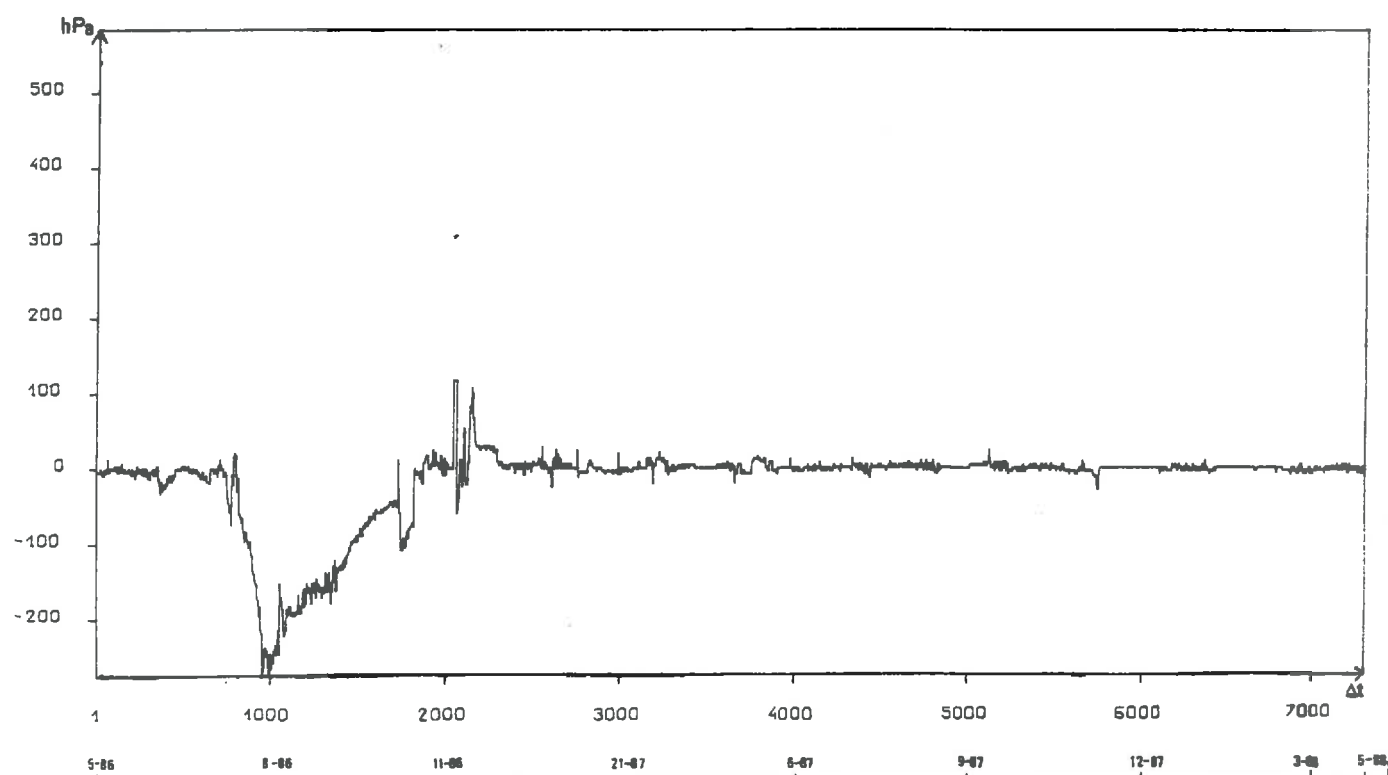
Chronique de la différence de potentiel entre 25 et 115cm de profondeur
(5/86-5/88)



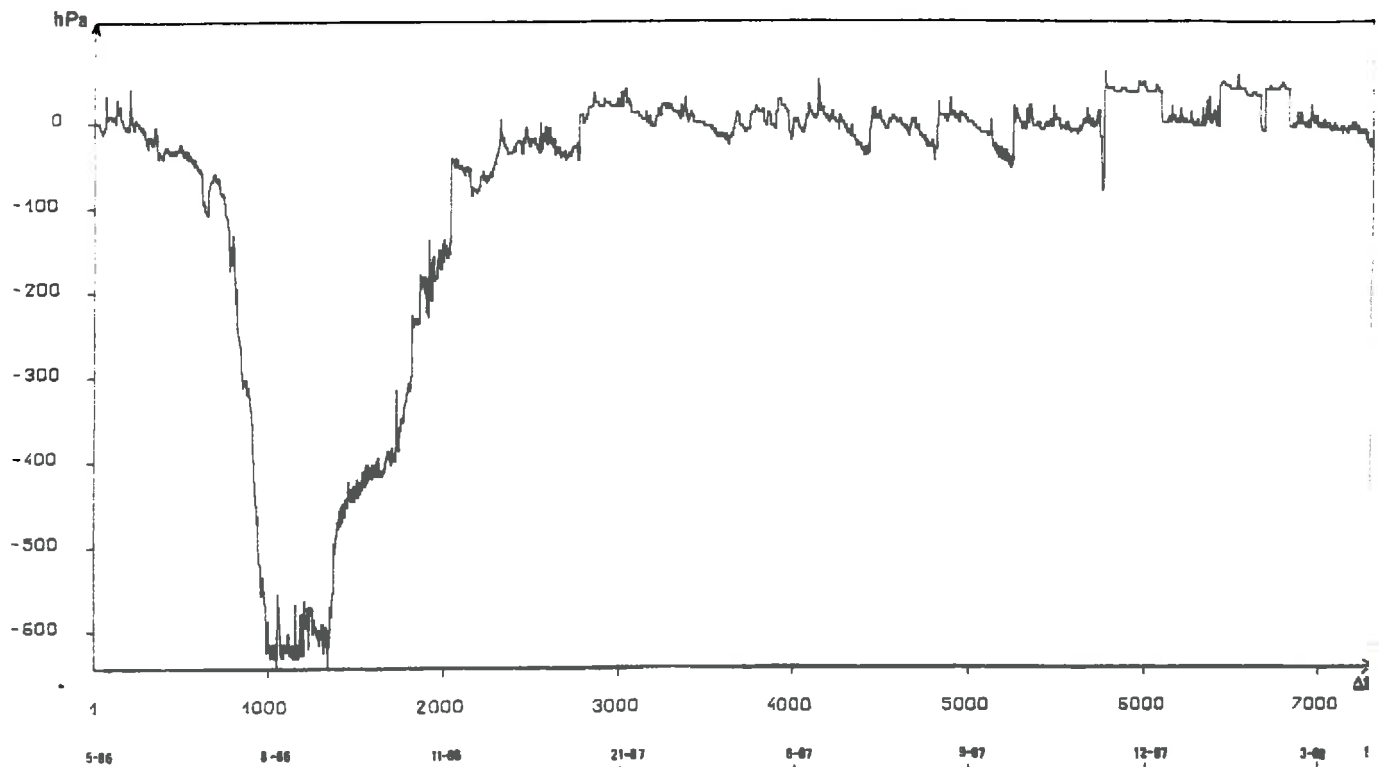
Chronique de la différence de potentiel entre 25 et 195cm de profondeur
(5/86-5/88)



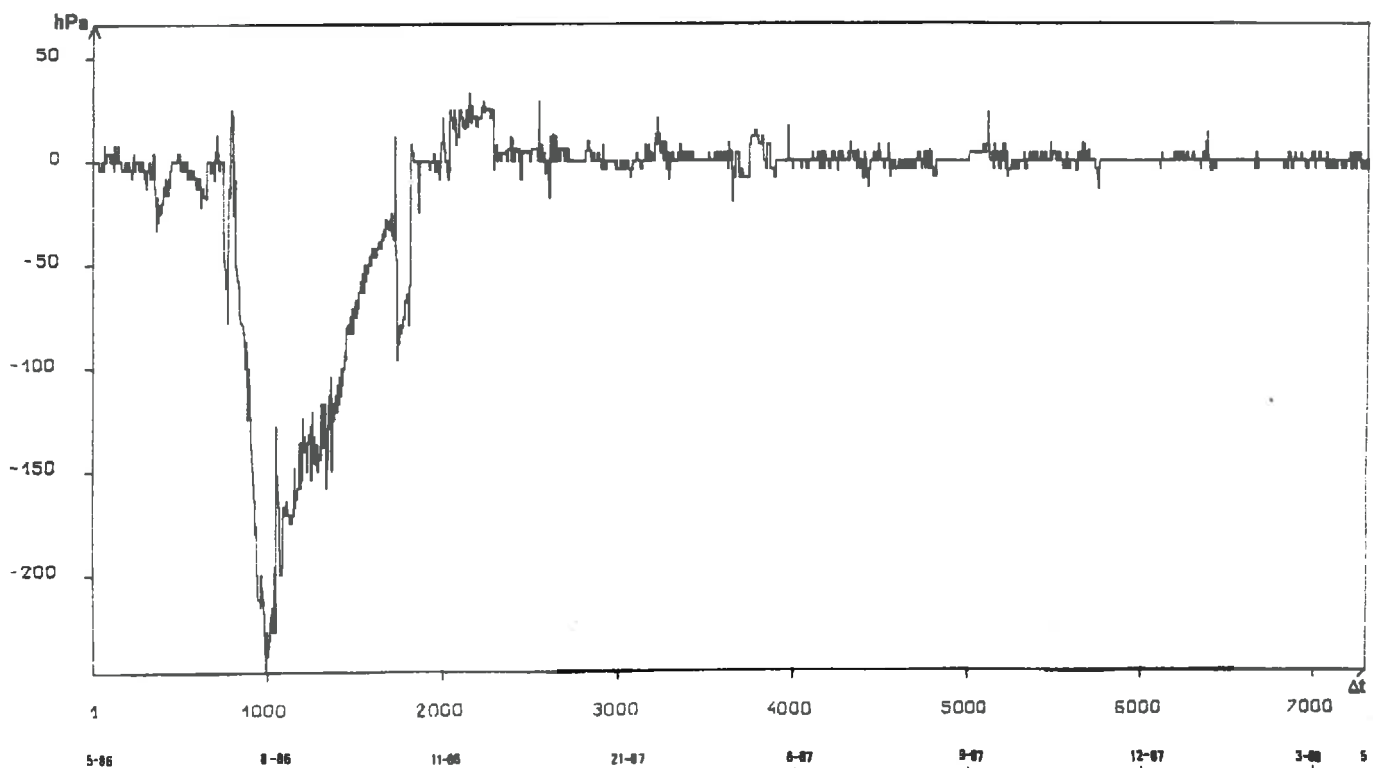
Chronique de la différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur
(5/86-5/88)



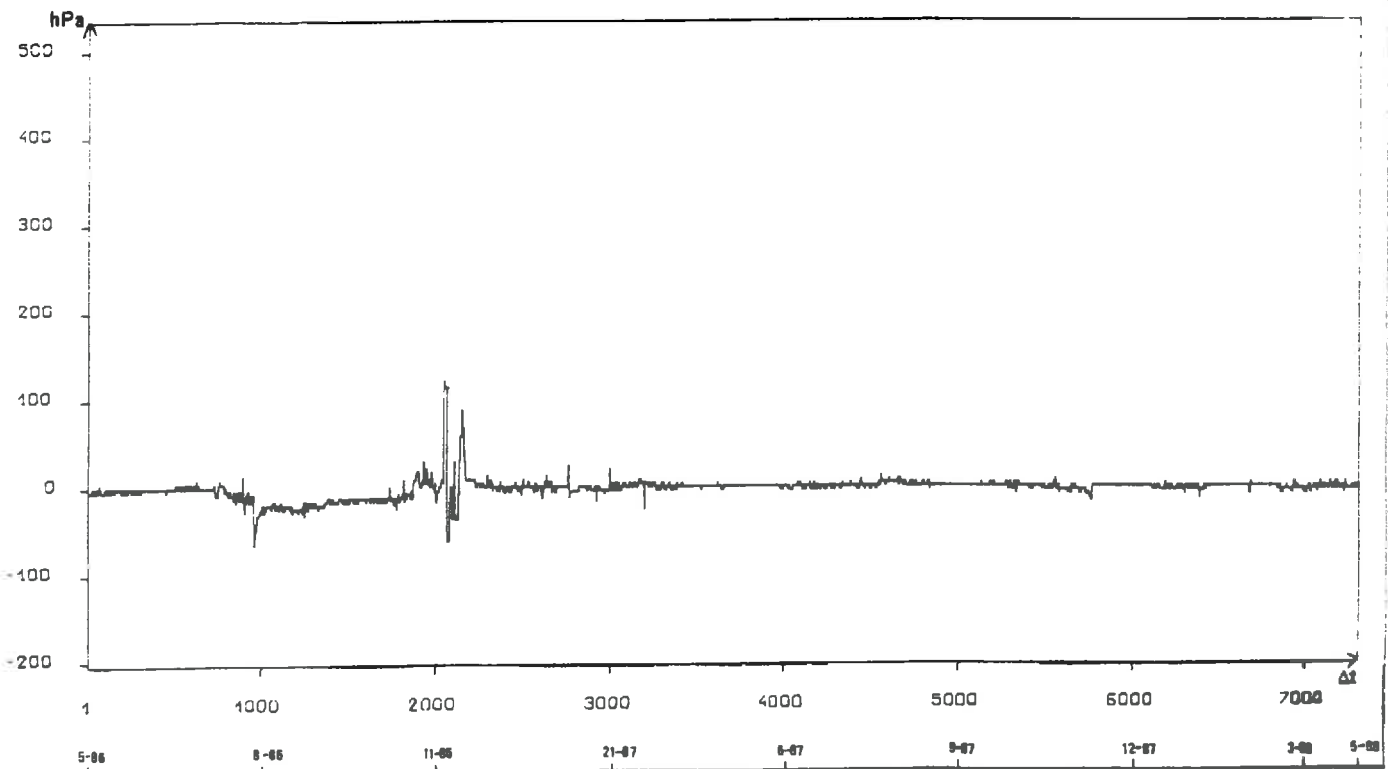
Chronique de la différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur
(5/86-5/88)



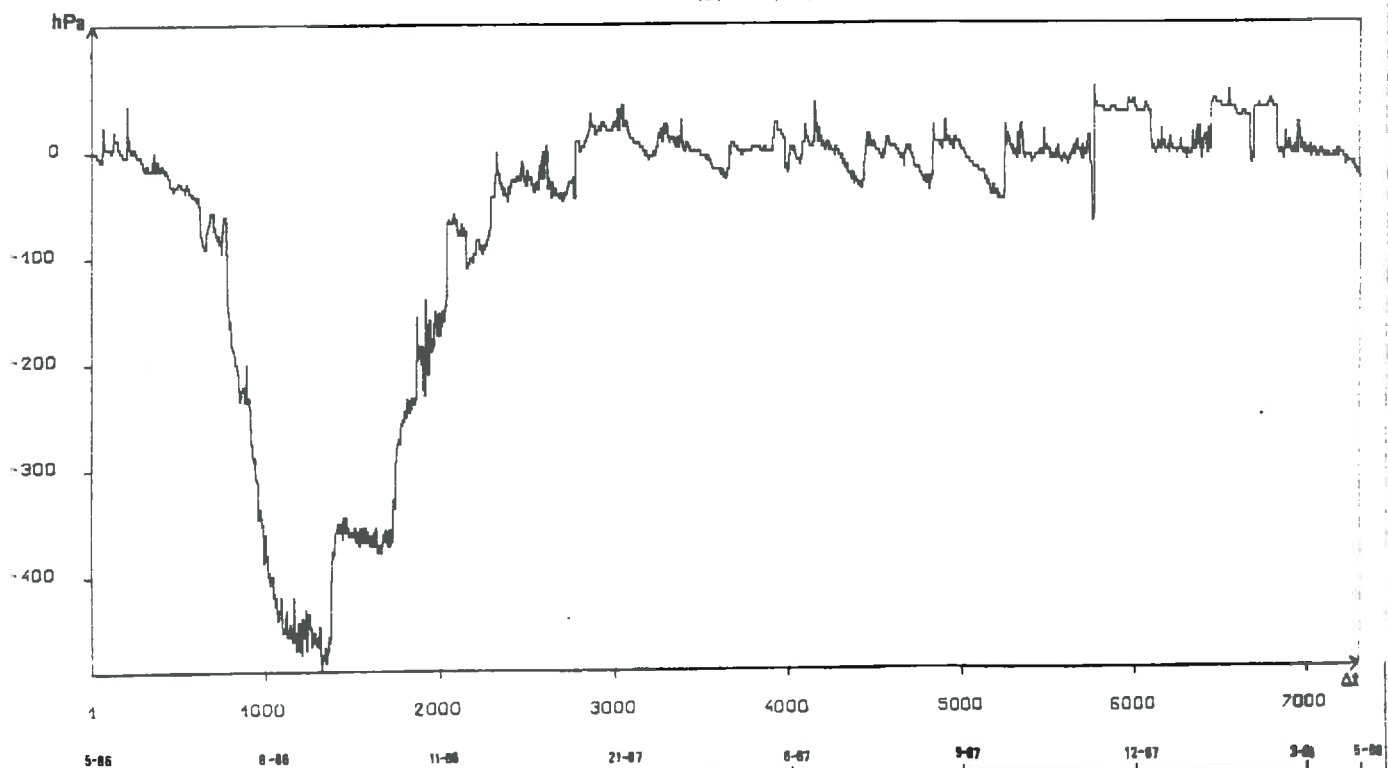
Chronique de la différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur
(5/86-5/88)



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

Traitement des données

V.1 - Equation de PENMAN

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

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

Les différentes données du calcul sont de 3 types :

1 - données de base

- ϕ : latitude en degrés
- J : numéro du jour dans l'année: J = 1 le 1er Janvier
J = 365 le 31 Décembre
- T_n : température minimale
- 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

- $I g_a$: radiation solaire directe en l'absence d'atmosphère en cal/cm2/jour ;
 $I g_a = f(J, \phi)$
- 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)
 $T_d = T_n + \epsilon$; ϵ 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
 $a = 0,2$
- σ : constante de STEFAN BOLTZMAN : $1,18 \cdot 10^{-7}$ cal/cm2/jour/°K
- γ : constante psychrométrique = 0,65

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

.

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

***** REGRESSION *****

LA PARTITIONNÉE DU FICHIER : 2 TOTAL

NOMBRE D'OBSERVATIONS		276	NOMBRE DE VARIABLES	2

NO	NOM	MOYENNE	ECART-TYPE	
1	COMPT	598.942	31.339	
2	HVMIL	335.159	44.943	

MATRICE DES CORRELATIONS

	COMPT	HVMIL
COMPT	1.0000	
HVMIL	0.9921	1.0000

VARIABLE EXPLIQUEE : HVMIL

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

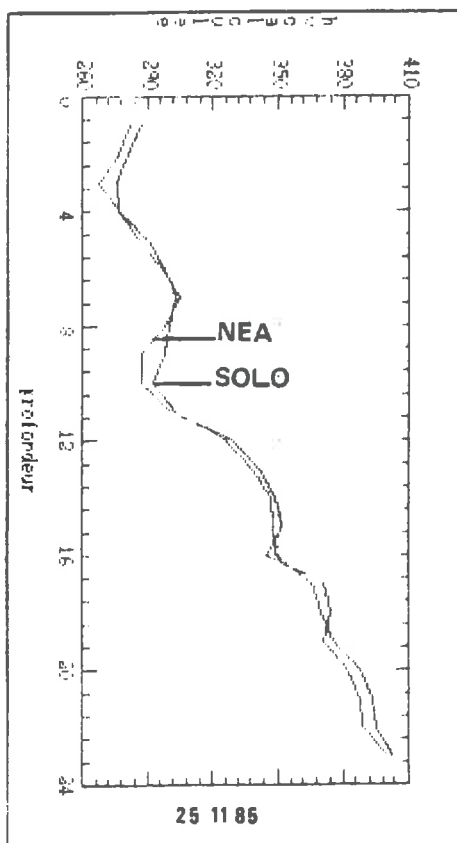
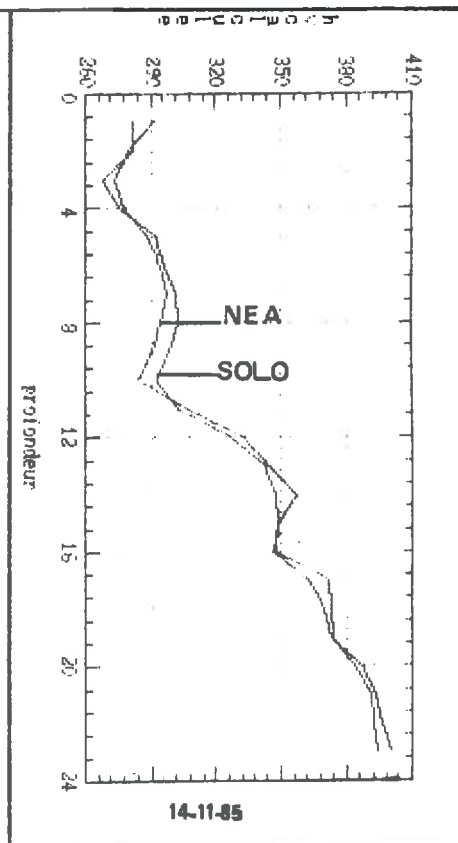
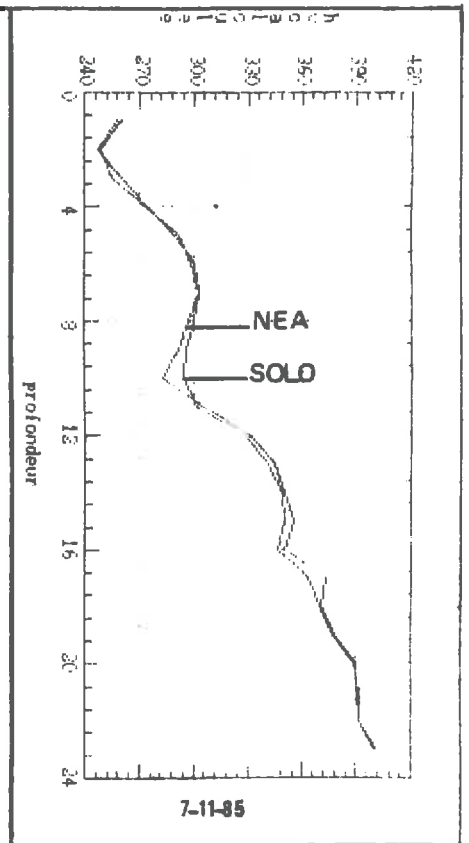
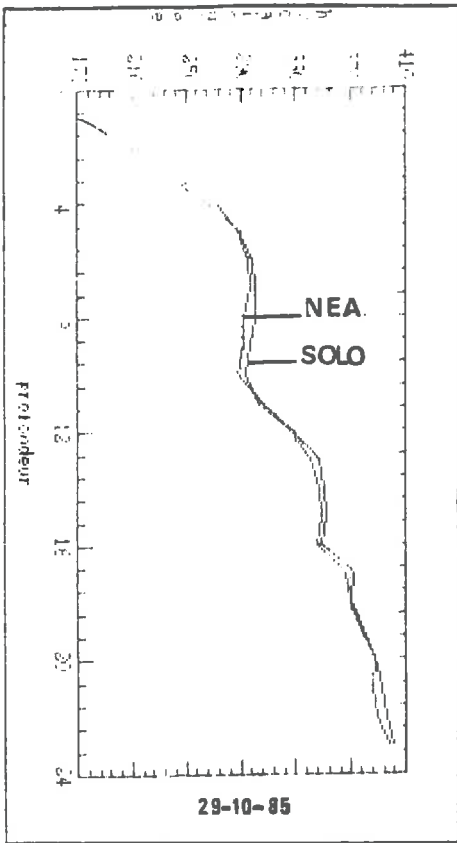
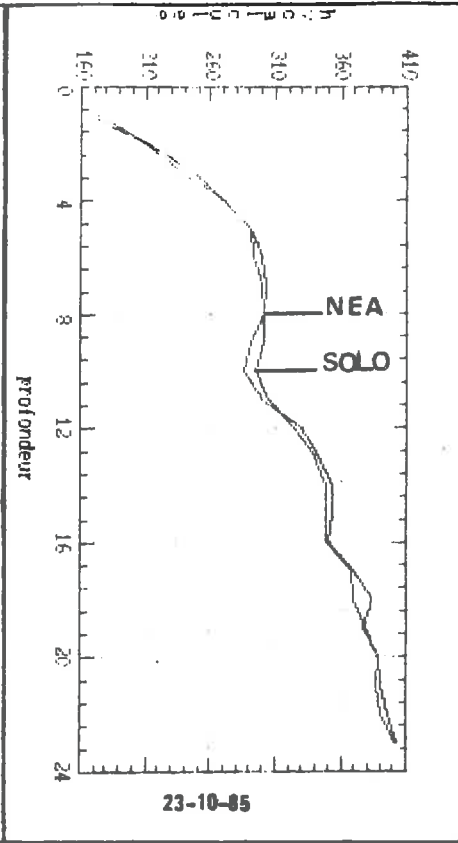
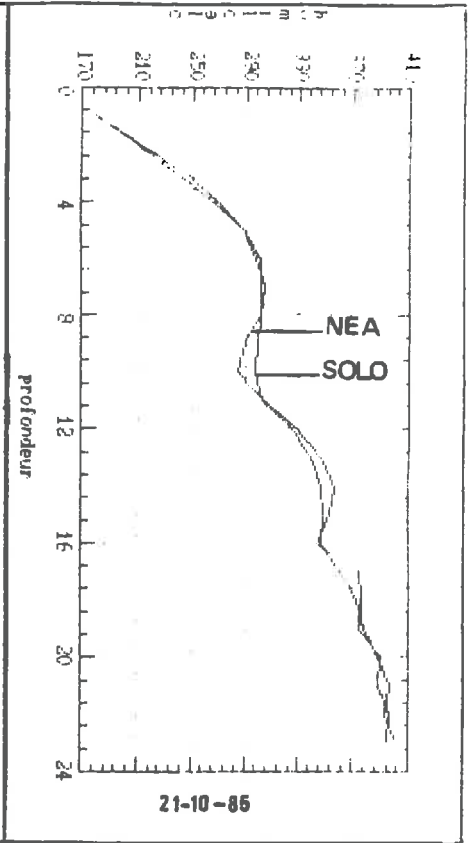
TERME CONSTANT : 5.9374

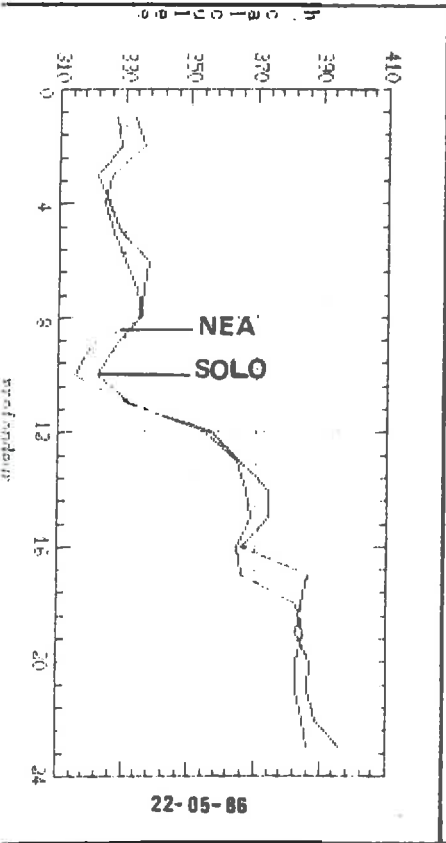
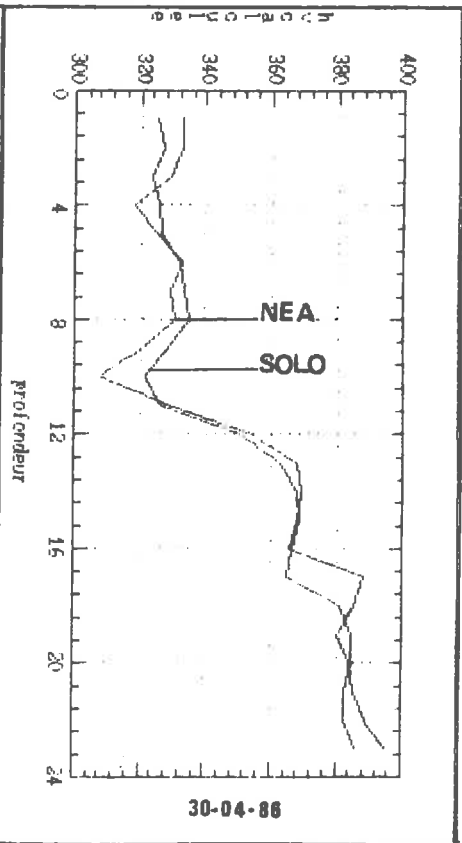
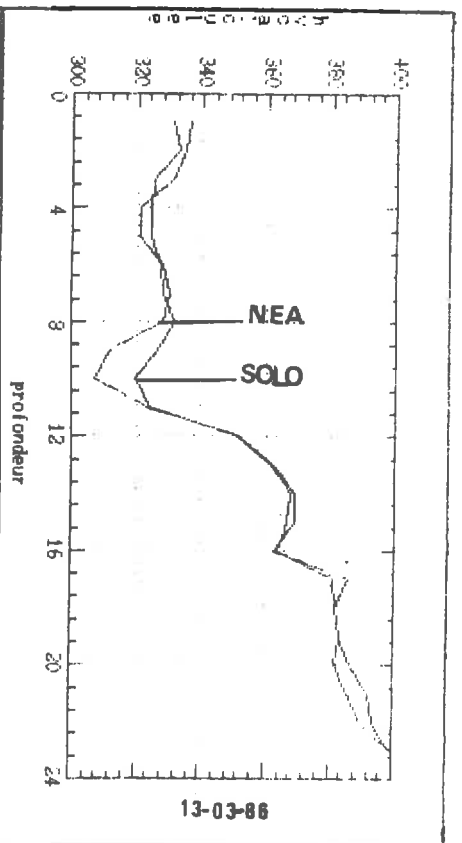
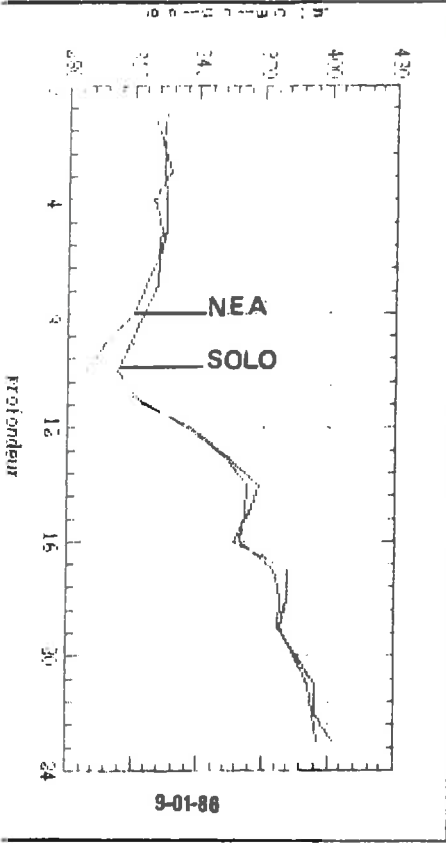
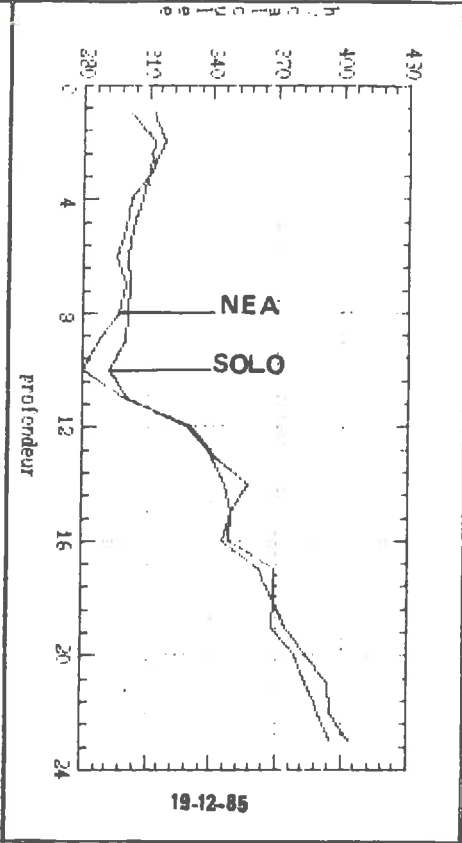
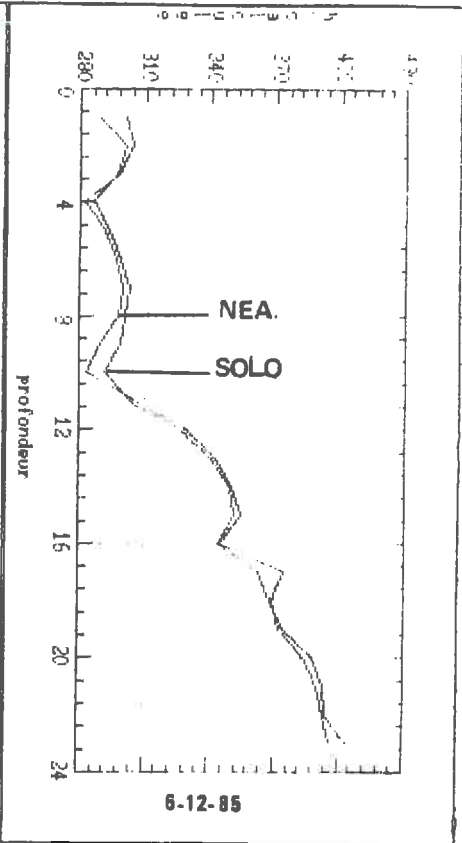
ECART-TYPE RESIDUEL =	5.6630
R ² =	0.9842
r =	0.9921

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SS	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	558469.380	275		
REGRESSION	546712.690	1	546712.6900	17106.8418
RESIDUELLE	8756.688	274	31.9587	

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



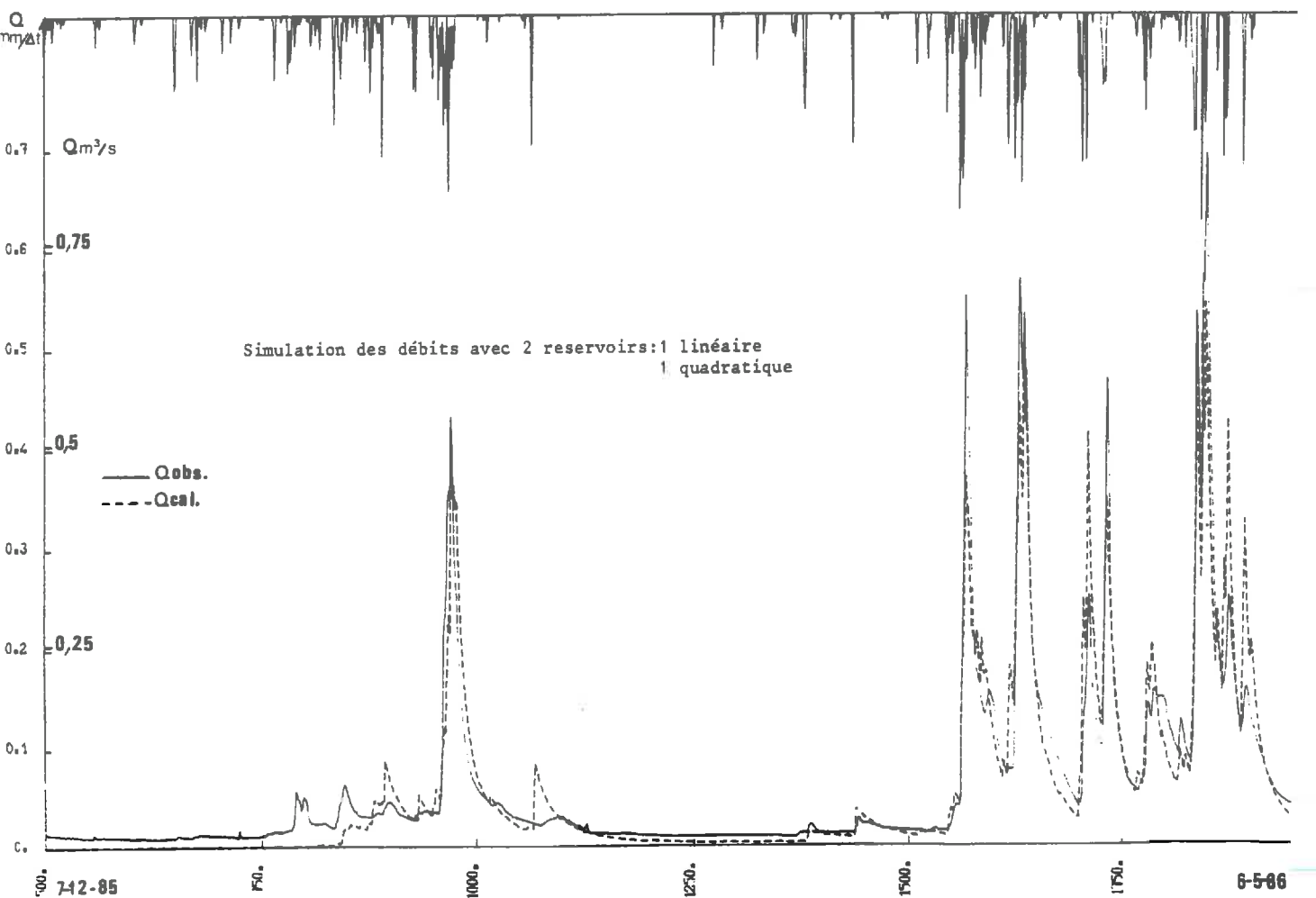
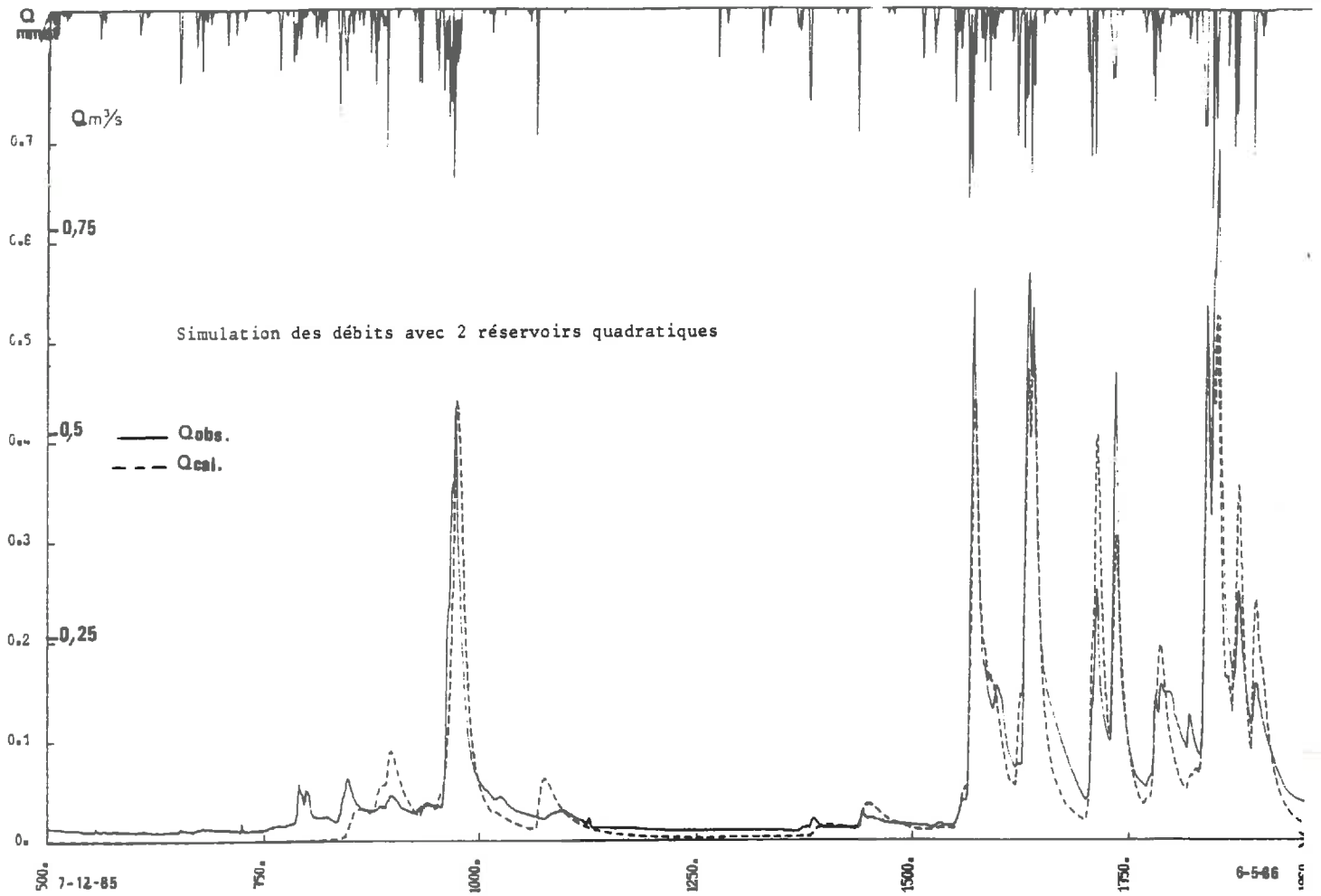


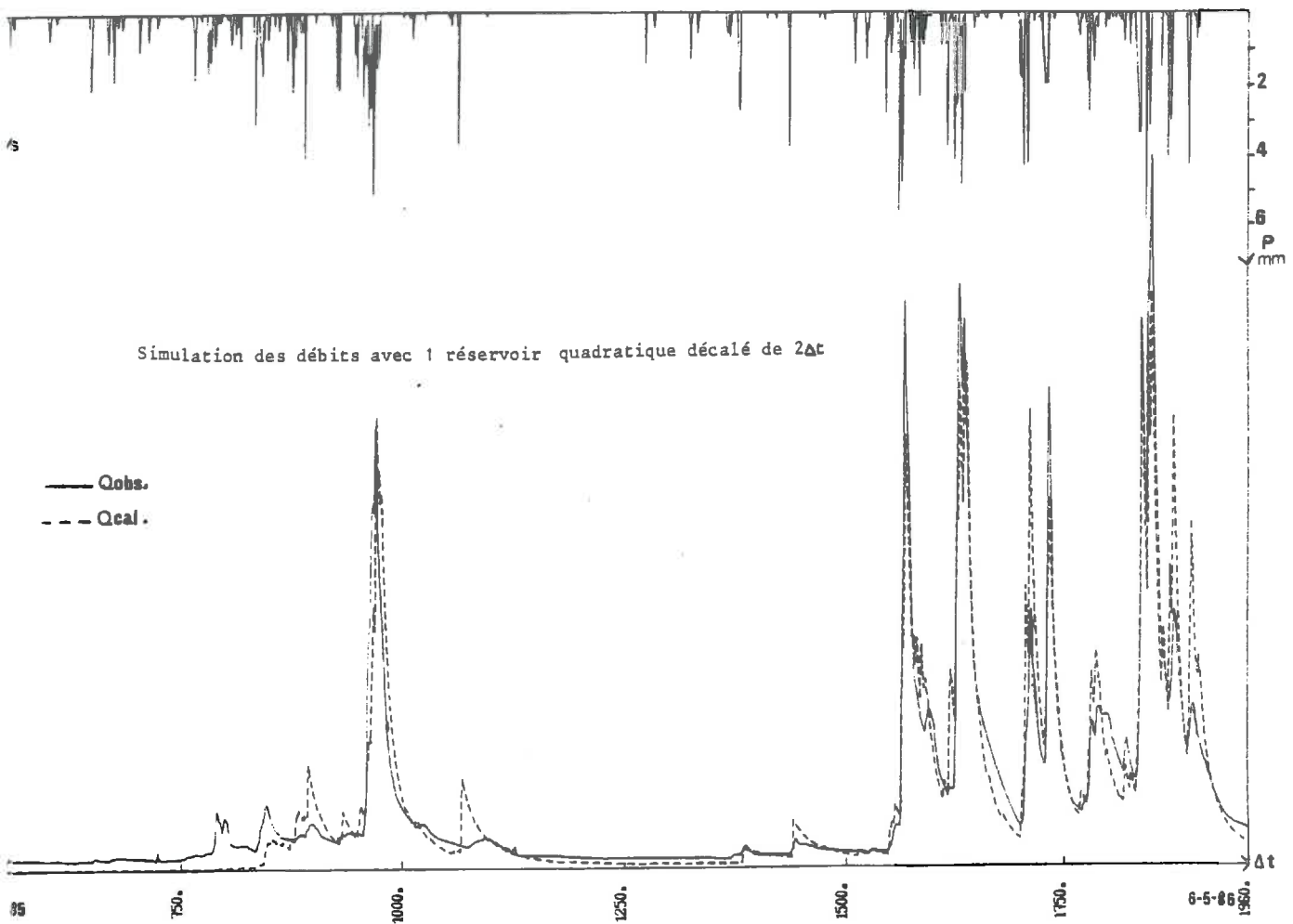
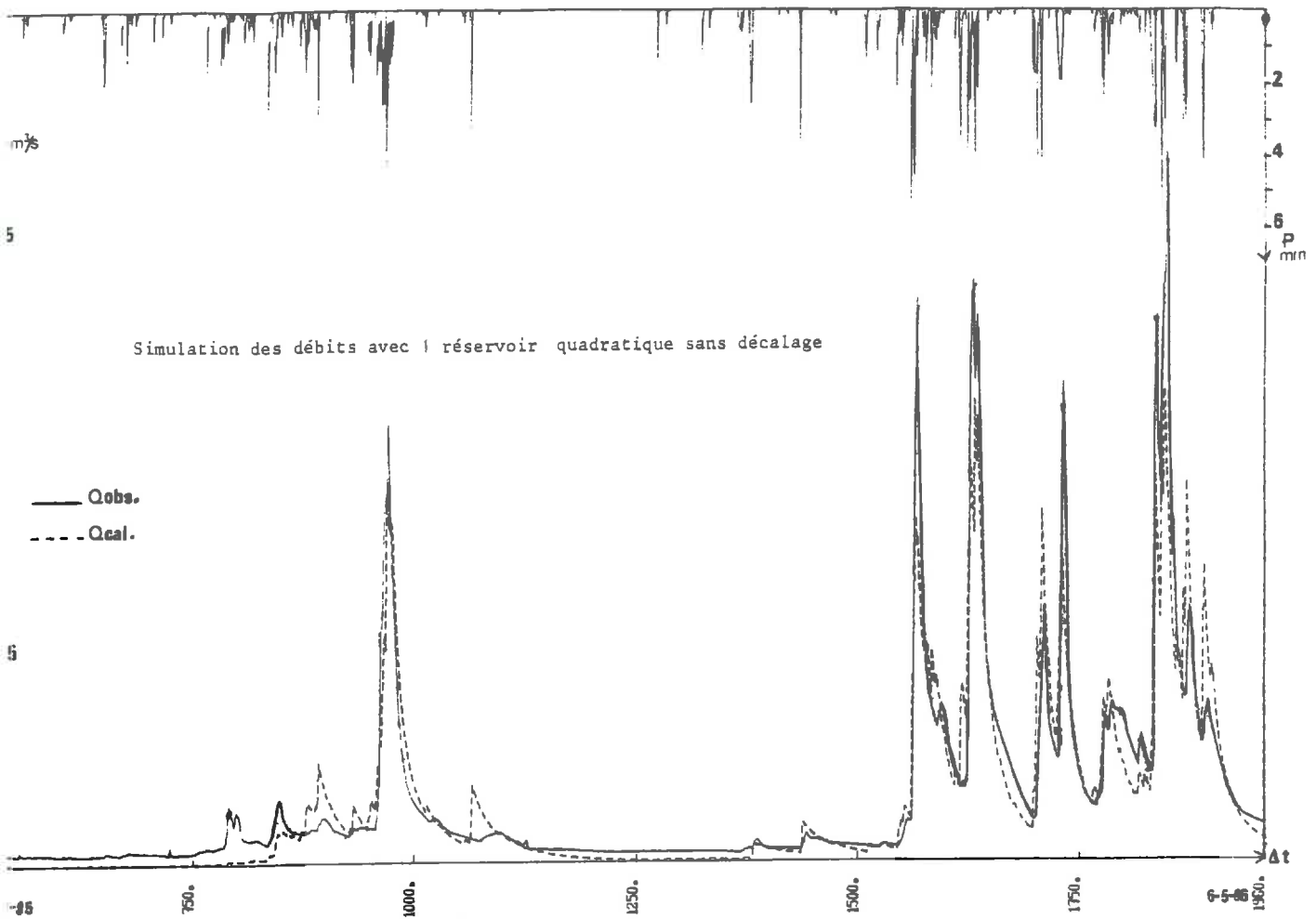
A N N E X E VI

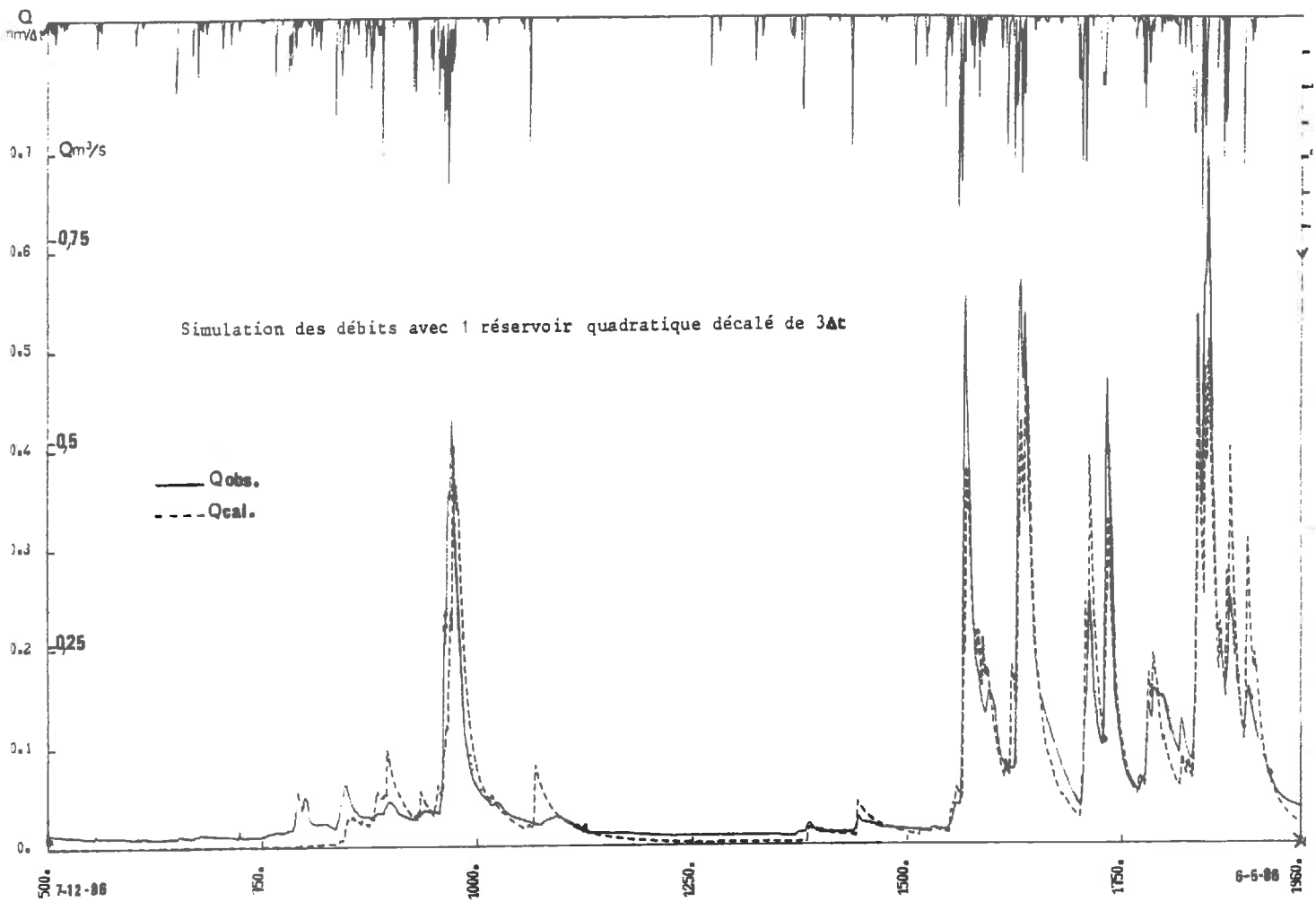
Calage des paramètres de la fonction de transfert et de production

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:

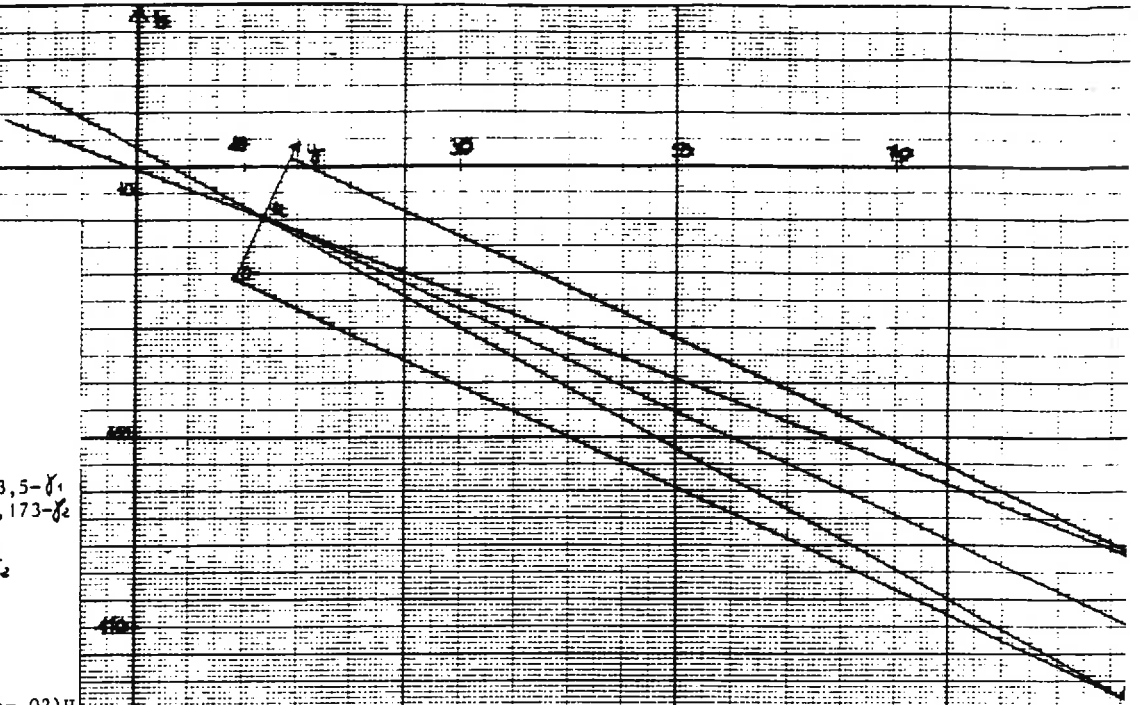
$$\begin{cases} a + 0,45 * b = 3 \\ a + 0,63 * b = -0,62 \end{cases}$$

et:

$$\begin{aligned} \underline{u} \begin{cases} x=0 \rightarrow \delta_1=12 \\ y=0 \rightarrow \delta_2=-2 \end{cases} & \quad \underline{v} \begin{cases} x=1 \rightarrow \delta_1=93,5-\delta_1 \\ y=0 \rightarrow \delta_2=-173-\delta_2 \end{cases} \\ \underline{w} \begin{cases} x=0 \rightarrow \beta_1=-9+\delta_1 \\ y=-1 \rightarrow \beta_2=42+\delta_2 \end{cases} \end{aligned}$$

alors :

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



0,05 ≤ S ≤ 0,95 mm

on a donc:

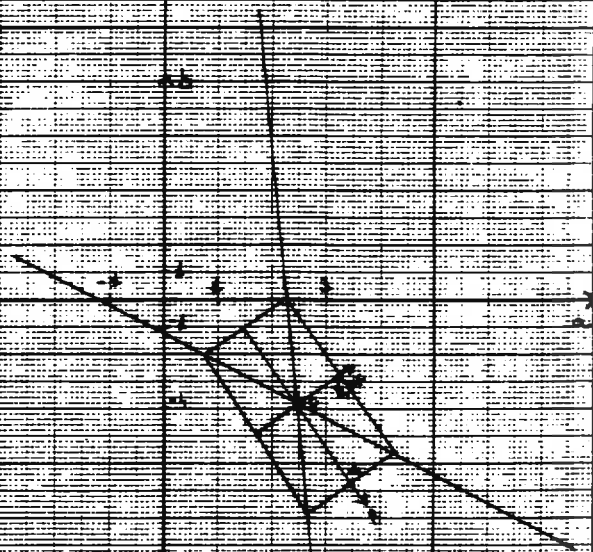
$$\begin{cases} a + 0,05 * b = 2,19 \\ a + 0,95 * b = -1,38 \end{cases}$$

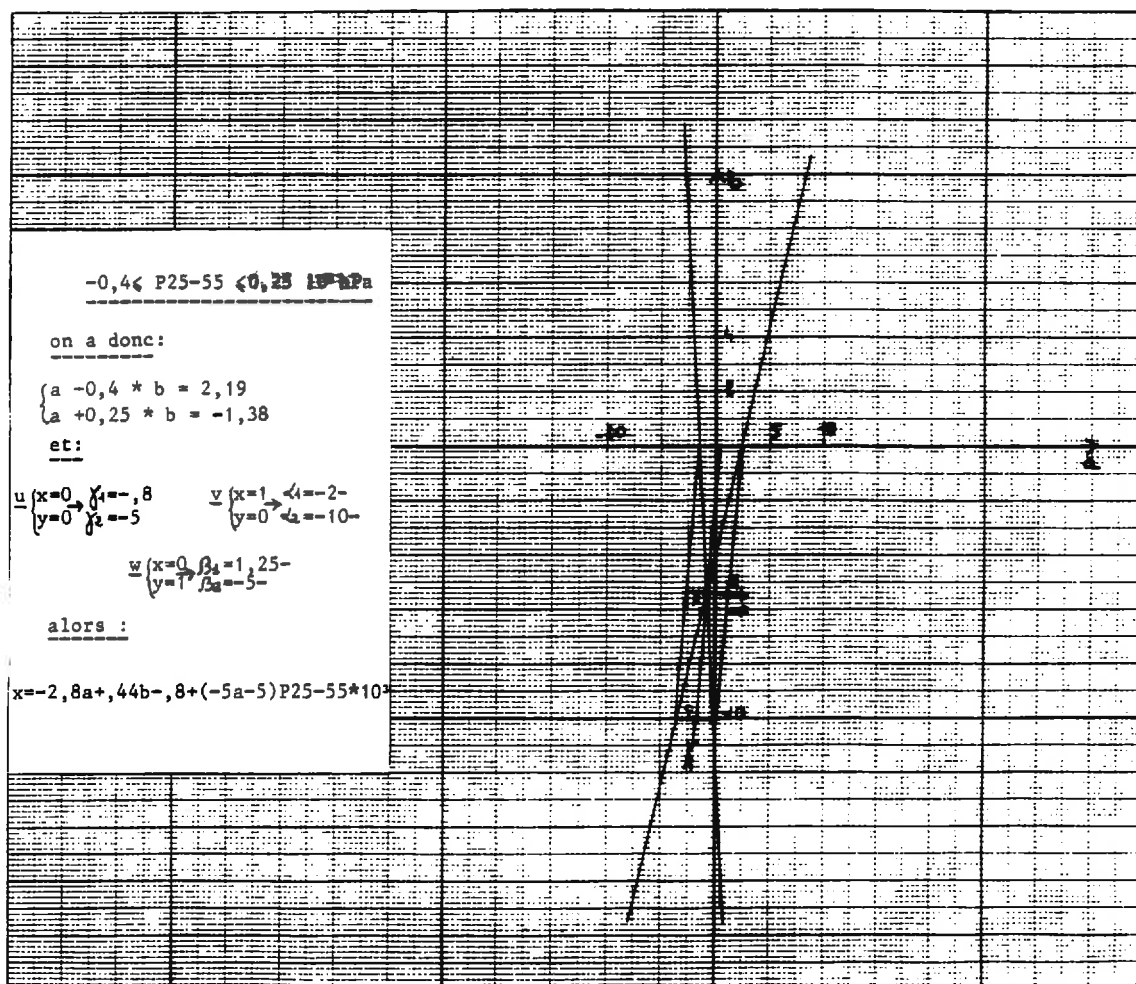
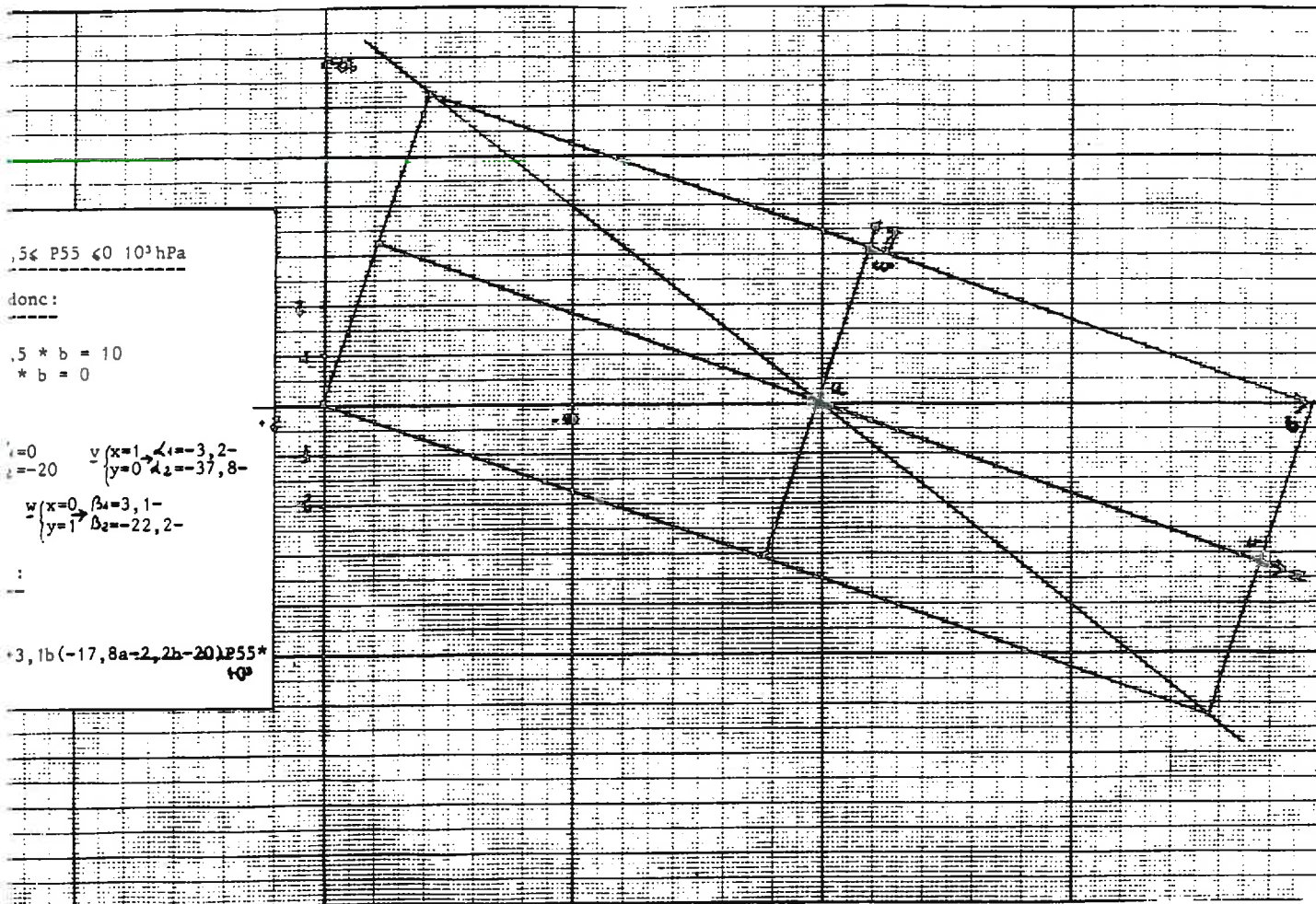
et:

$$\begin{aligned} \underline{u} \begin{cases} x=0 \rightarrow \delta_1=2,38 \\ y=0 \rightarrow \delta_2=-3,96 \end{cases} & \quad \underline{v} \begin{cases} x=1 \rightarrow \delta_1=3,4- \\ y=0 \rightarrow \delta_2=-6,8- \end{cases} \\ \underline{w} \begin{cases} x=0 \rightarrow \beta_1=3,15- \\ y=1 \rightarrow \beta_2=-2,8- \end{cases} \end{aligned}$$

alors :

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





$$0,42 \leq H15/H55 \leq 1,08$$

on a donc :

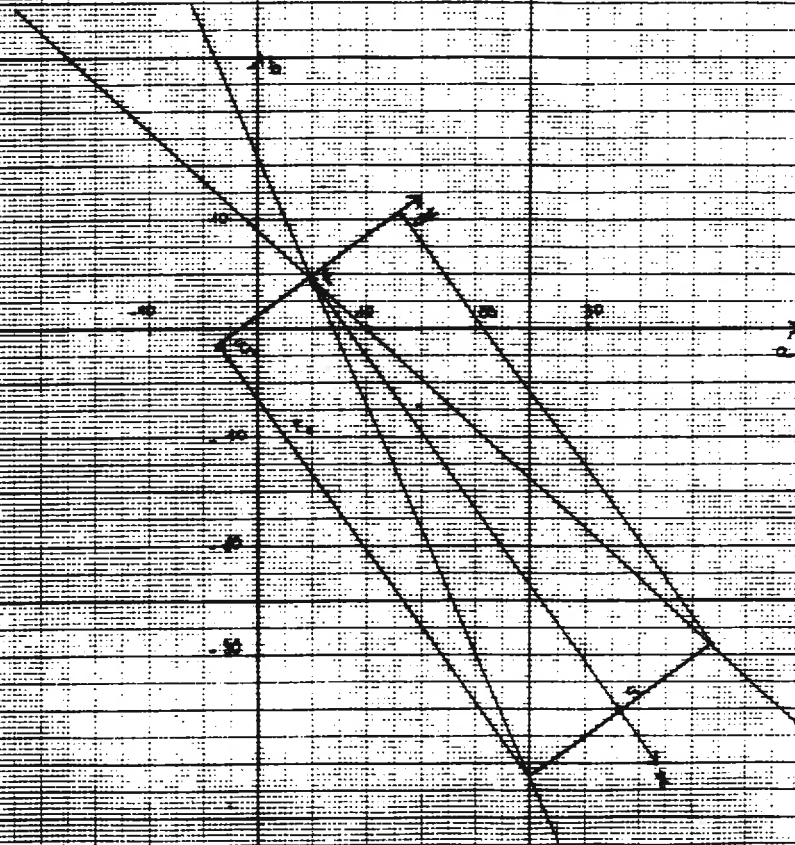
$$\begin{cases} a + 0,422 * b = 2,19 \\ a + 1,082 * b = -1,38 \end{cases}$$

et :

$$\begin{aligned} \text{u } \begin{cases} x=0 \rightarrow \beta_1=4,47 \\ y=0 \rightarrow \beta_2=-5,4 \end{cases} & \quad \text{v } \begin{cases} x=1 \rightarrow \alpha_1=33- \\ y=0 \rightarrow \alpha_2=-45- \end{cases} \\ \text{w } \begin{cases} x=0 \rightarrow \beta_3=3,75+ \\ y=1 \rightarrow \beta_4=11,25+ \end{cases} & \end{aligned}$$

alors :

$$x = 28,5a + 8,2b + 4,47 + (-39,6a + 5,8b - 5,4)H15/H55$$



VI.3 - Méthode d'optimisation de ROSENBROCK

METHODE DE ROSENBROCK

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) :

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

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 :

$$\alpha_1 = d_1 V_1^0 + d_2 V_2^0 + \dots + d_p V_p^0$$

$$\alpha_2 = d_2 V_2^0 + \dots + d_p V_p^0$$

$$\alpha_p = d_p V_p^0$$

α_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 ;

α_2 est la somme des progressions effectuées dans les directions autres que la première.

α_3 est la somme des progressions effectuées dans les directions autres que la première et la seconde.

α_1 détermine ainsi la direction préférentielle de recherche.

La seconde, déterminée par α_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 :

$$\beta_1 = \alpha_1$$

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

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

.....

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

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

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

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

$$\beta_1 = \alpha_1$$

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

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

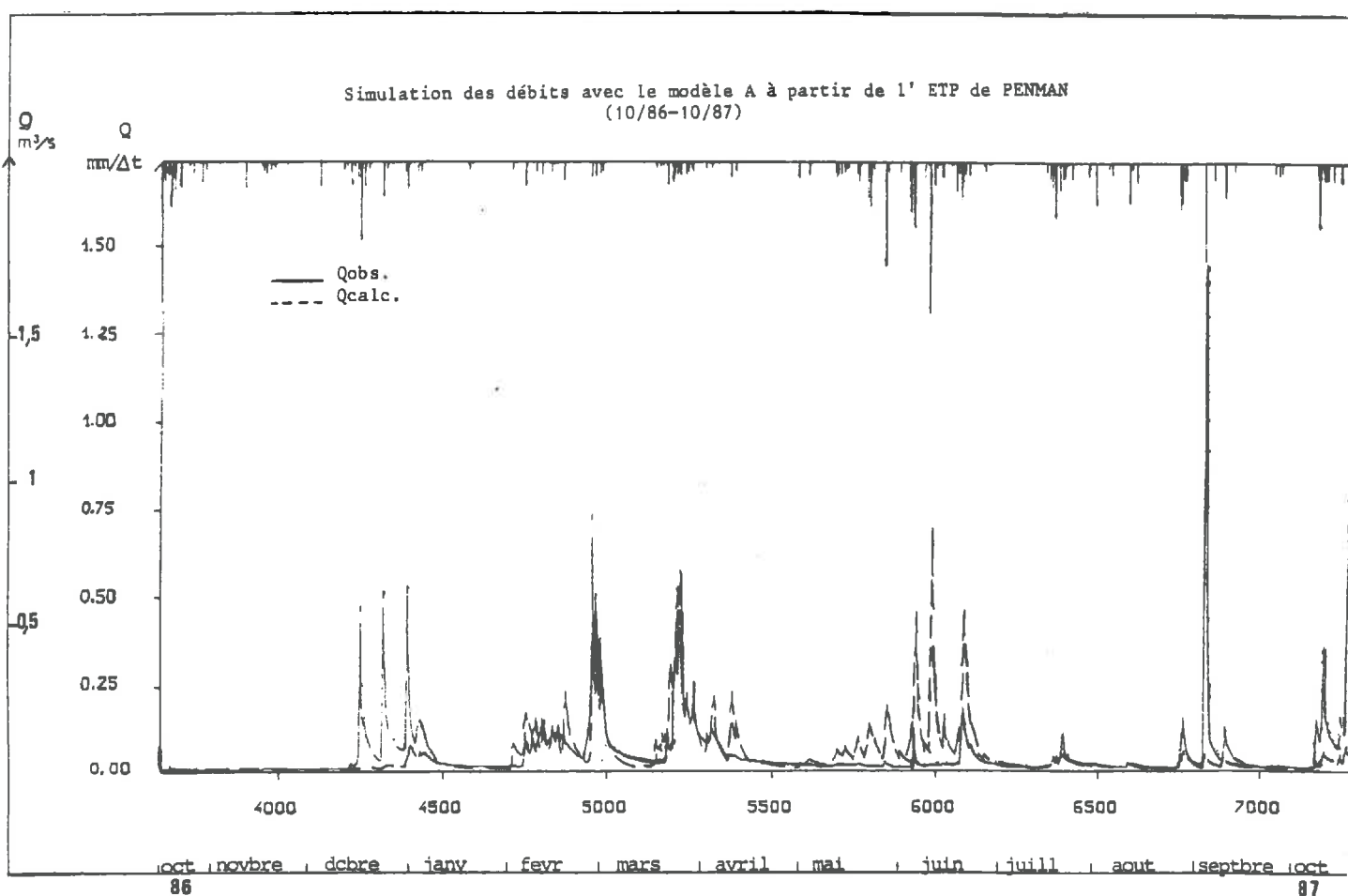
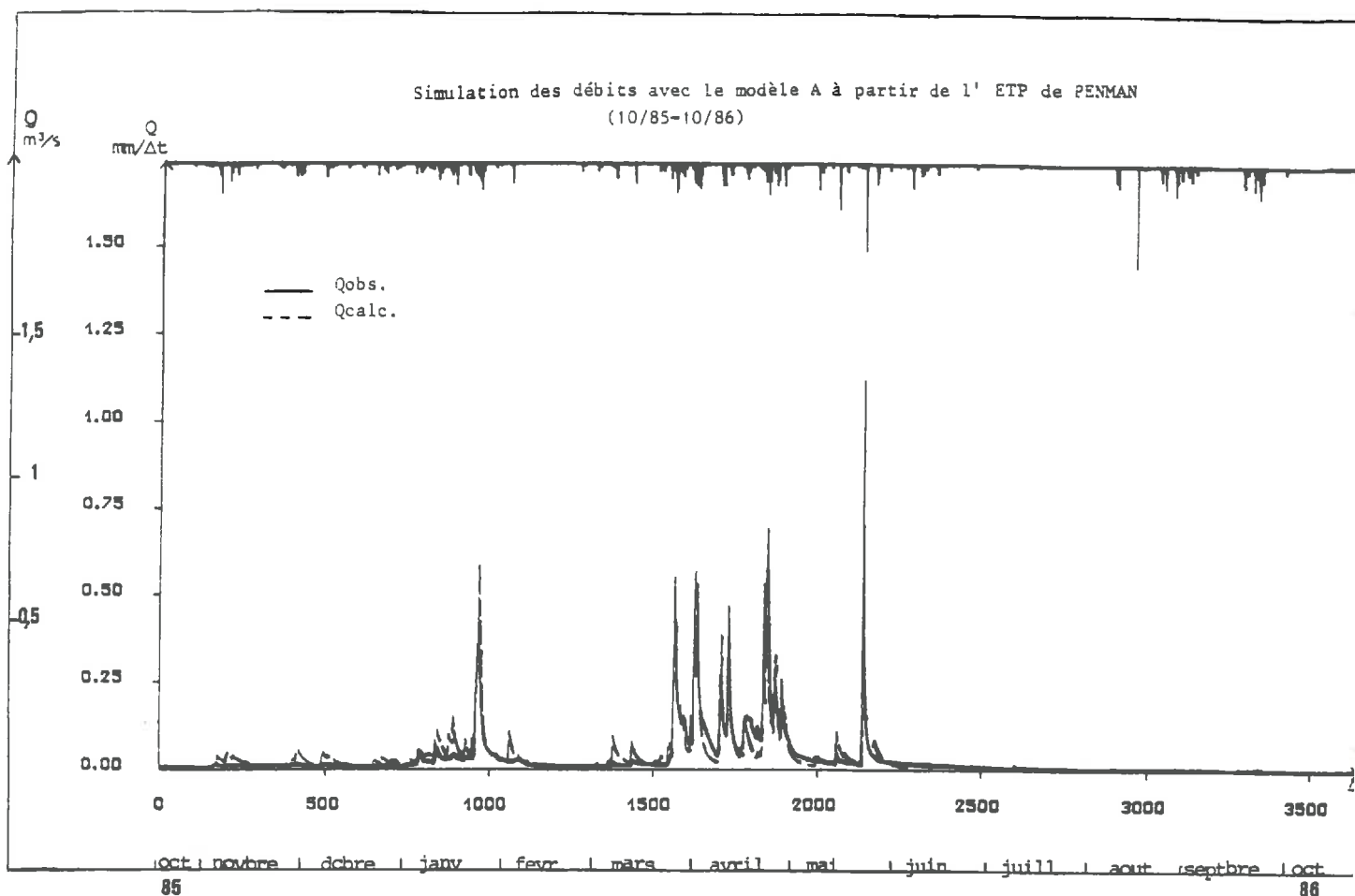
$$v_2^1 = \frac{\beta_2}{||\beta_2||}$$

A N N E X E VII

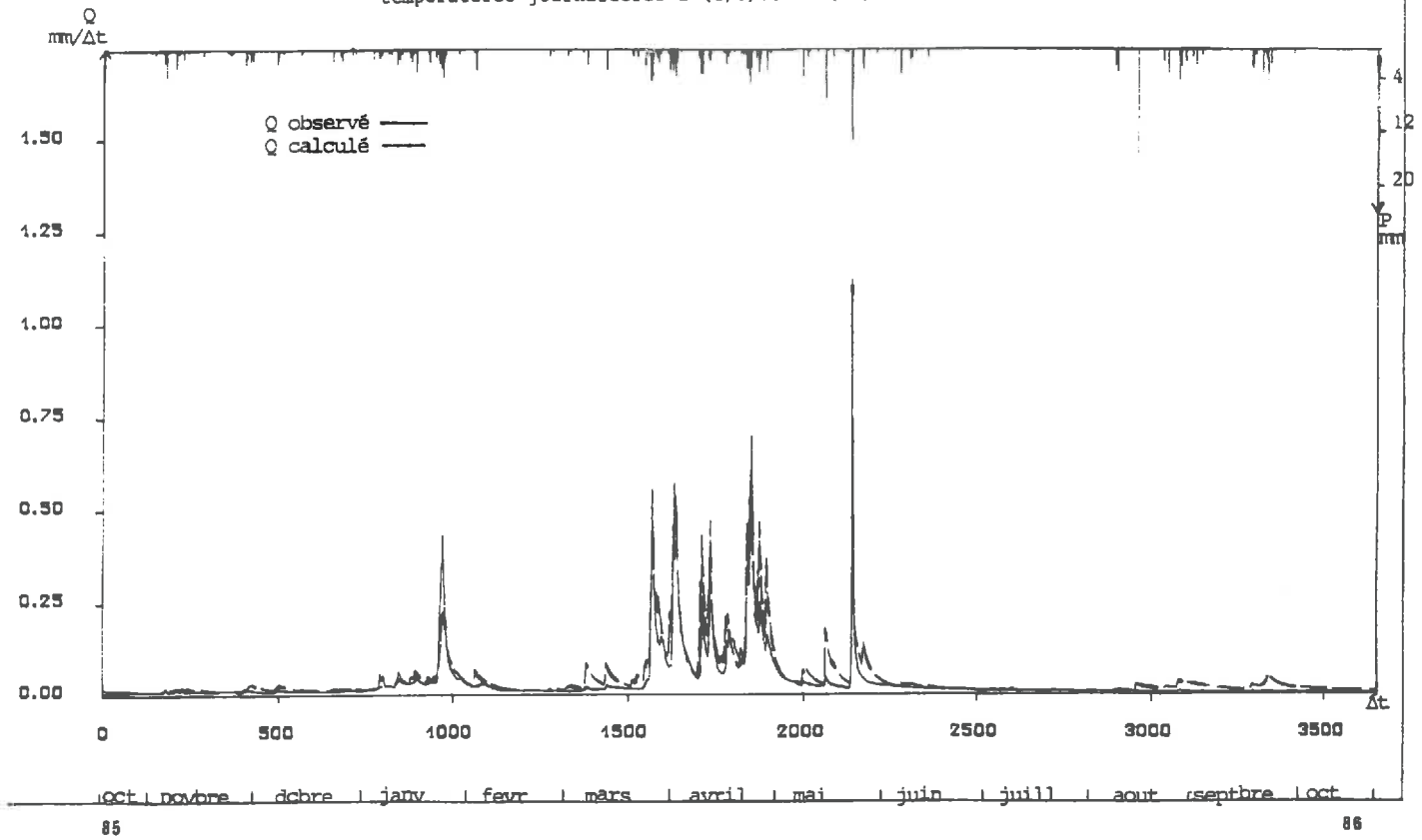
Dessins des chroniques de pluie et de débit (observé et calculé)

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

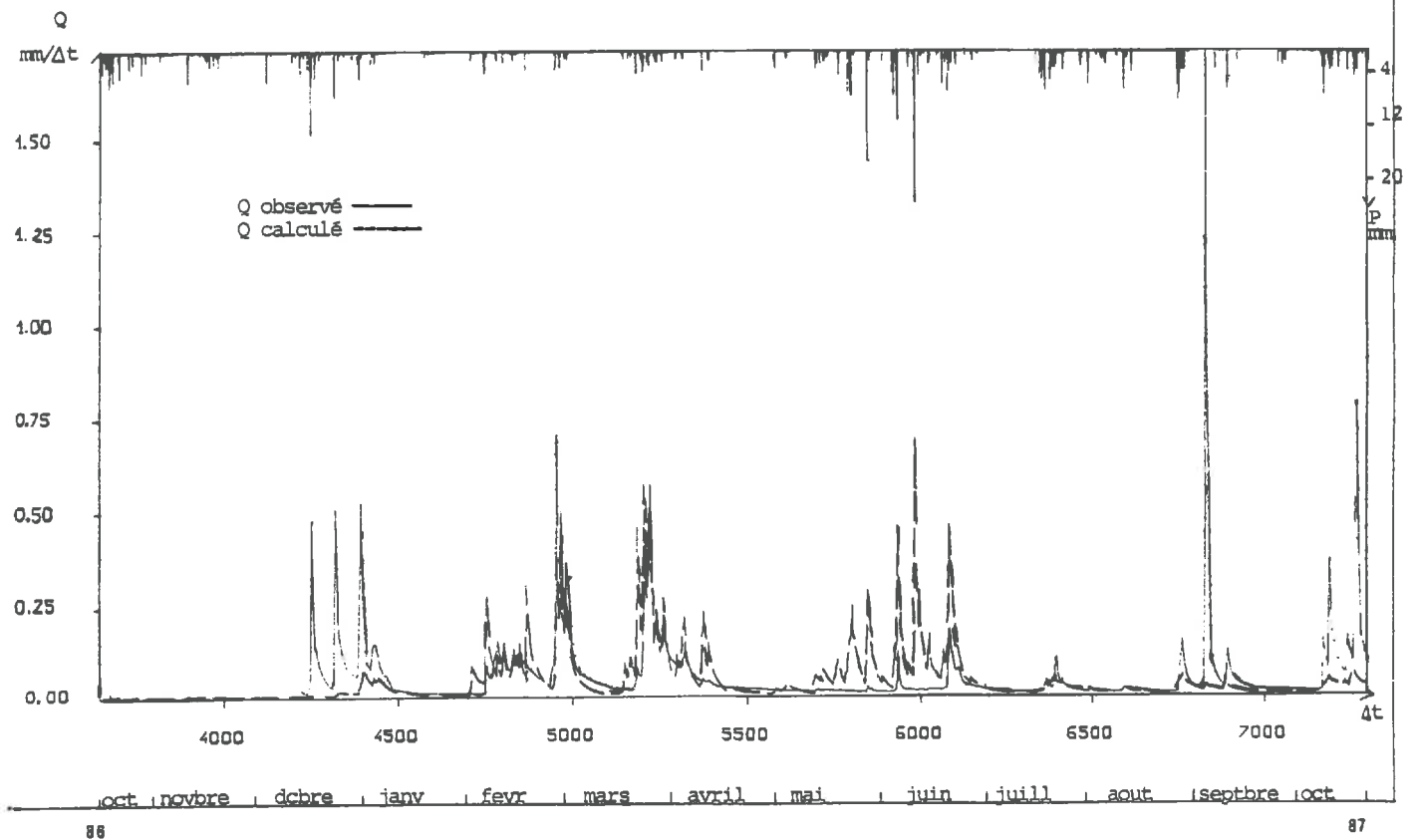
- a - à partir des données d'ETP PENMAN**
- b - à partir des données de températures journalières**



Simulation des débits avec le modèle 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)

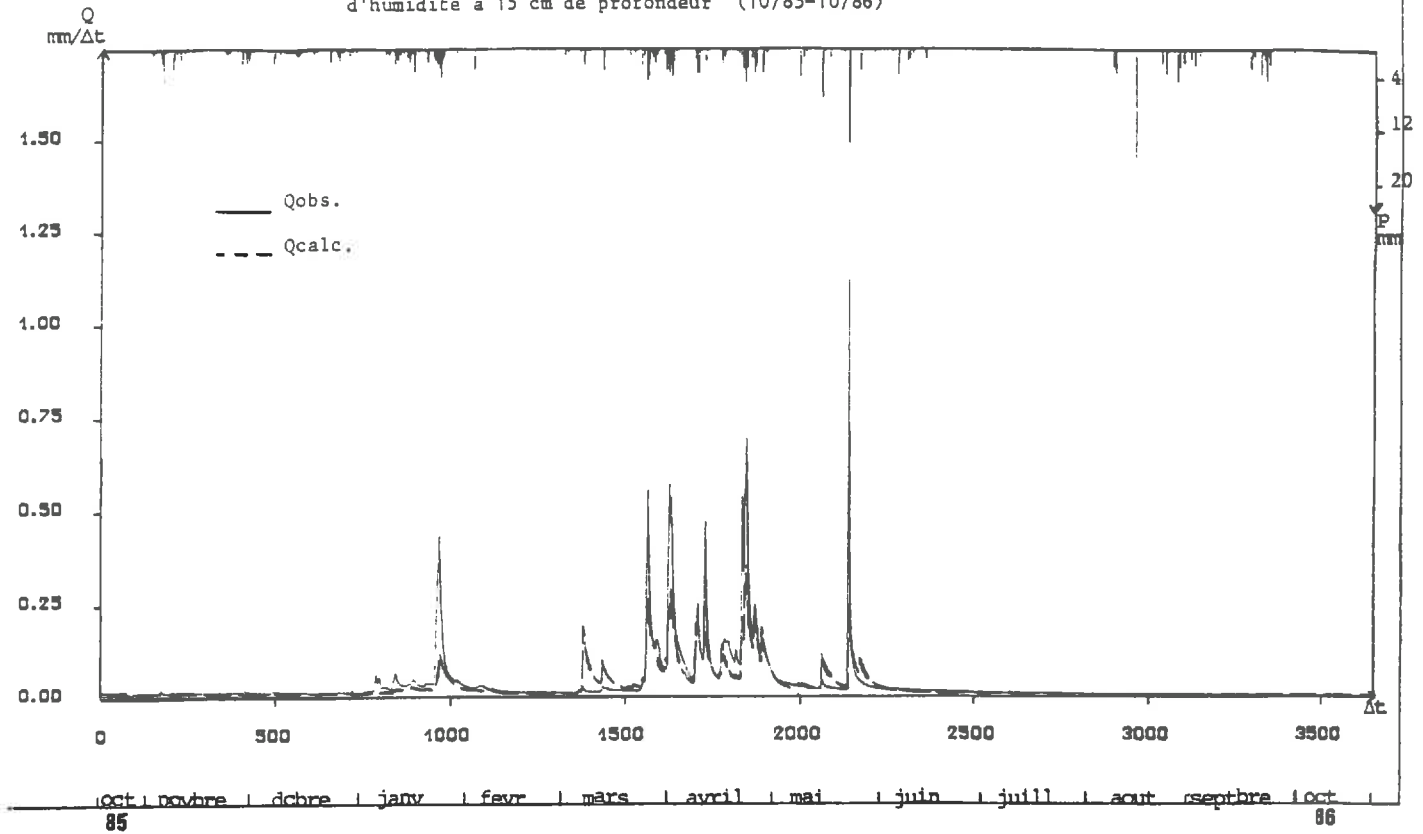


**VII.2 - Simulation des débits avec le modèle B sur une période de 2 ans
(10/85-10/87)**

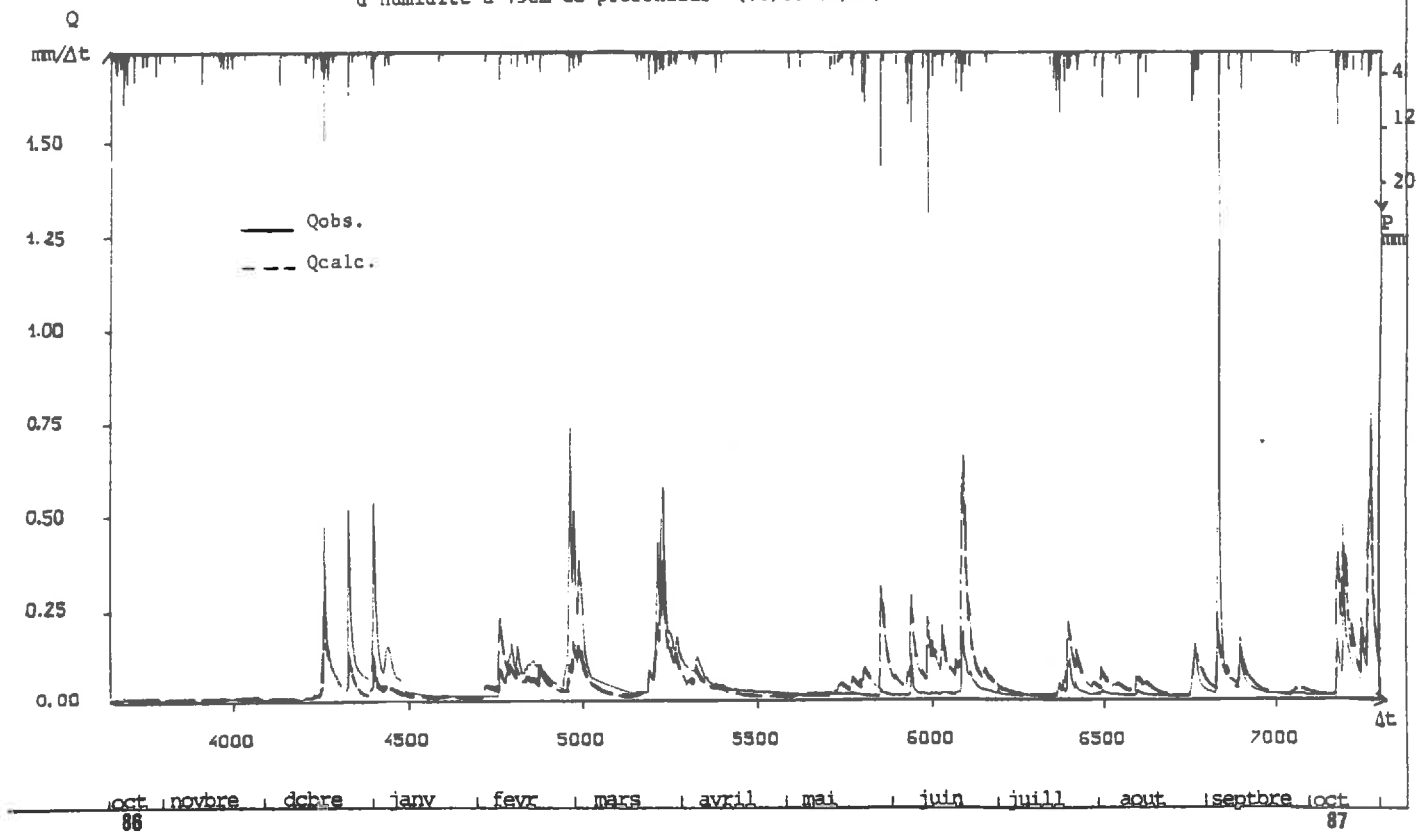
- a - pour les variations d'humidité à différentes profondeurs
(15 - 85 cm)**
- b - pour les variations d'humidité en cumulant les valeurs
de plusieurs profondeurs**
- c - pour les variations du "gradient" d'humidité**

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

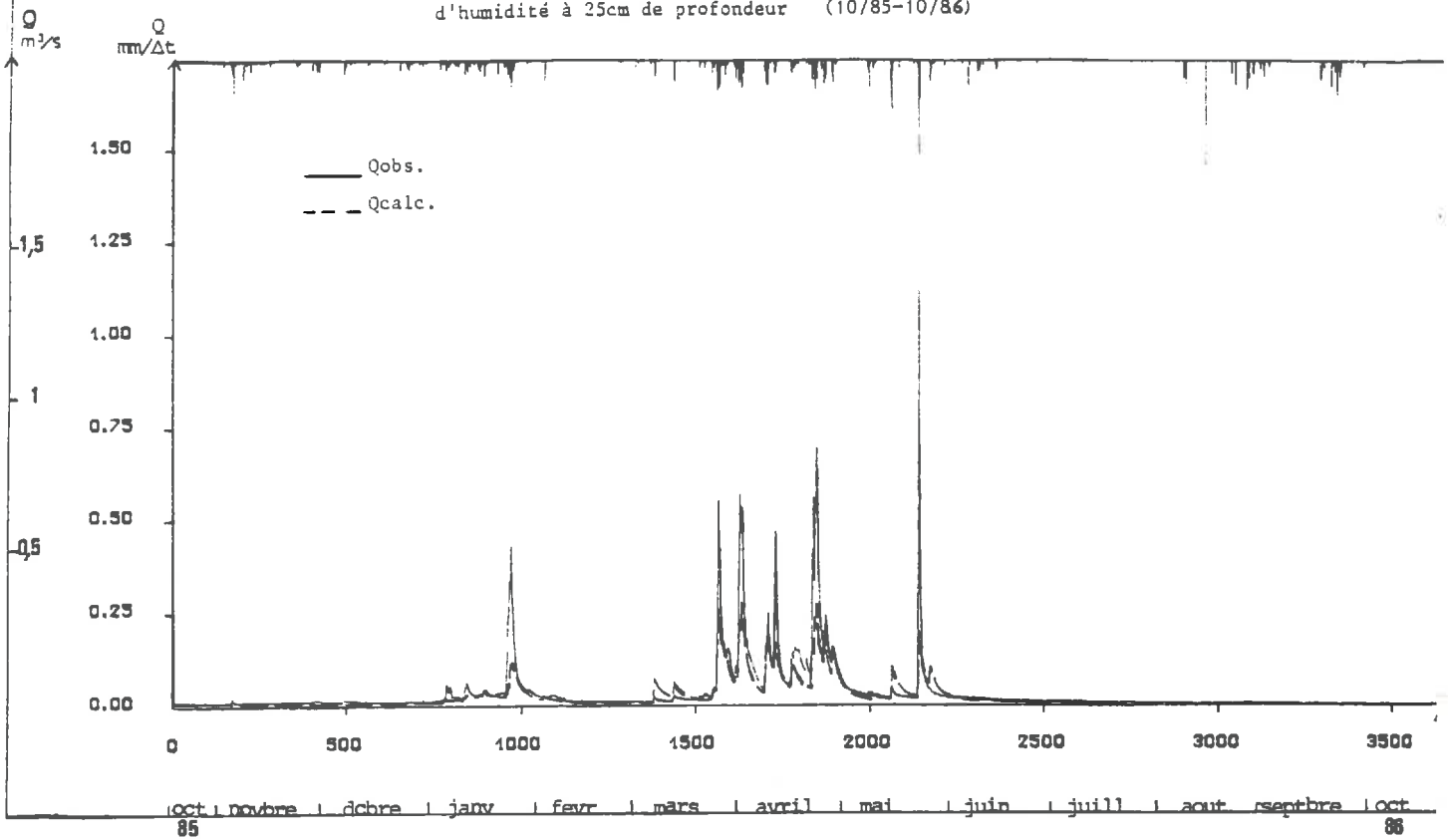
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 15 cm de profondeur (10/85-10/86)



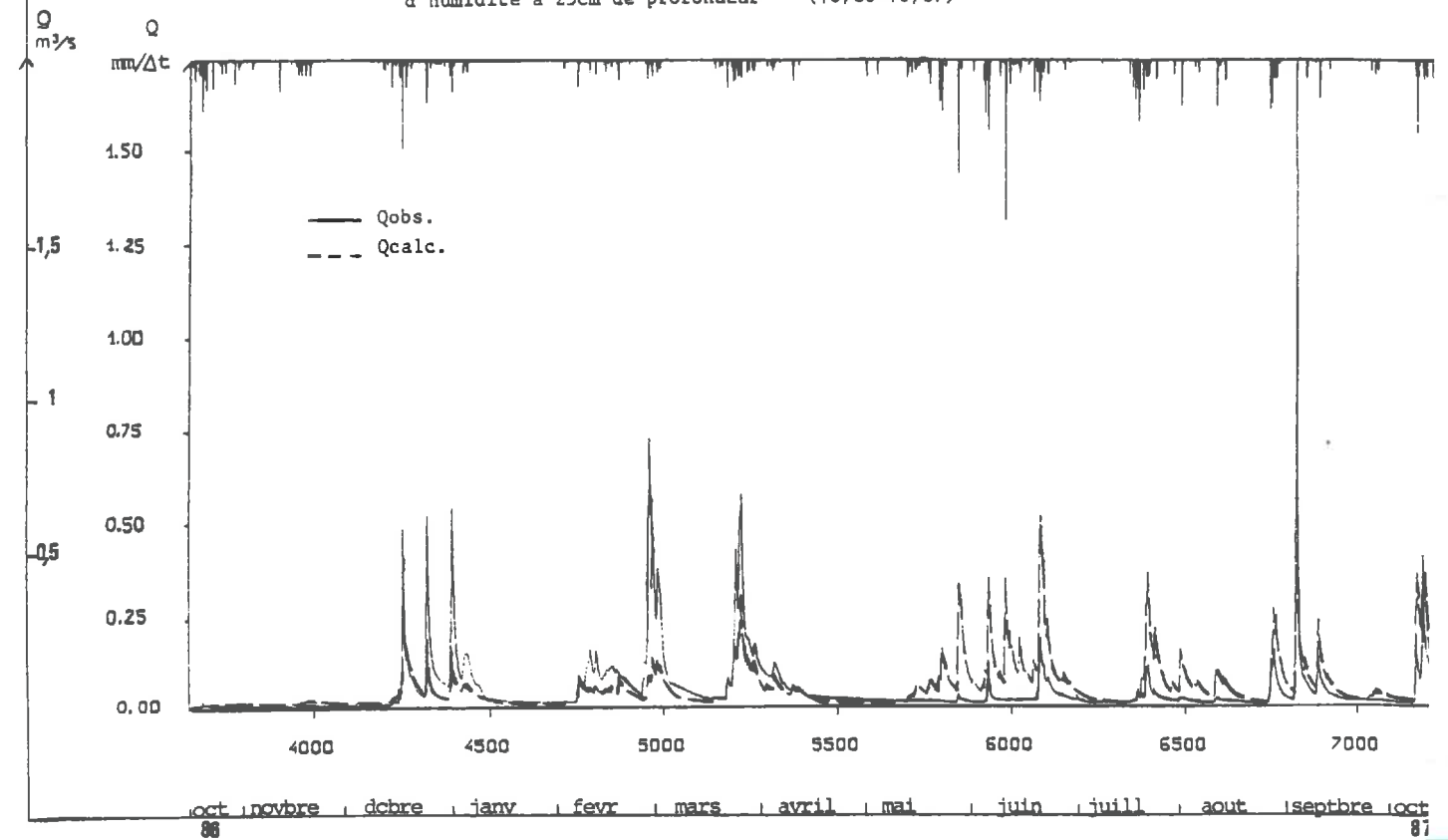
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 15cm de profondeur (10/86-10/87)



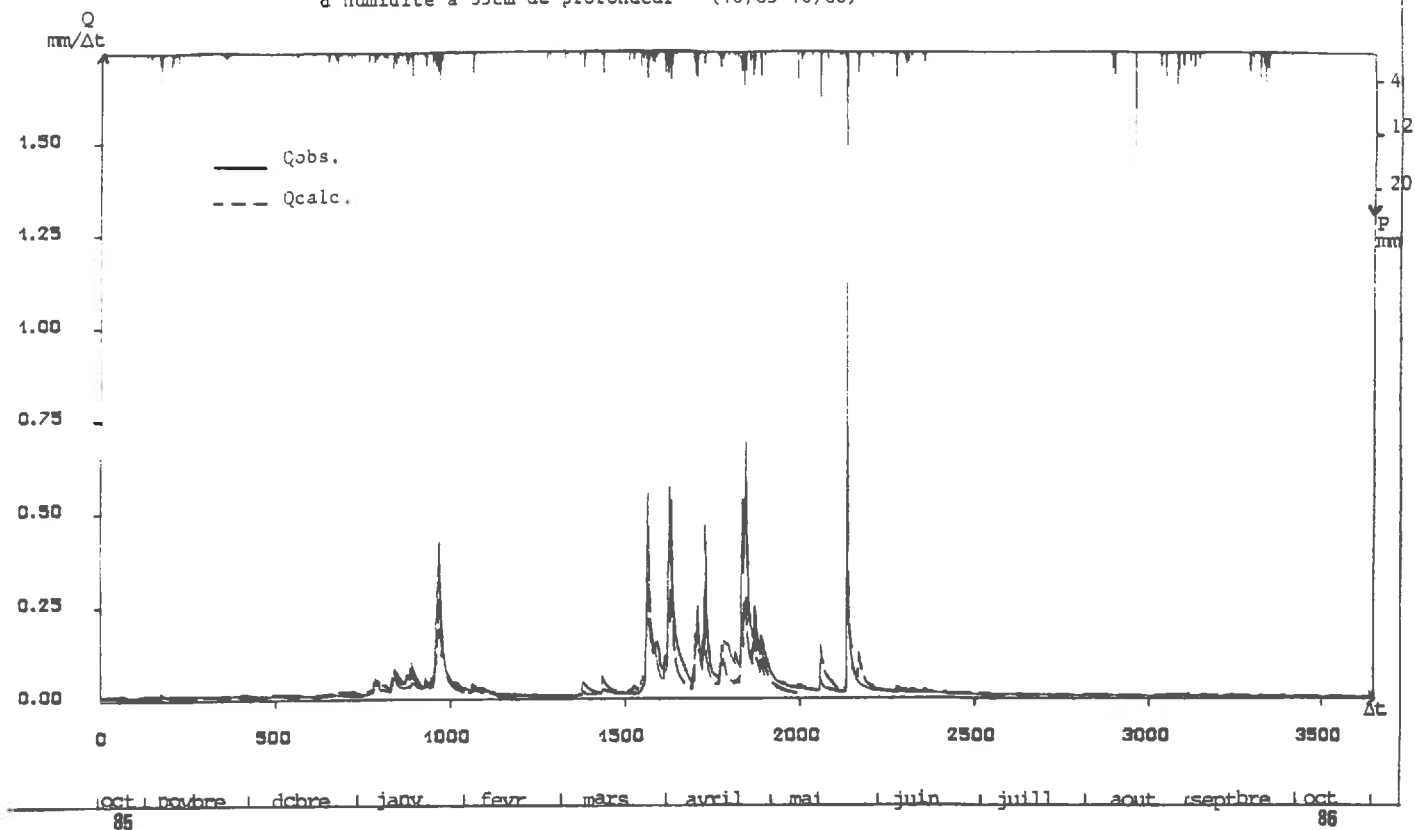
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 25cm de profondeur (10/85-10/86)



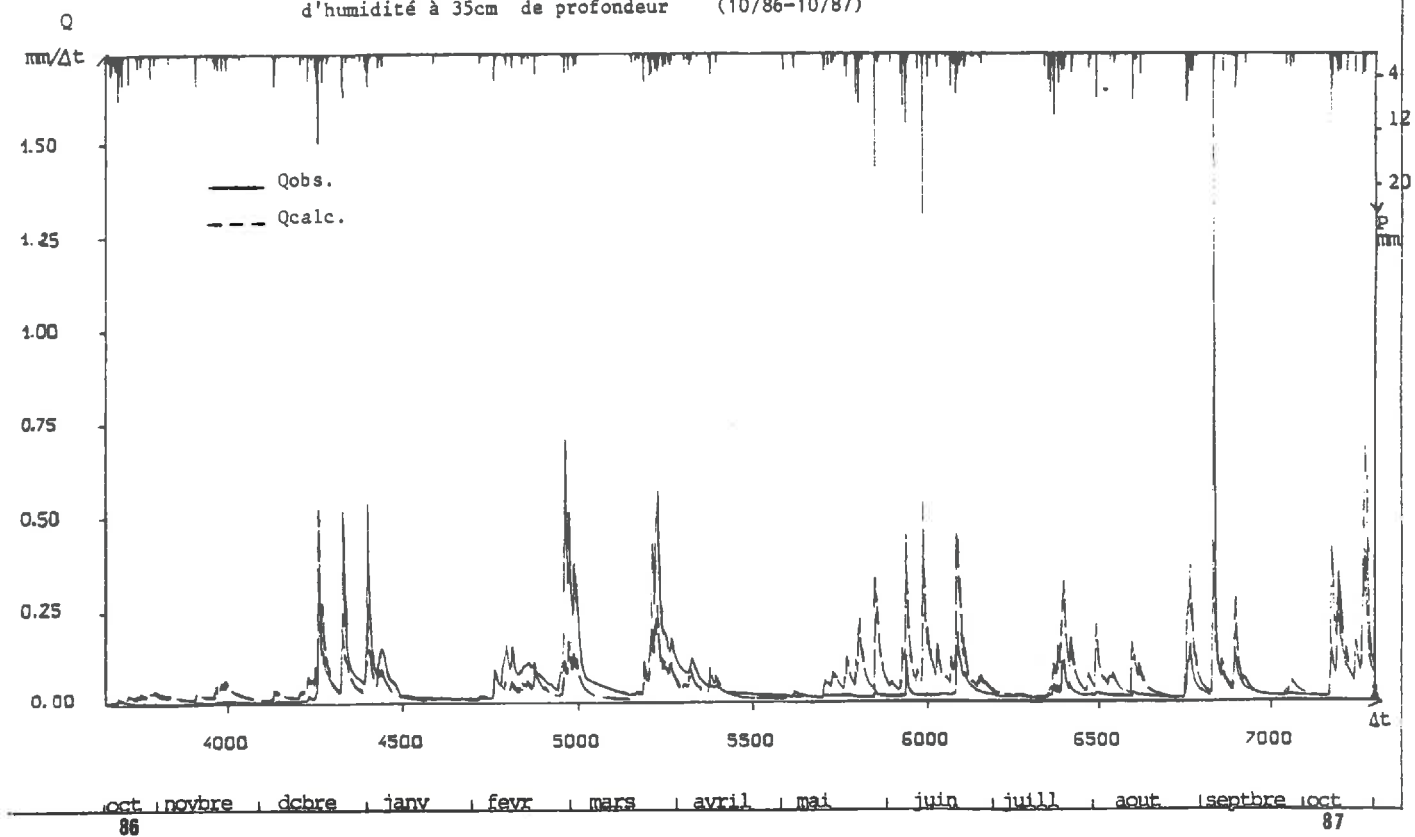
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 25cm de profondeur (10/86-10/87)



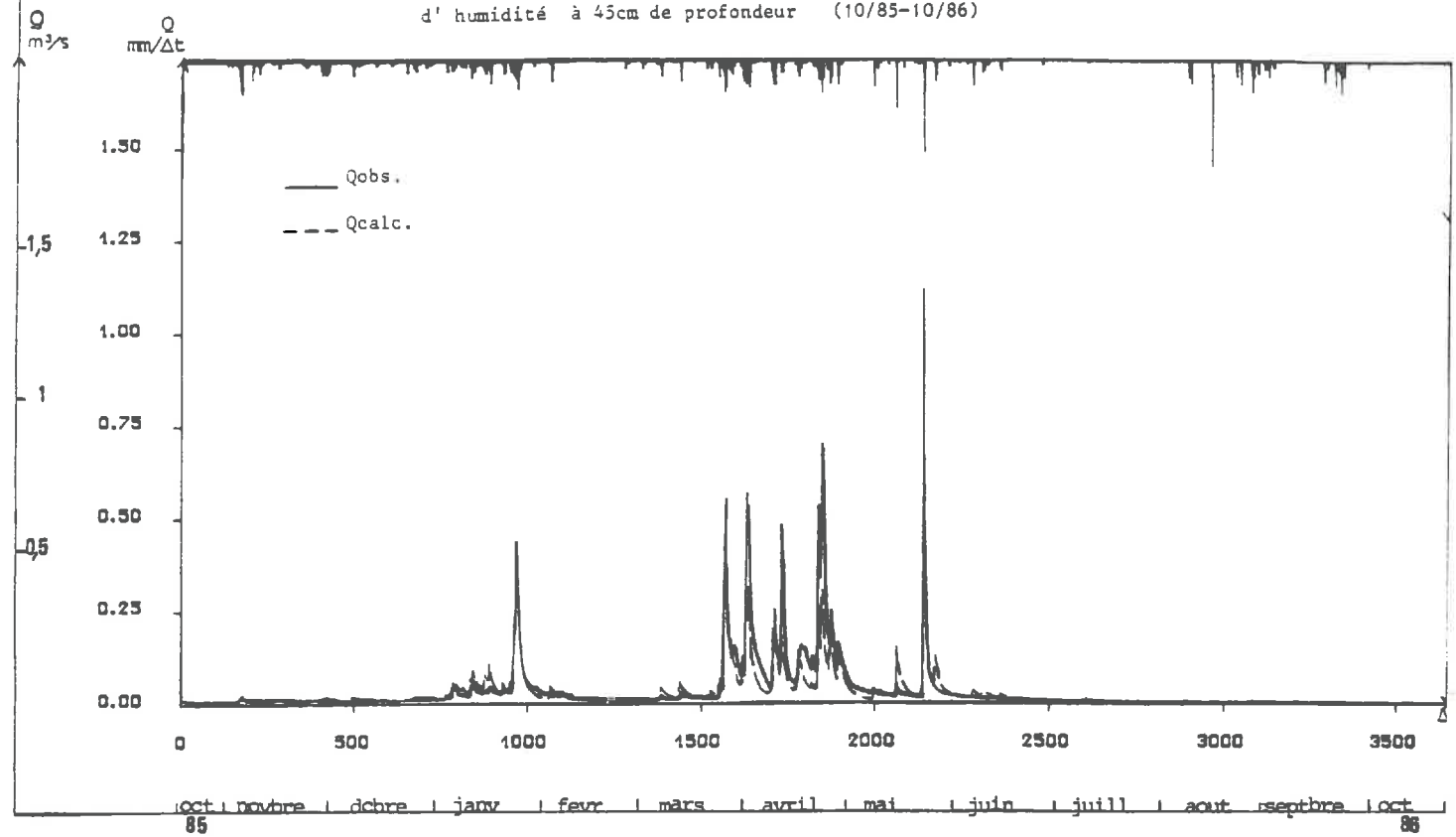
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 35cm de profondeur (10/85-10/86)



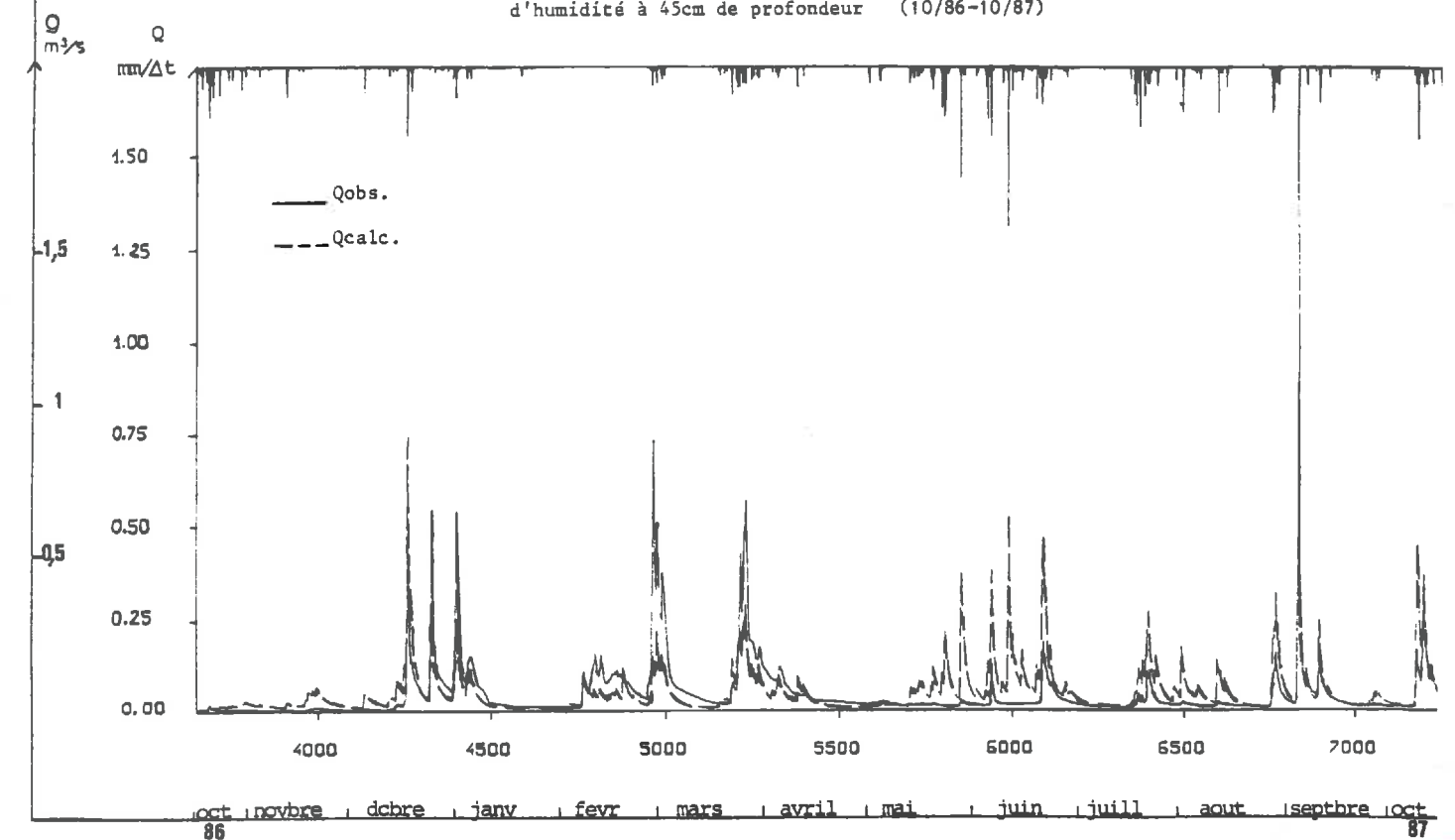
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 35cm de profondeur (10/86-10/87)



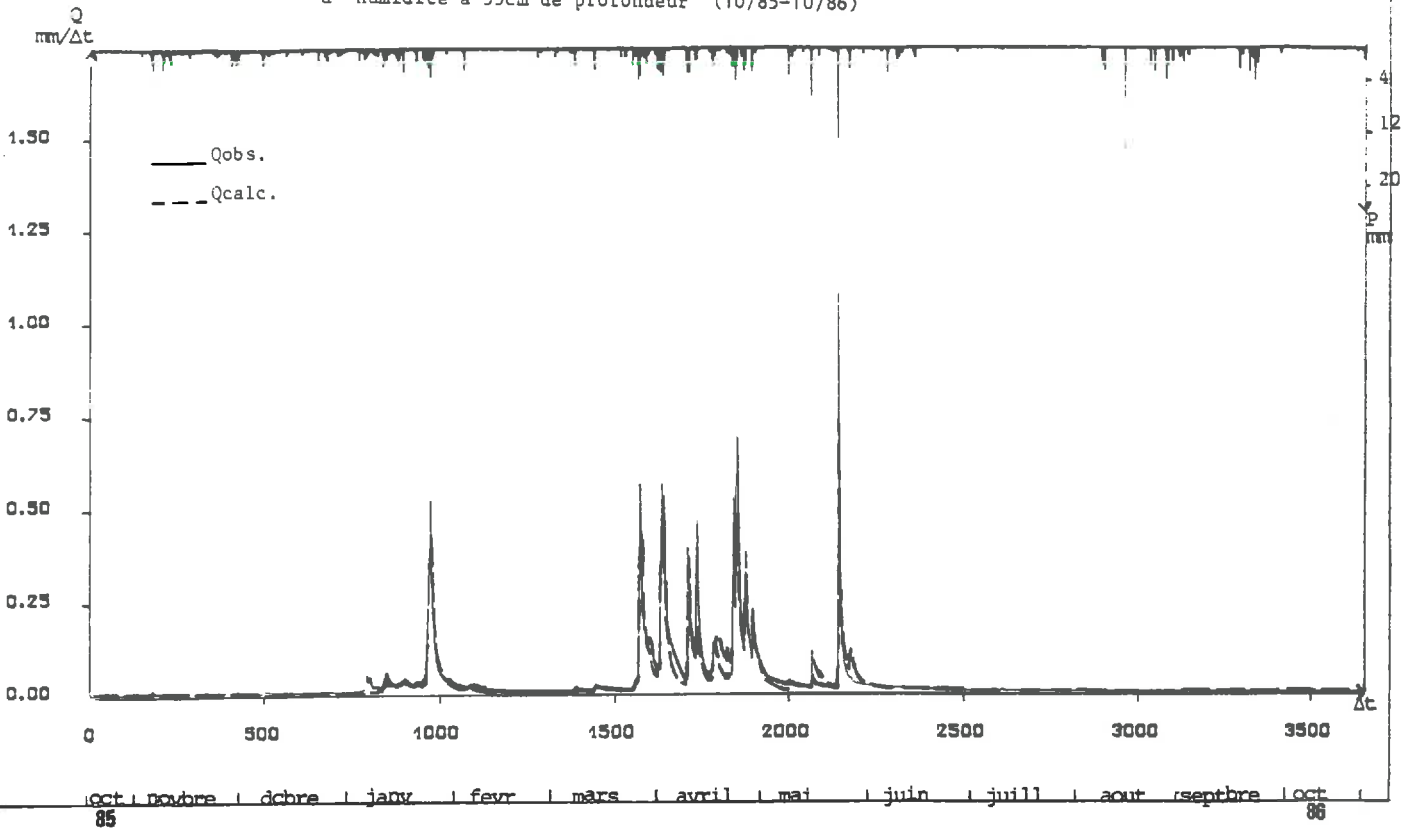
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 45cm de profondeur (10/85-10/86)



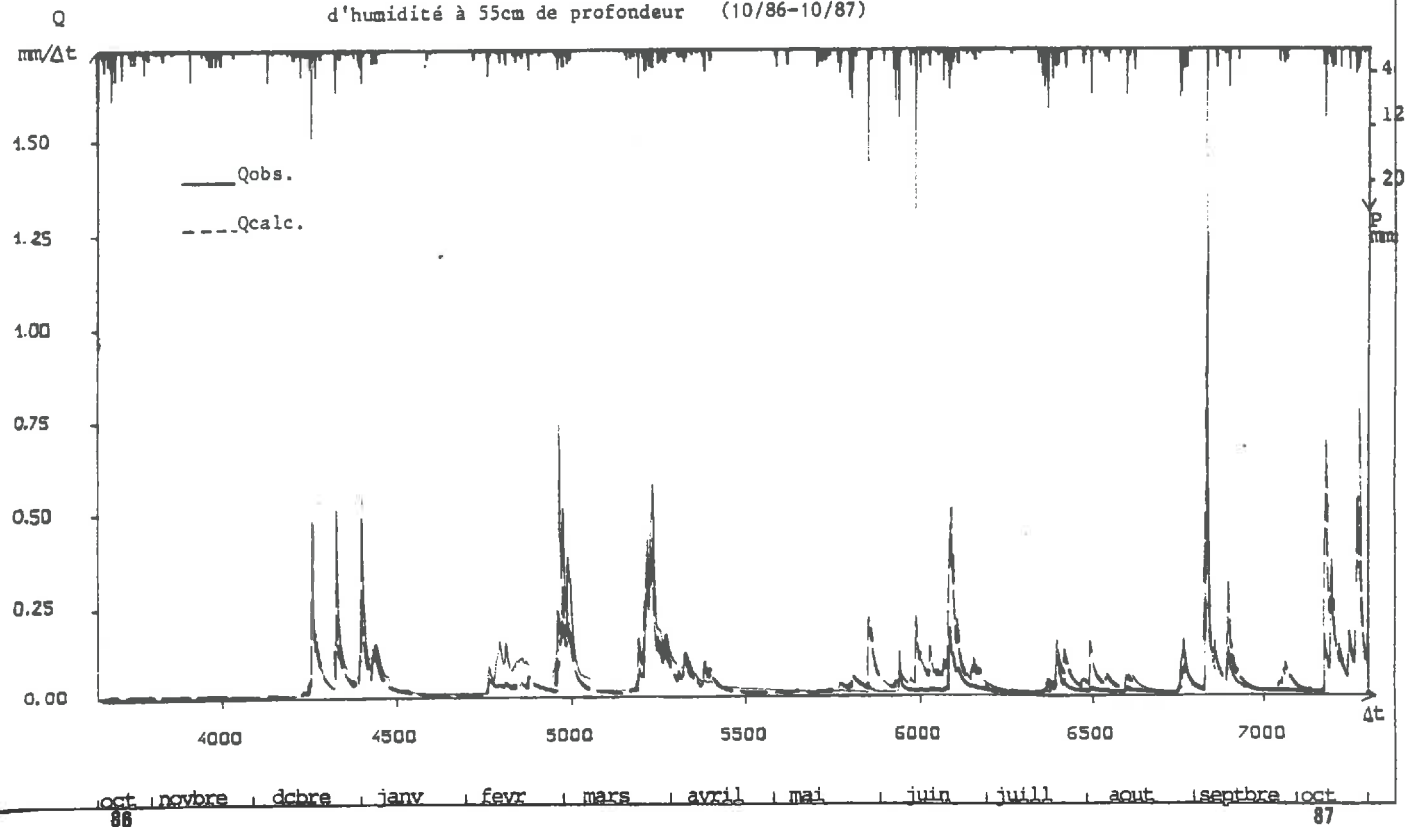
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 45cm de profondeur (10/86-10/87)



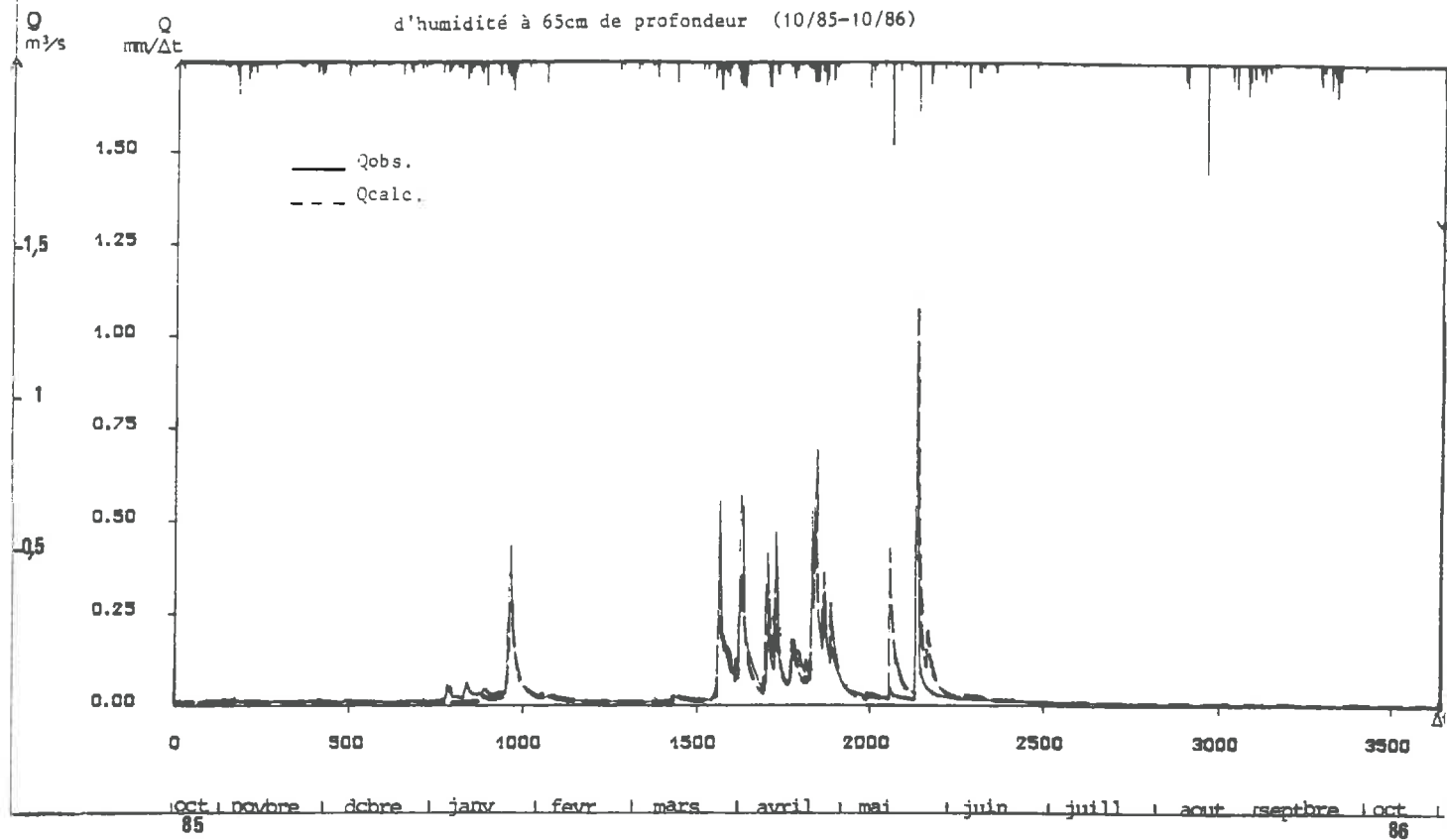
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm de profondeur (10/85-10/86)



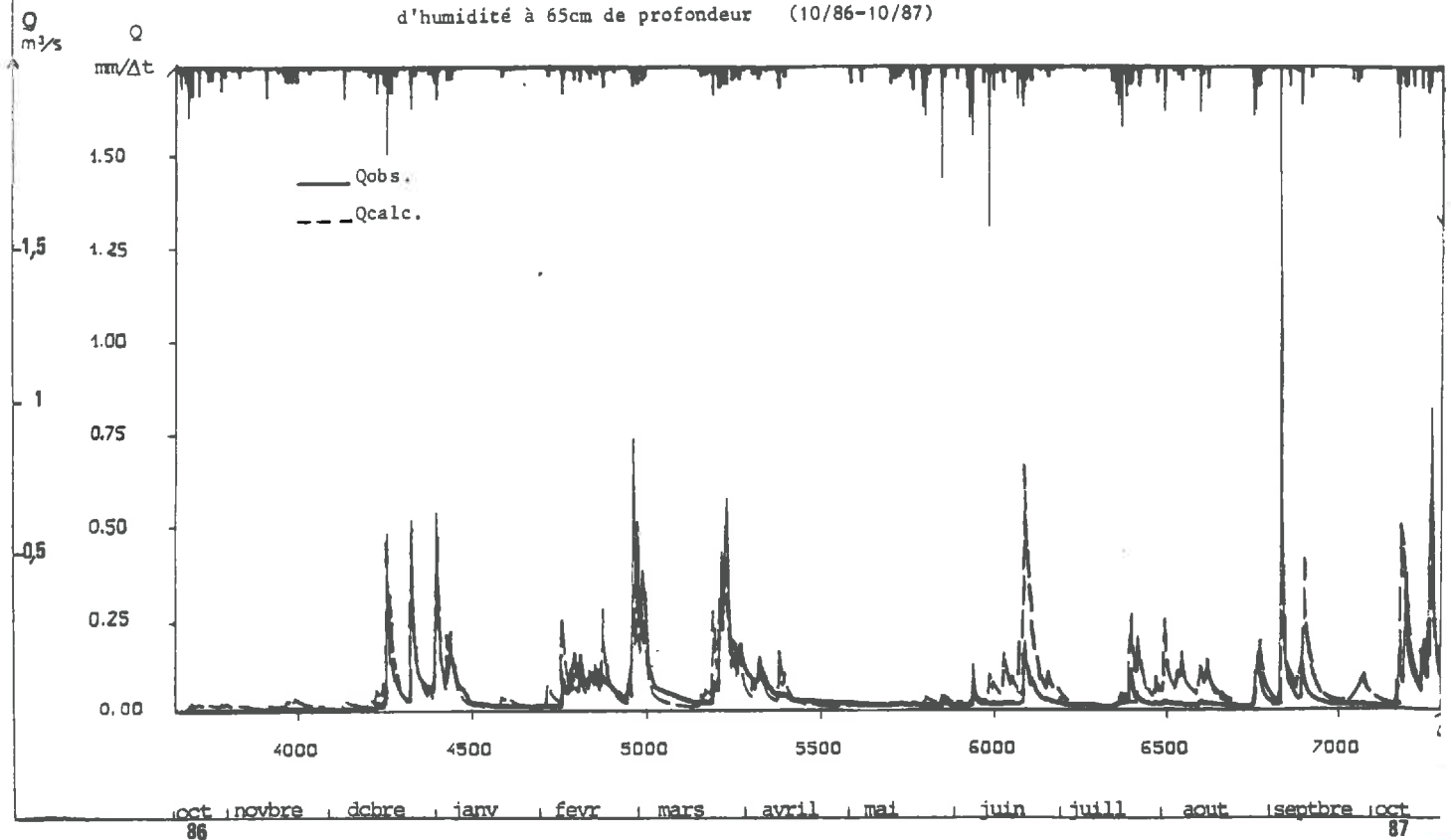
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm de profondeur (10/86-10/87)



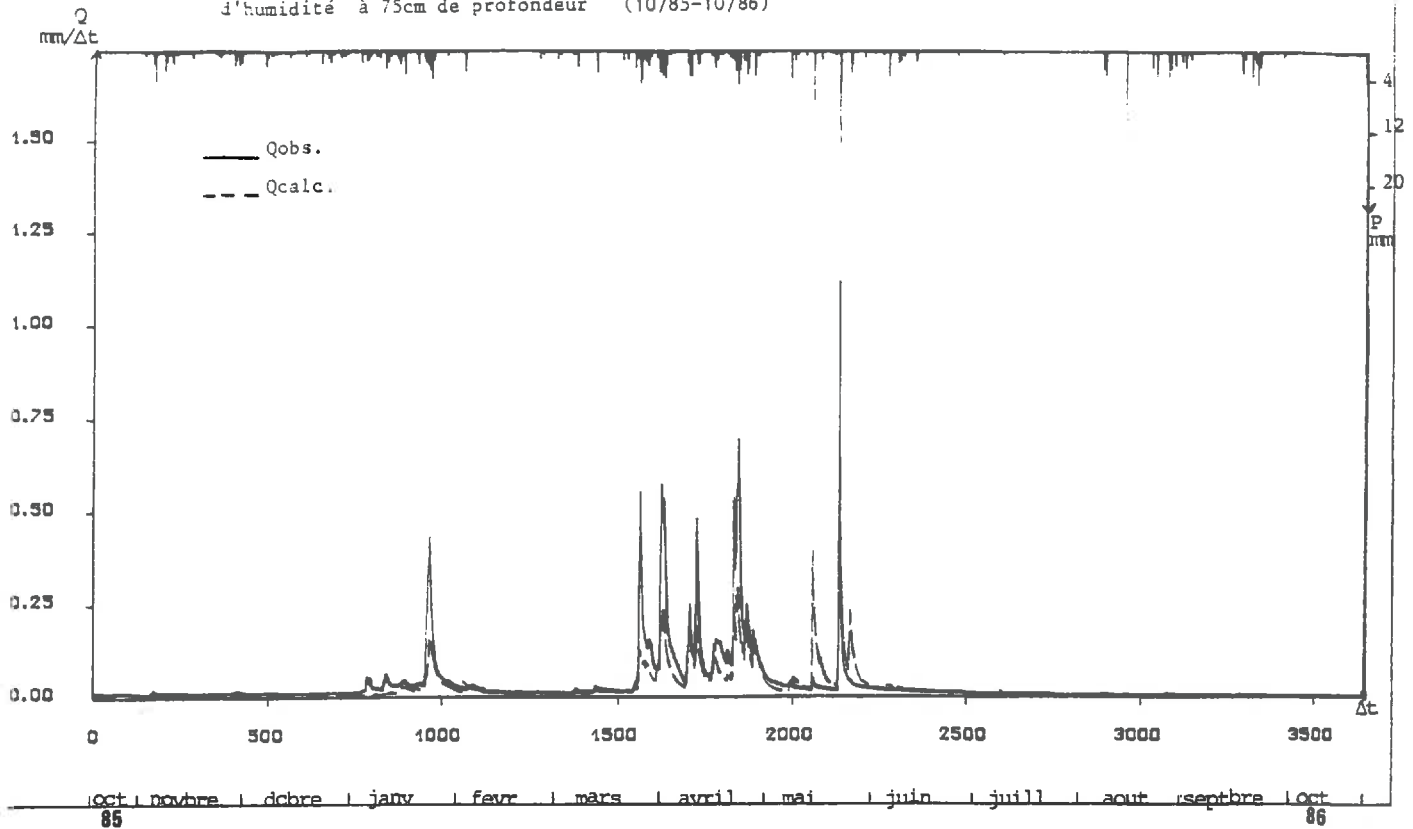
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 65cm de profondeur (10/85-10/86)



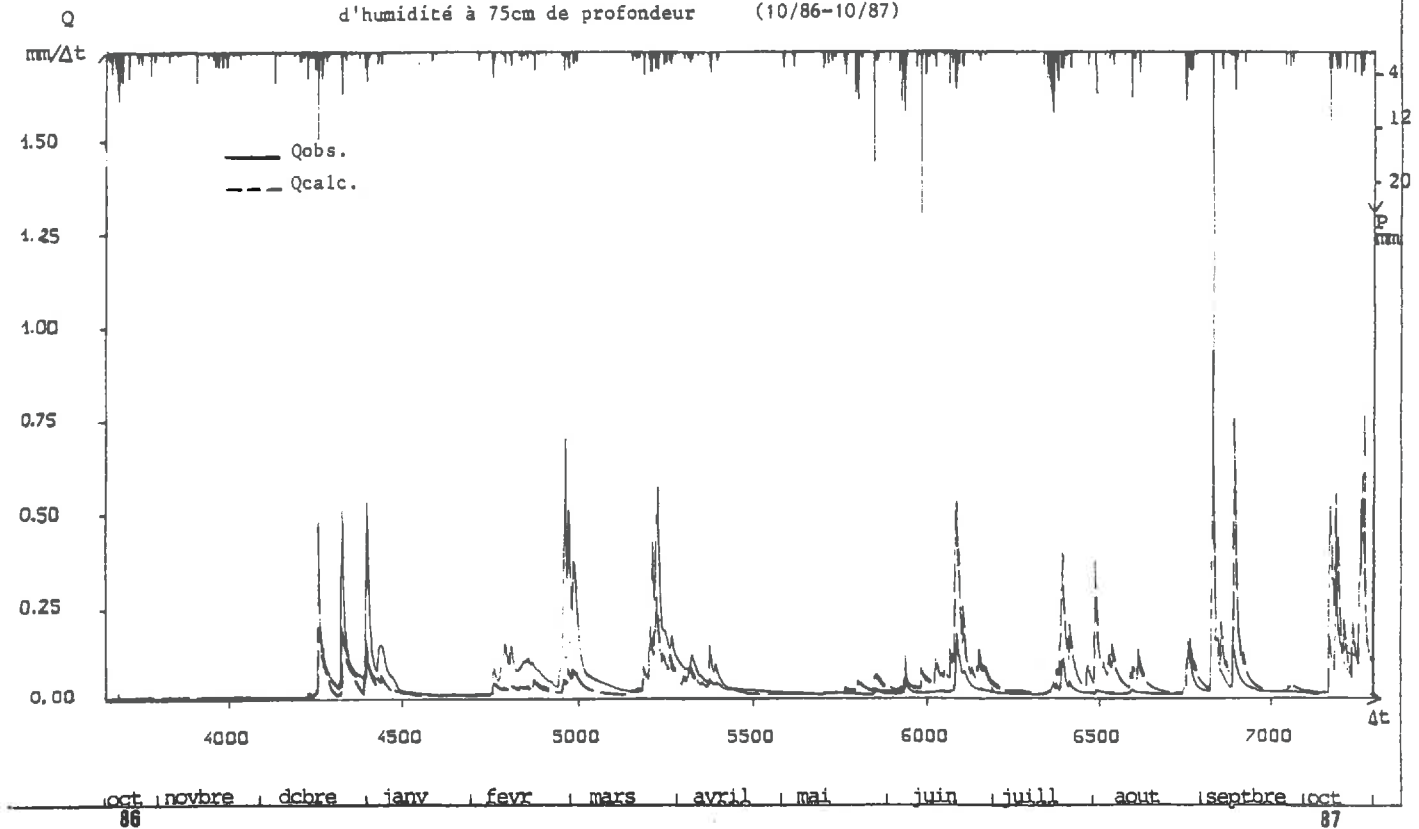
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 65cm de profondeur (10/86-10/87)



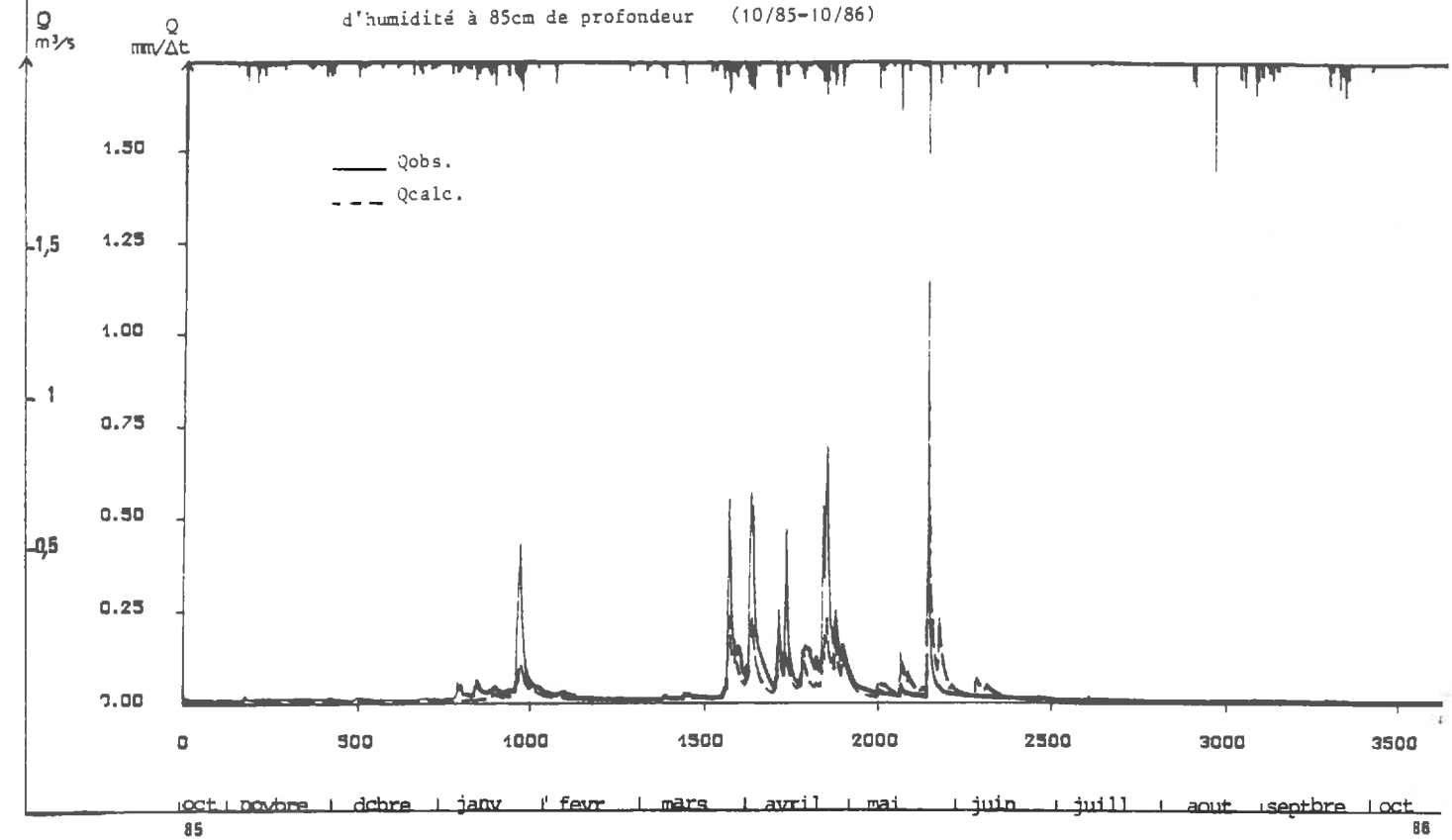
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 75cm de profondeur (10/85-10/86)



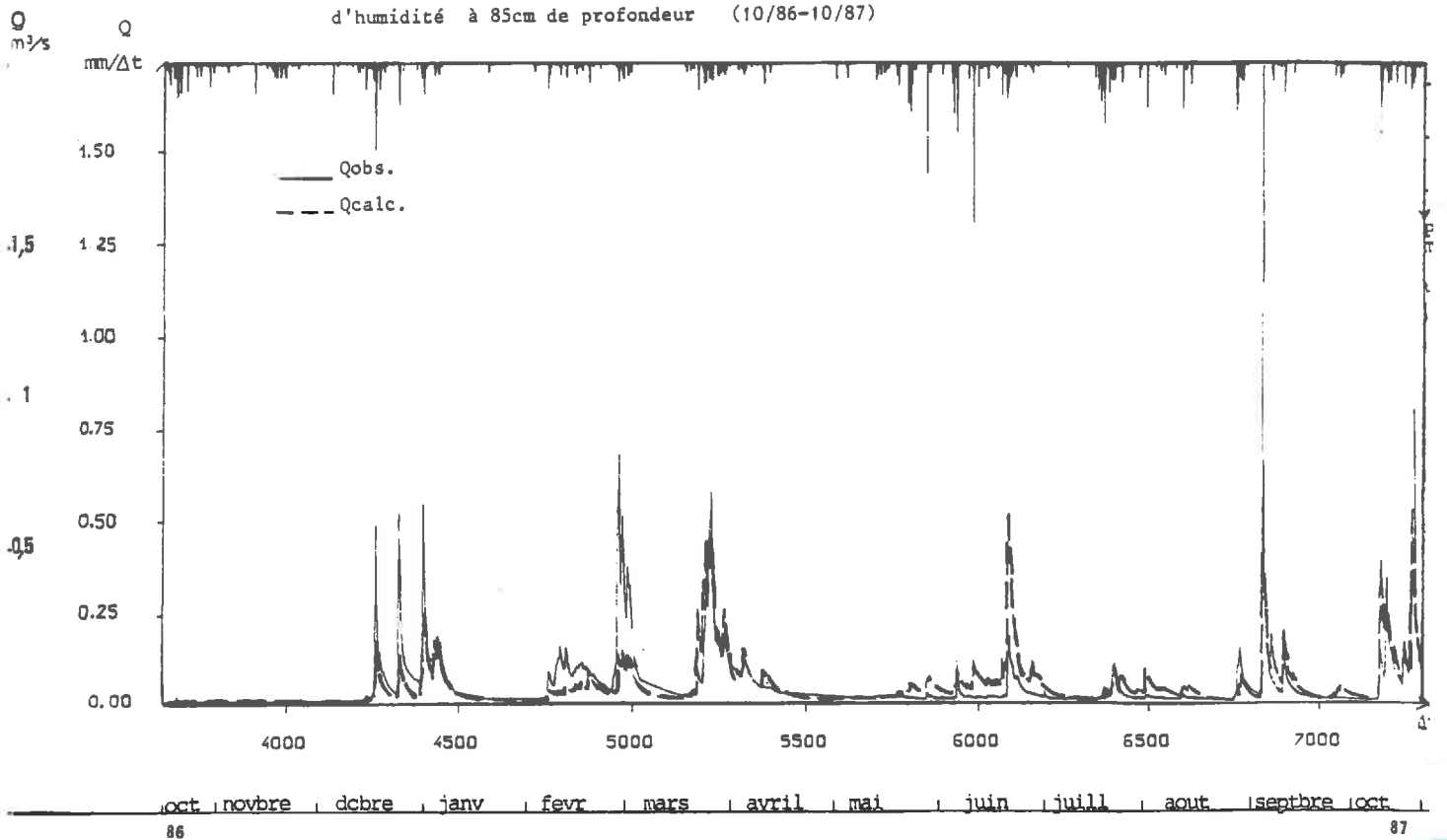
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 75cm de profondeur (10/86-10/87)



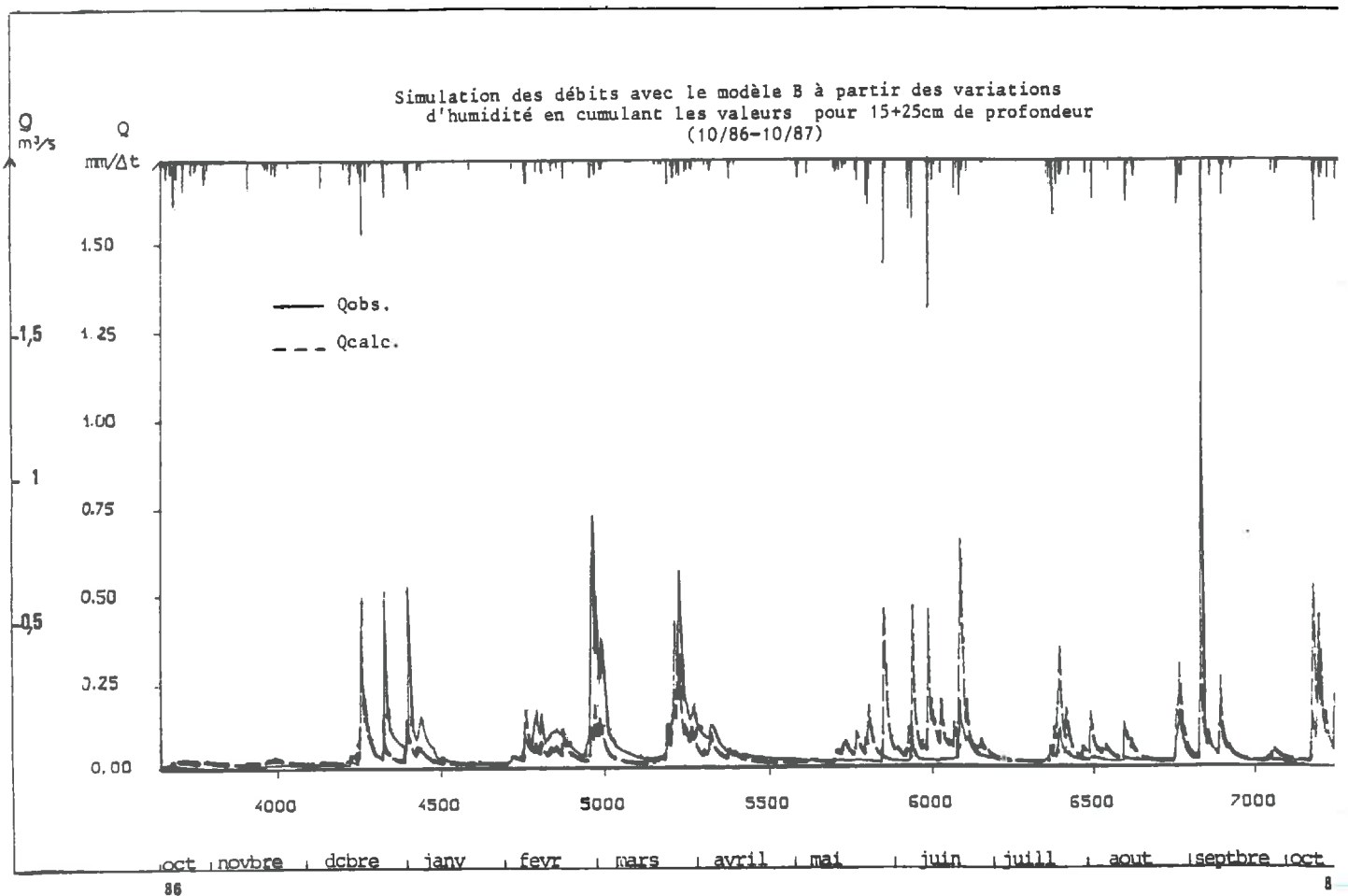
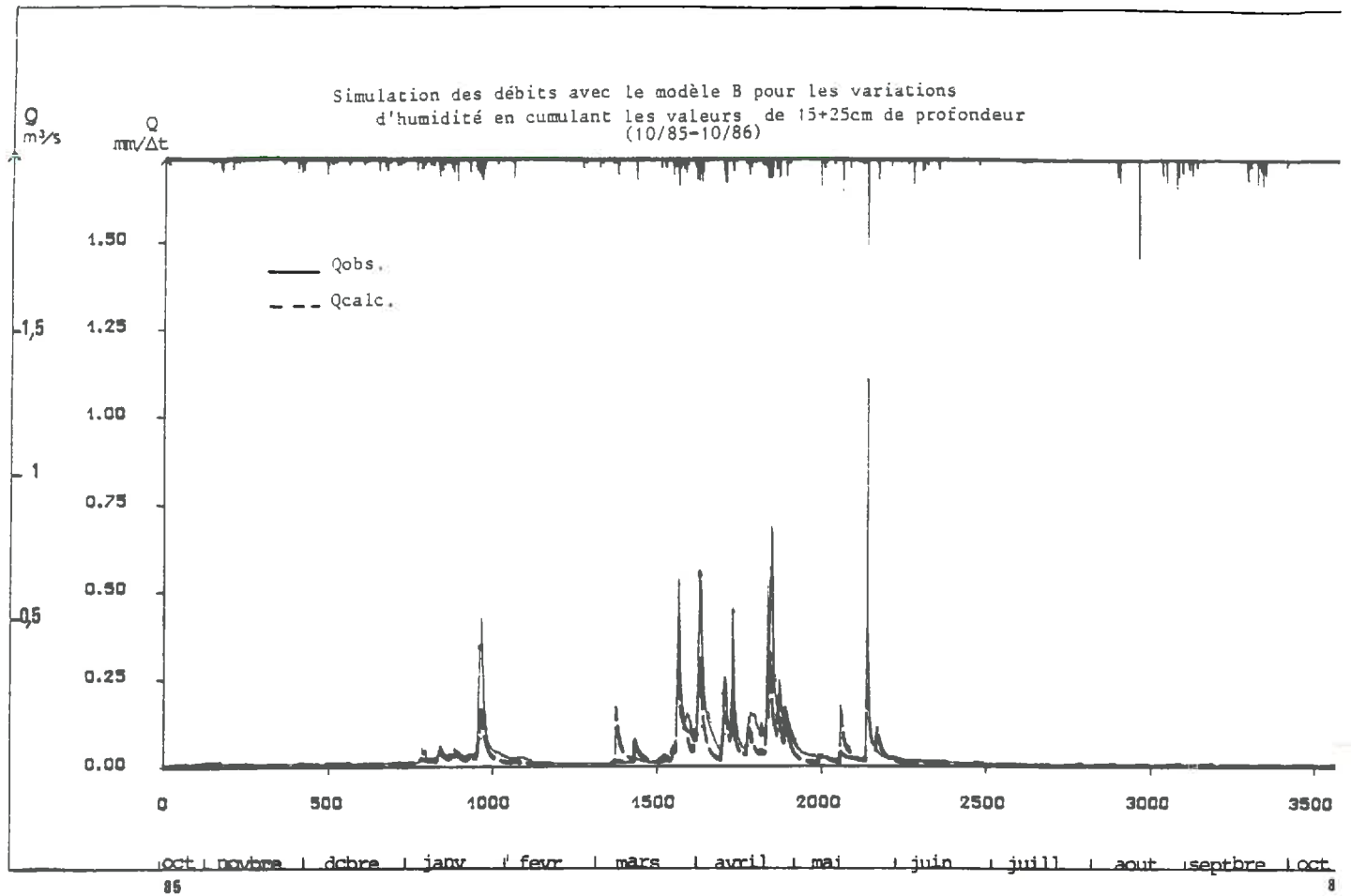
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 85cm de profondeur (10/85-10/86)

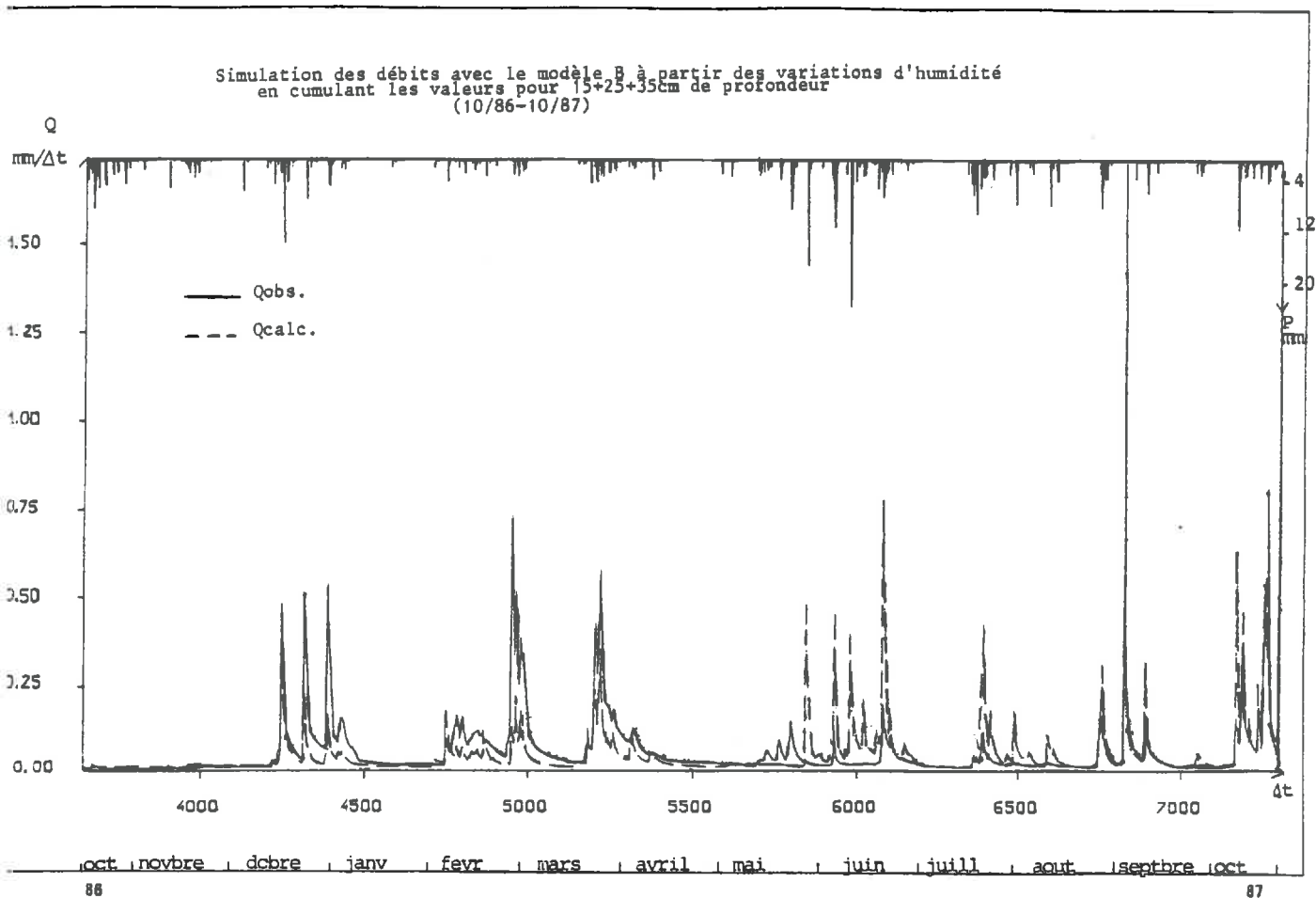
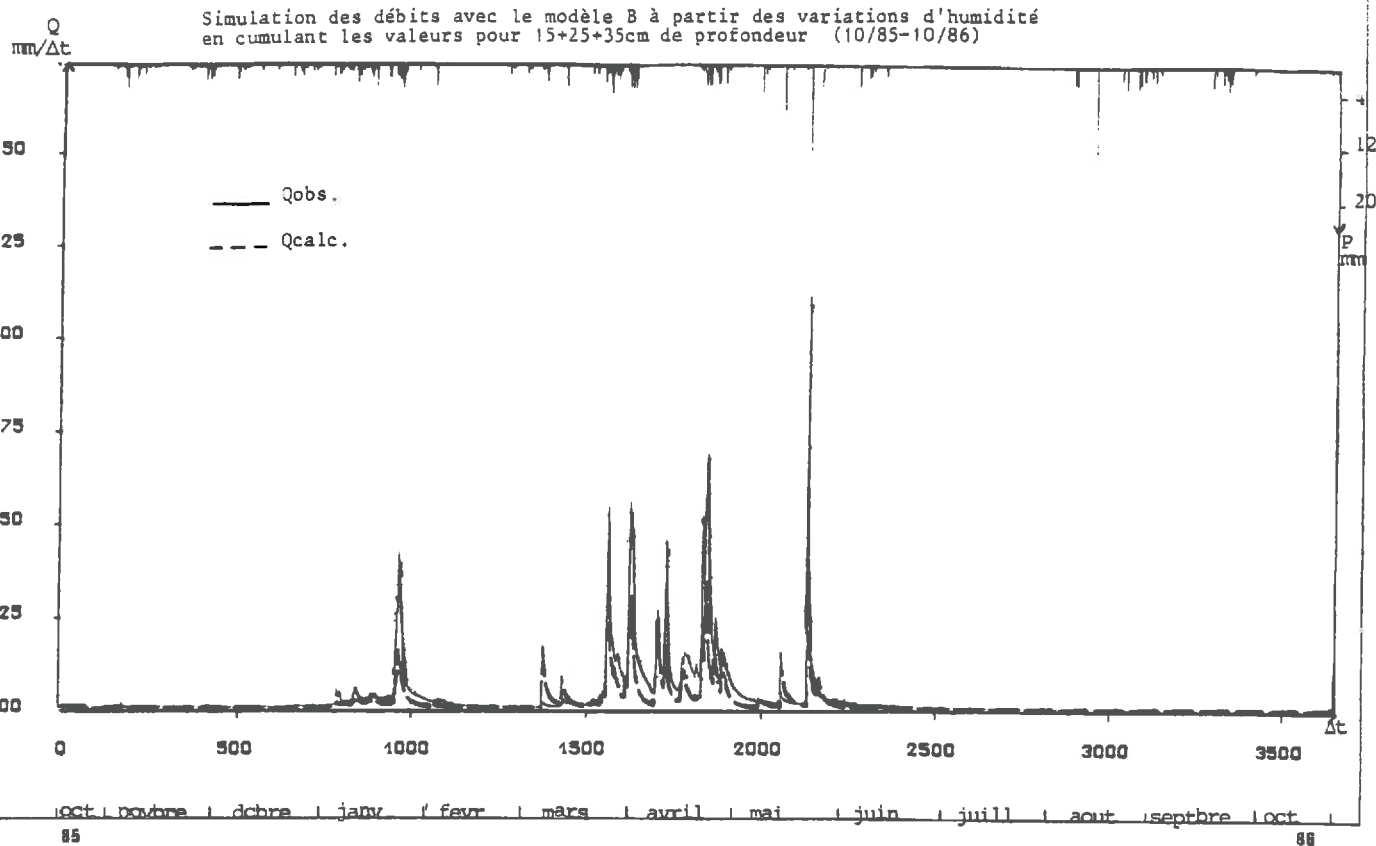


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 85cm de profondeur (10/86-10/87)

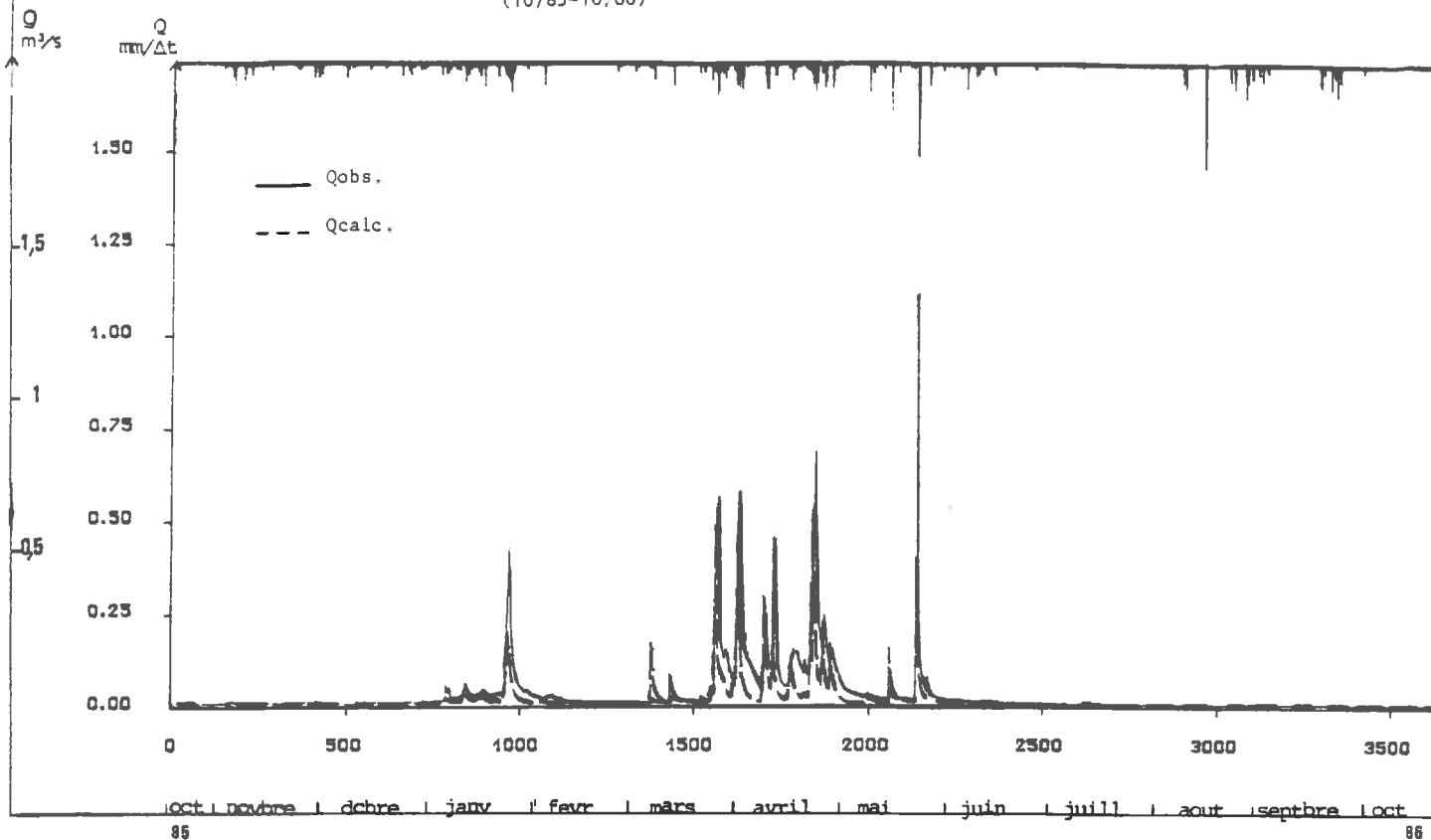


**VII.2.b - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations
en cumulant les valeurs de plusieurs profondeurs**

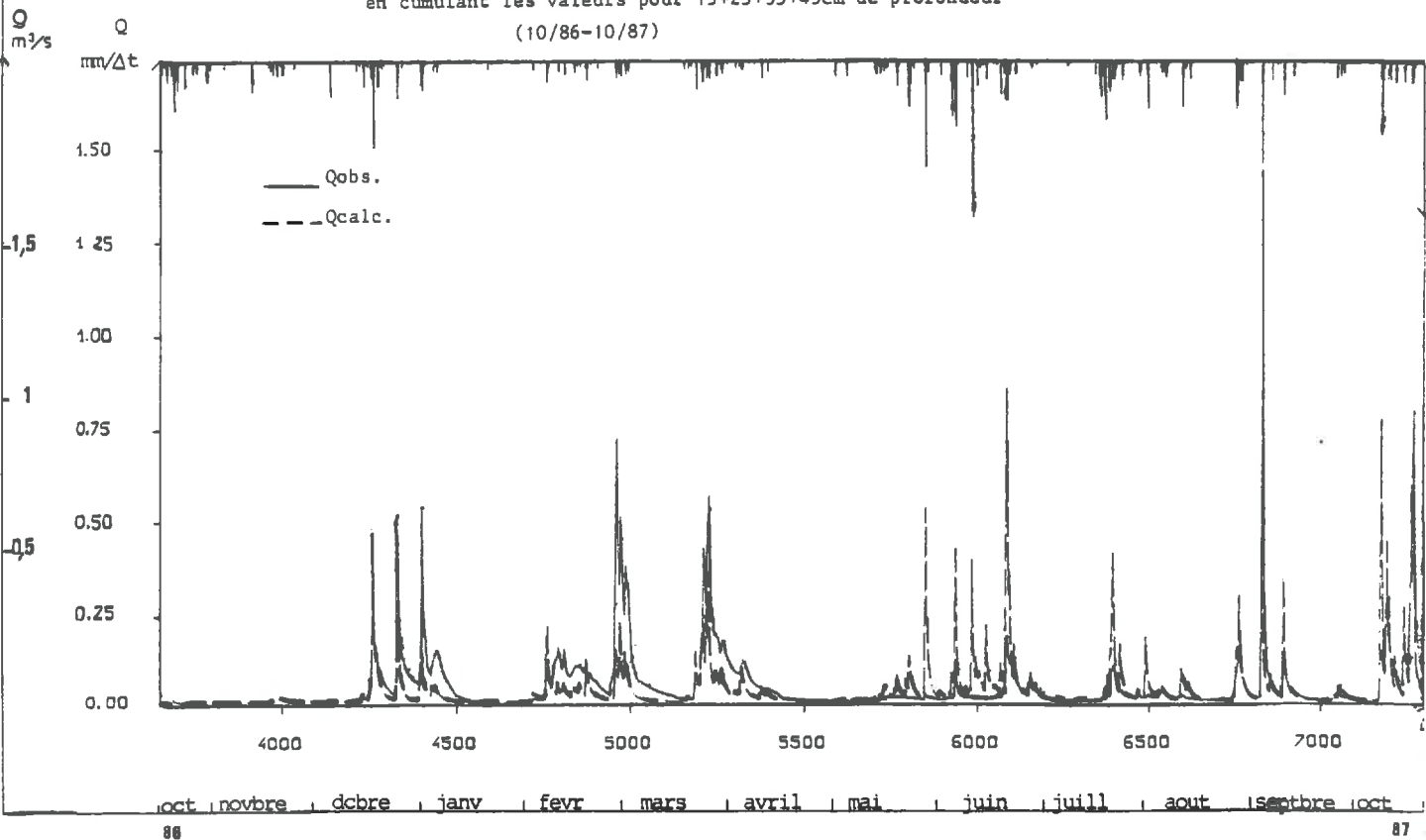




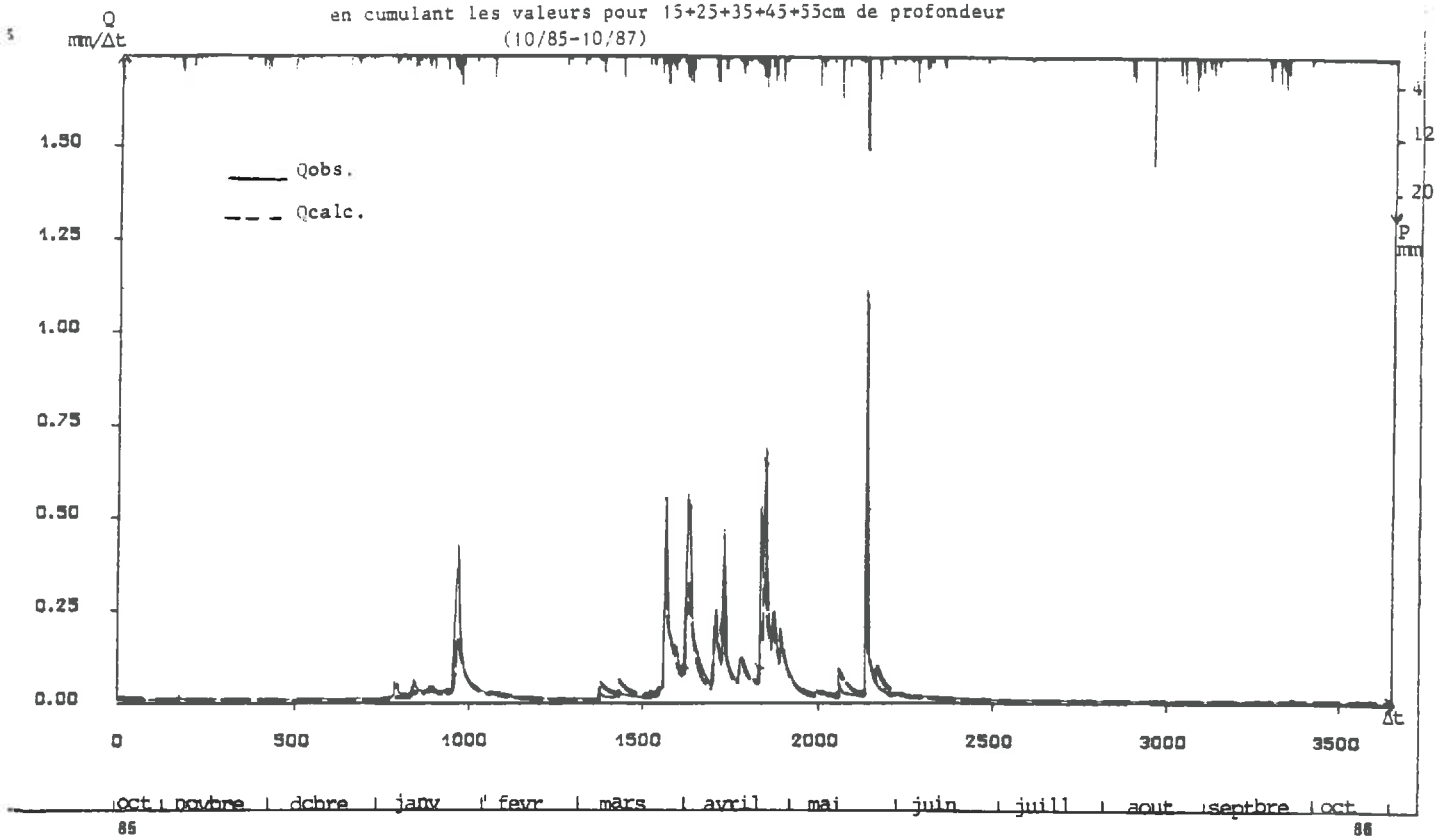
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45cm de profondeur
(10/85-10/86)



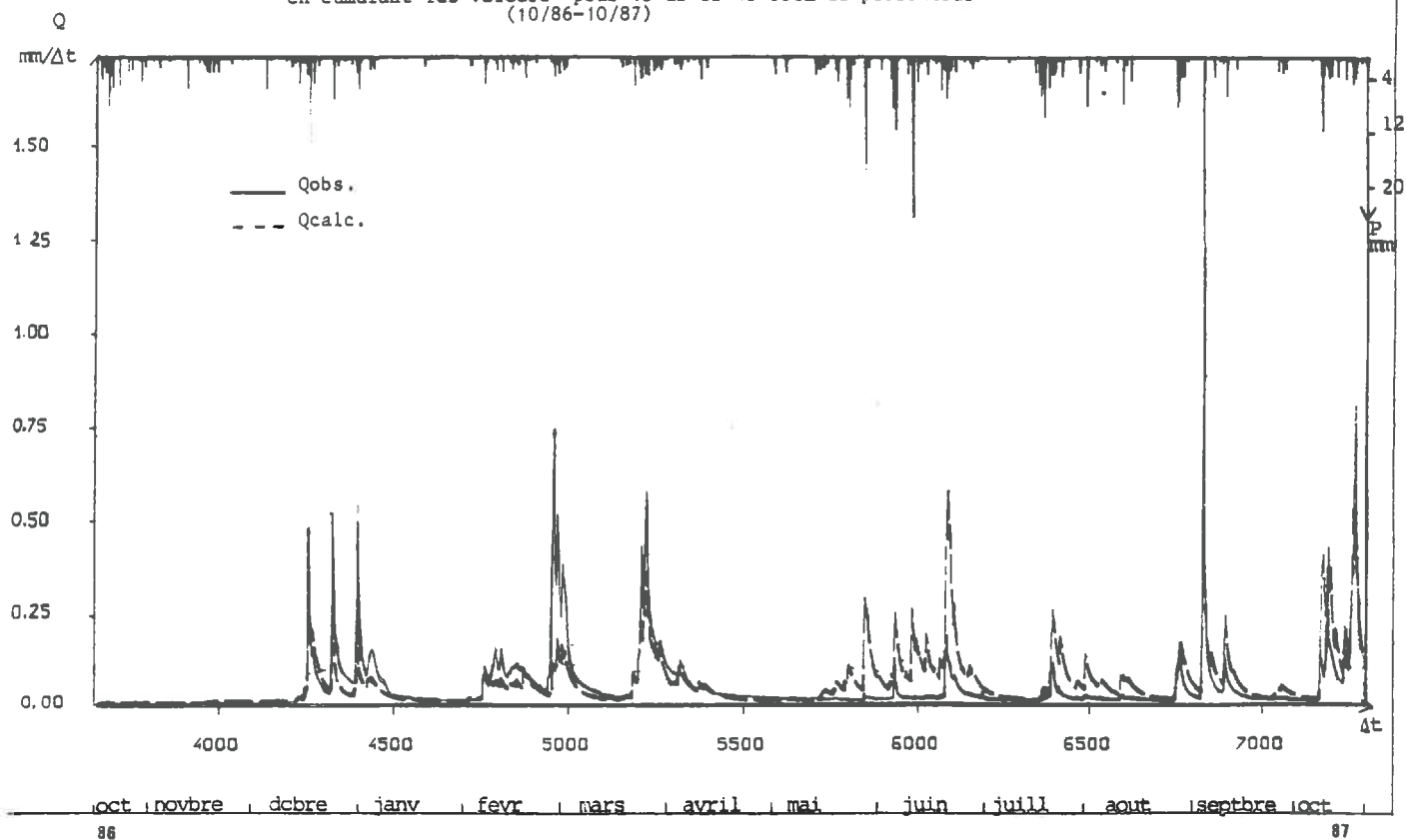
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45cm de profondeur
(10/86-10/87)



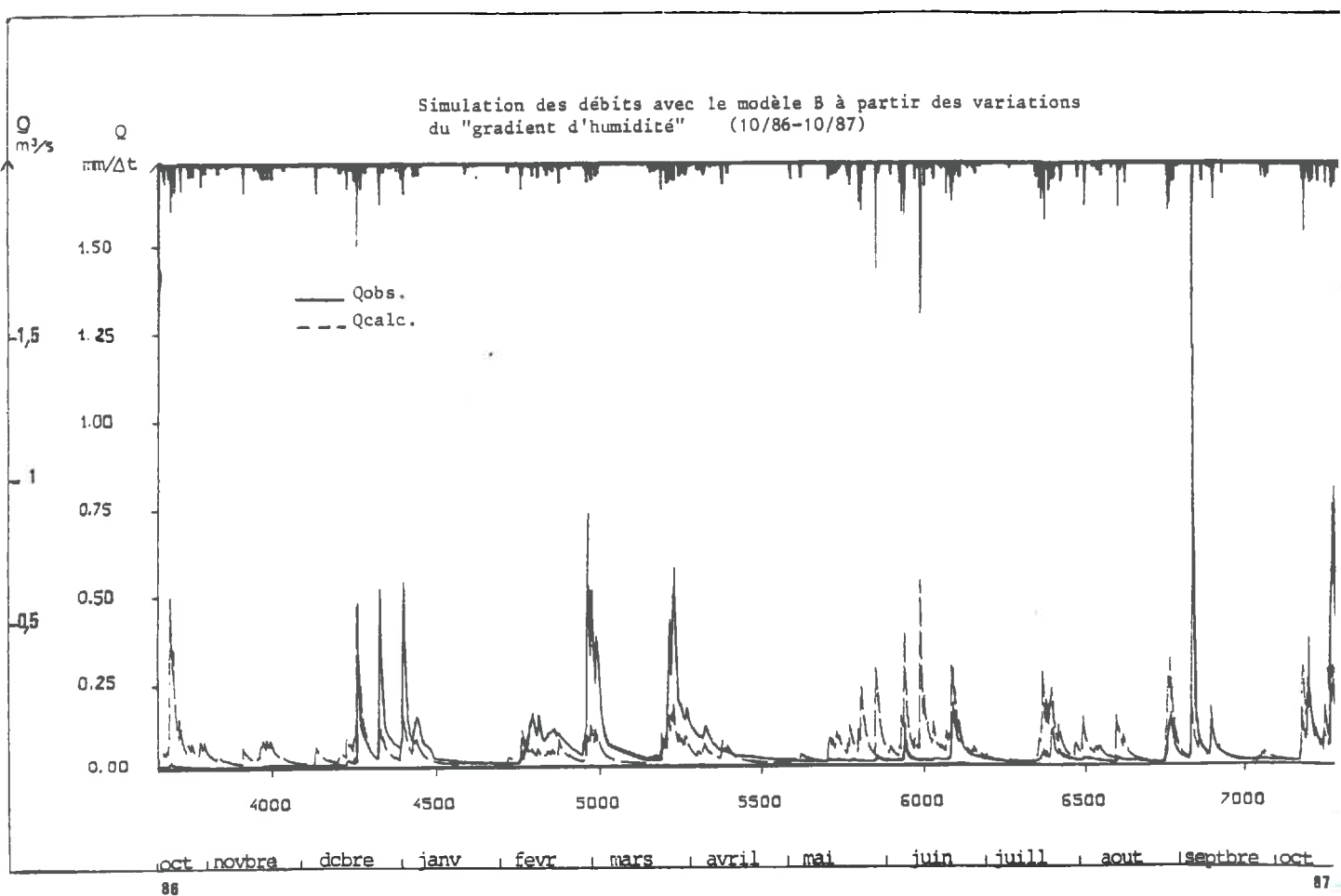
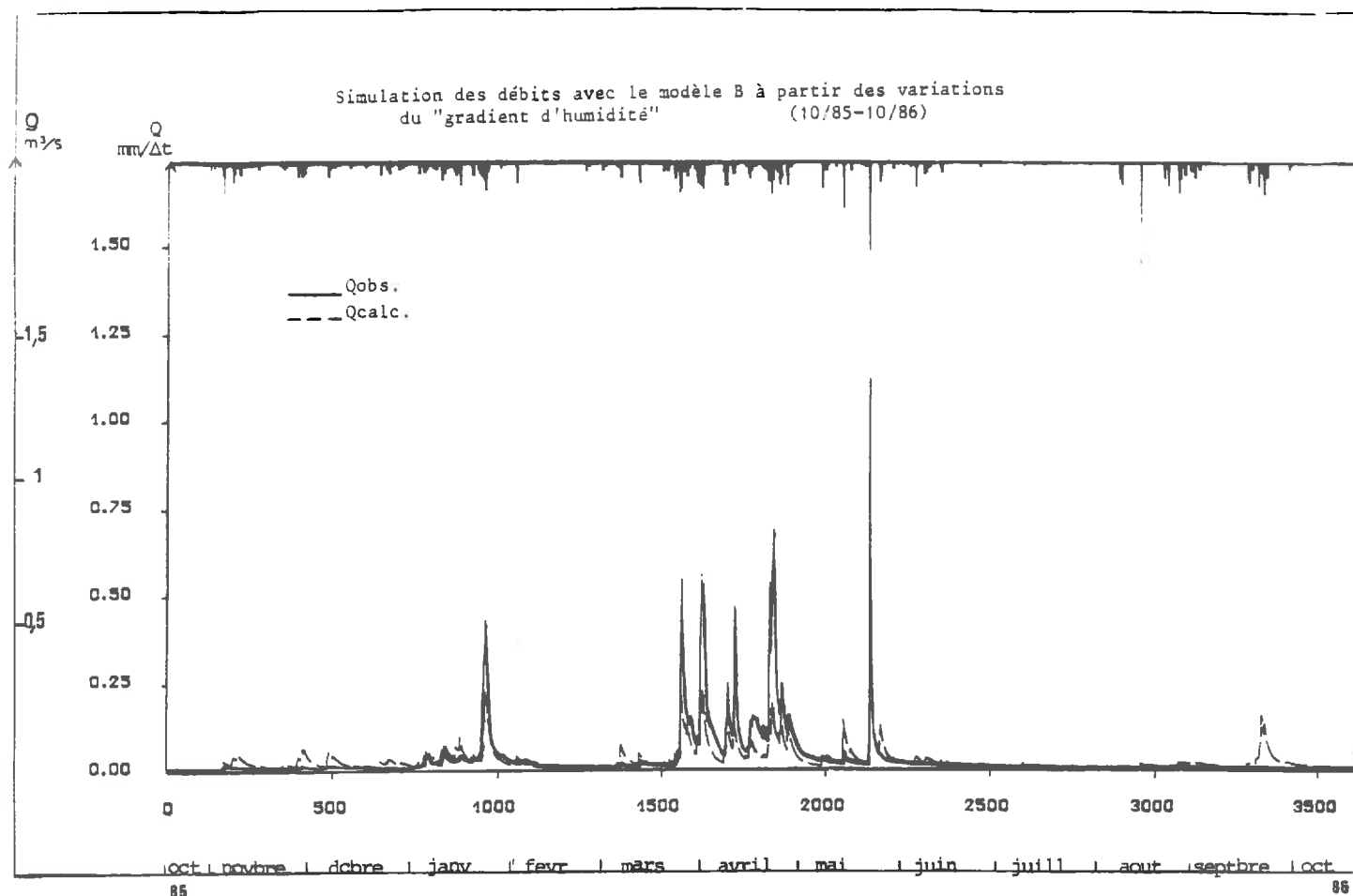
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
en cumulant les valeurs pour 15+25+35+45+55cm de profondeur
(10/85-10/87)



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

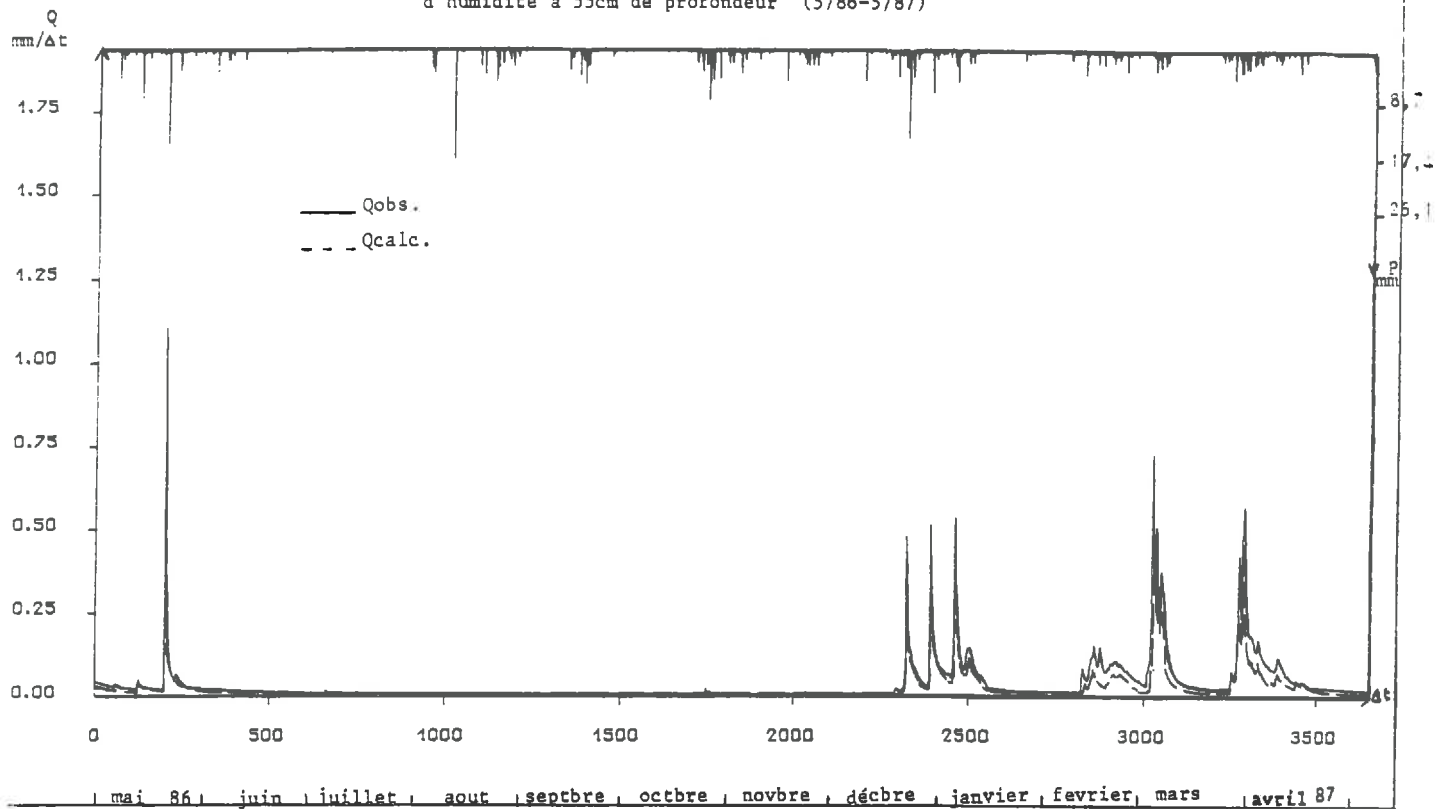


**VII.3 - Simulation des débits avec le modèle B sur une période de 2 ans
(5/86-5/88)**

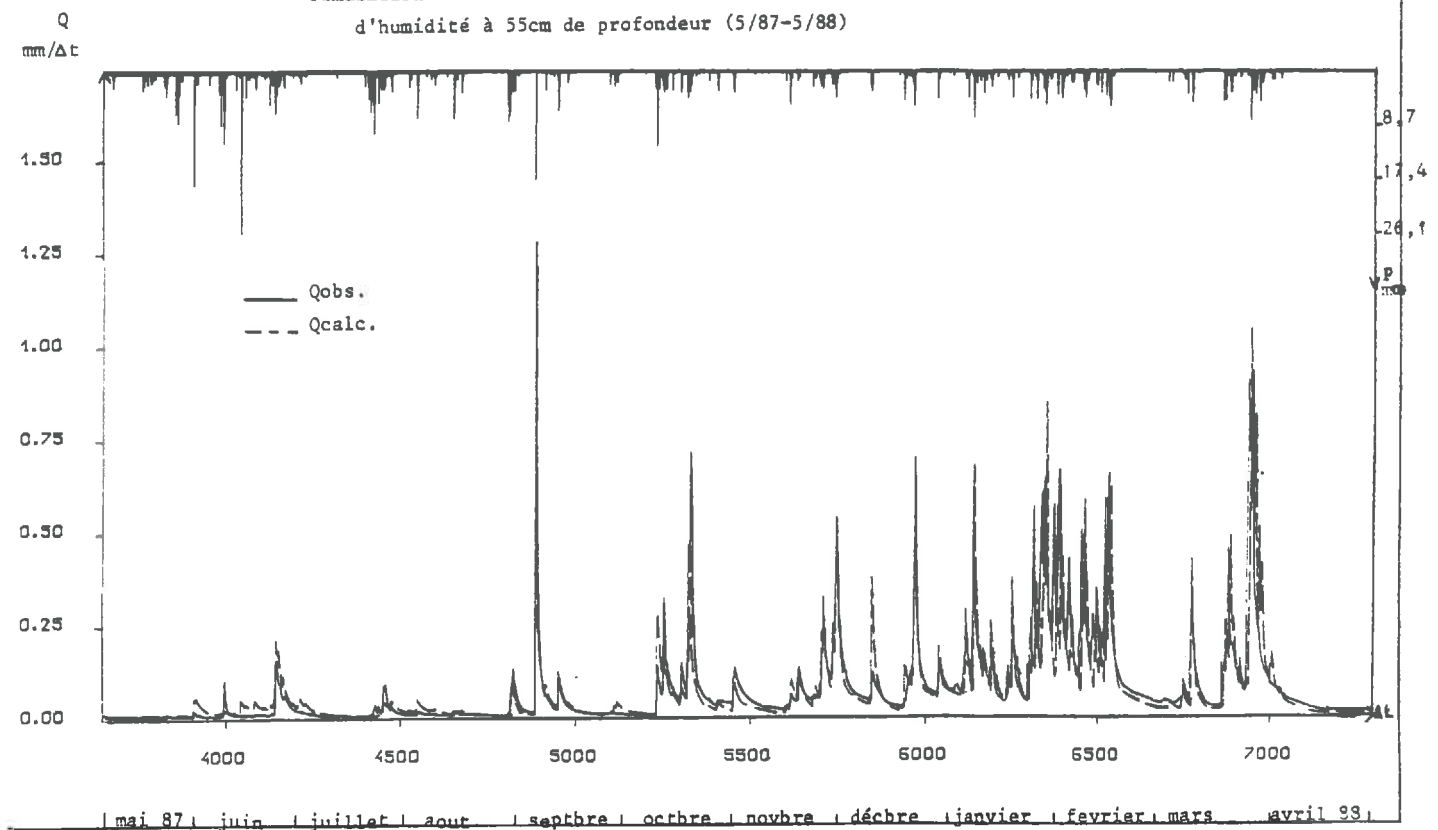
- a - pour les variations d'humidité à 55 cm de profondeur**
- b - pour les variations de potentiel hydrique aux différentes profondeurs (25 - 195 cm)**
- c - pour les variations des différences de potentiel à différentes profondeurs**

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

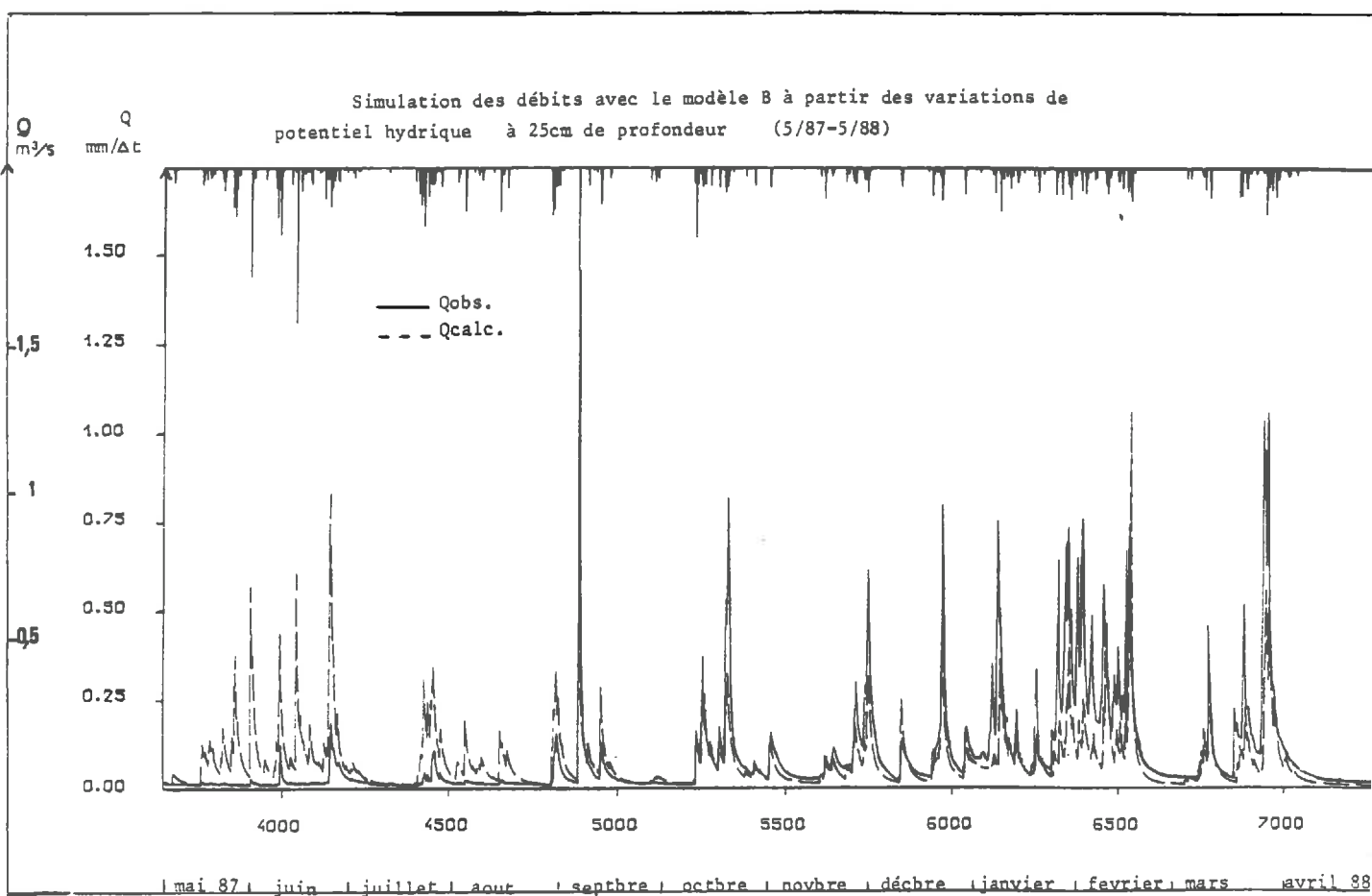
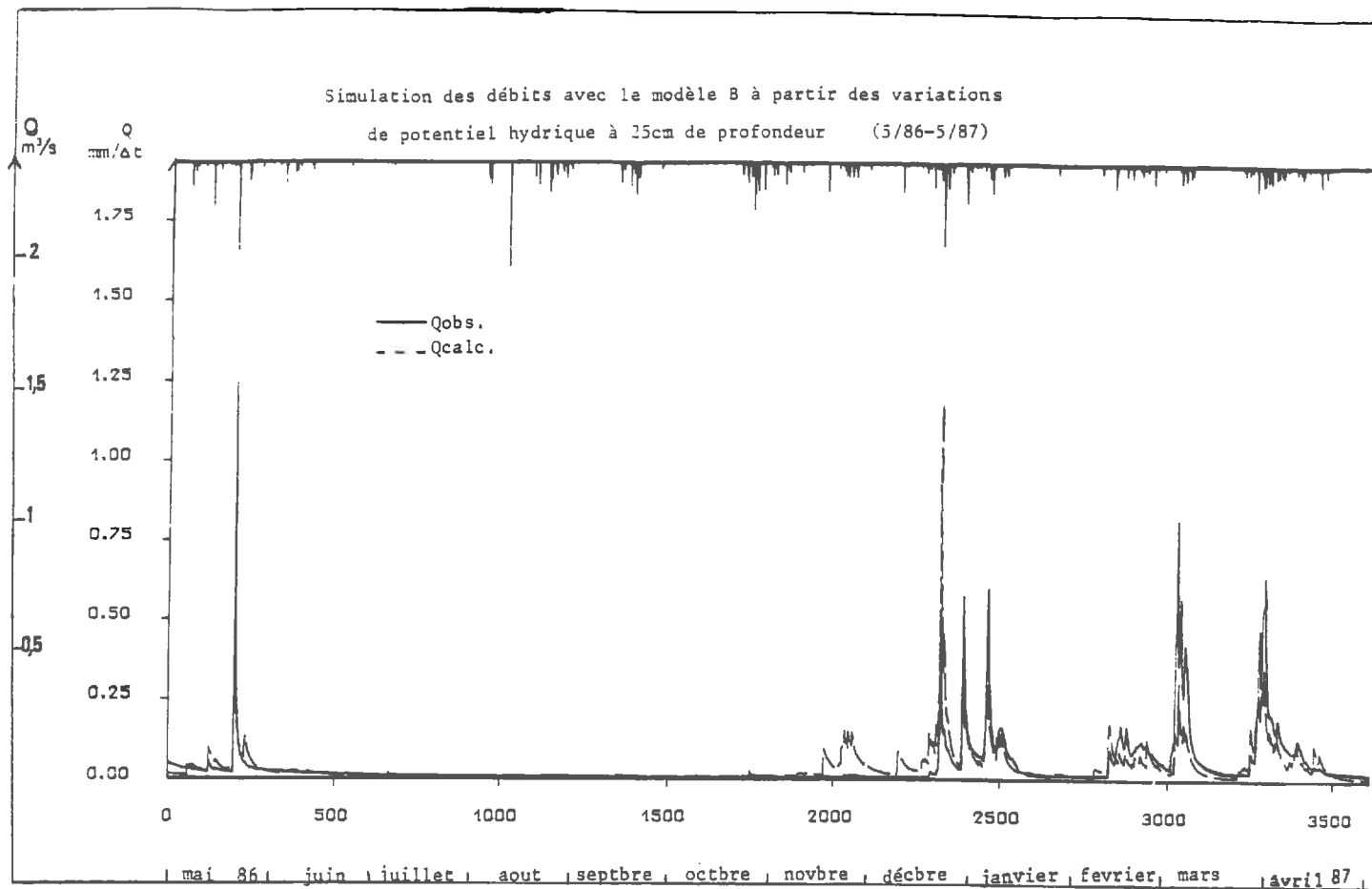
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm de profondeur (5/86-5/87)



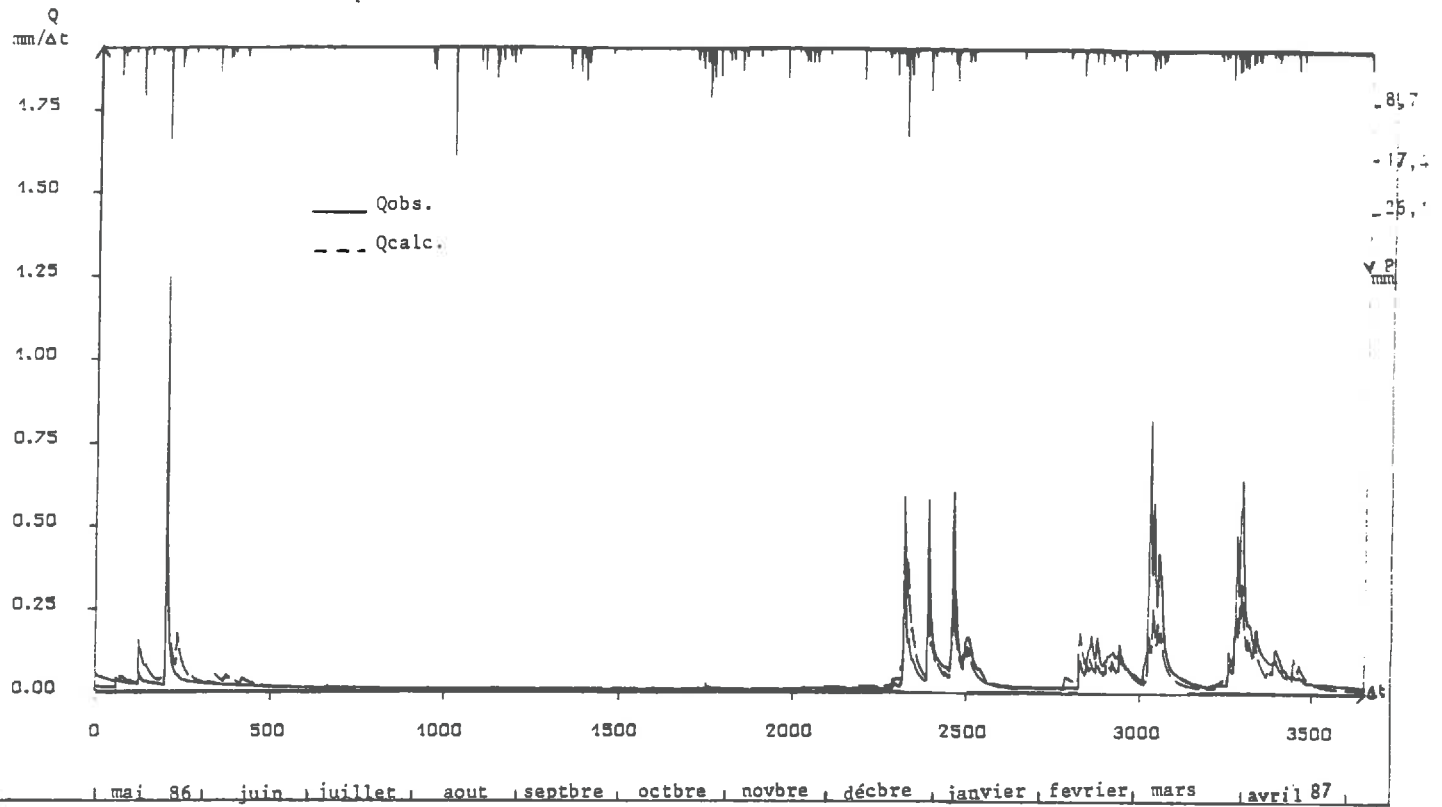
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm de profondeur (5/87-5/88)



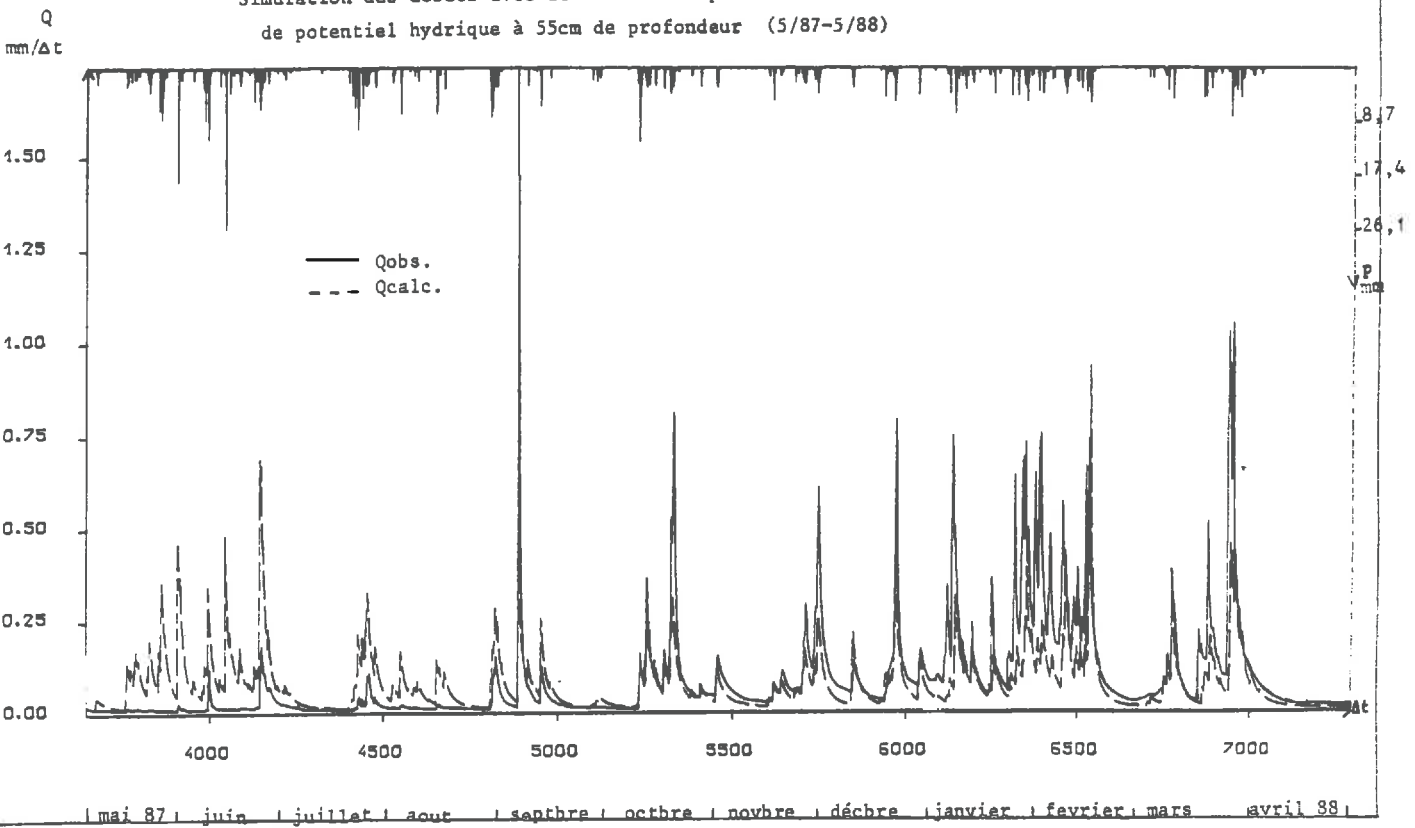
VII.3.b - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations
de potentiel hydrique aux différentes profondeurs (25-195 cm)



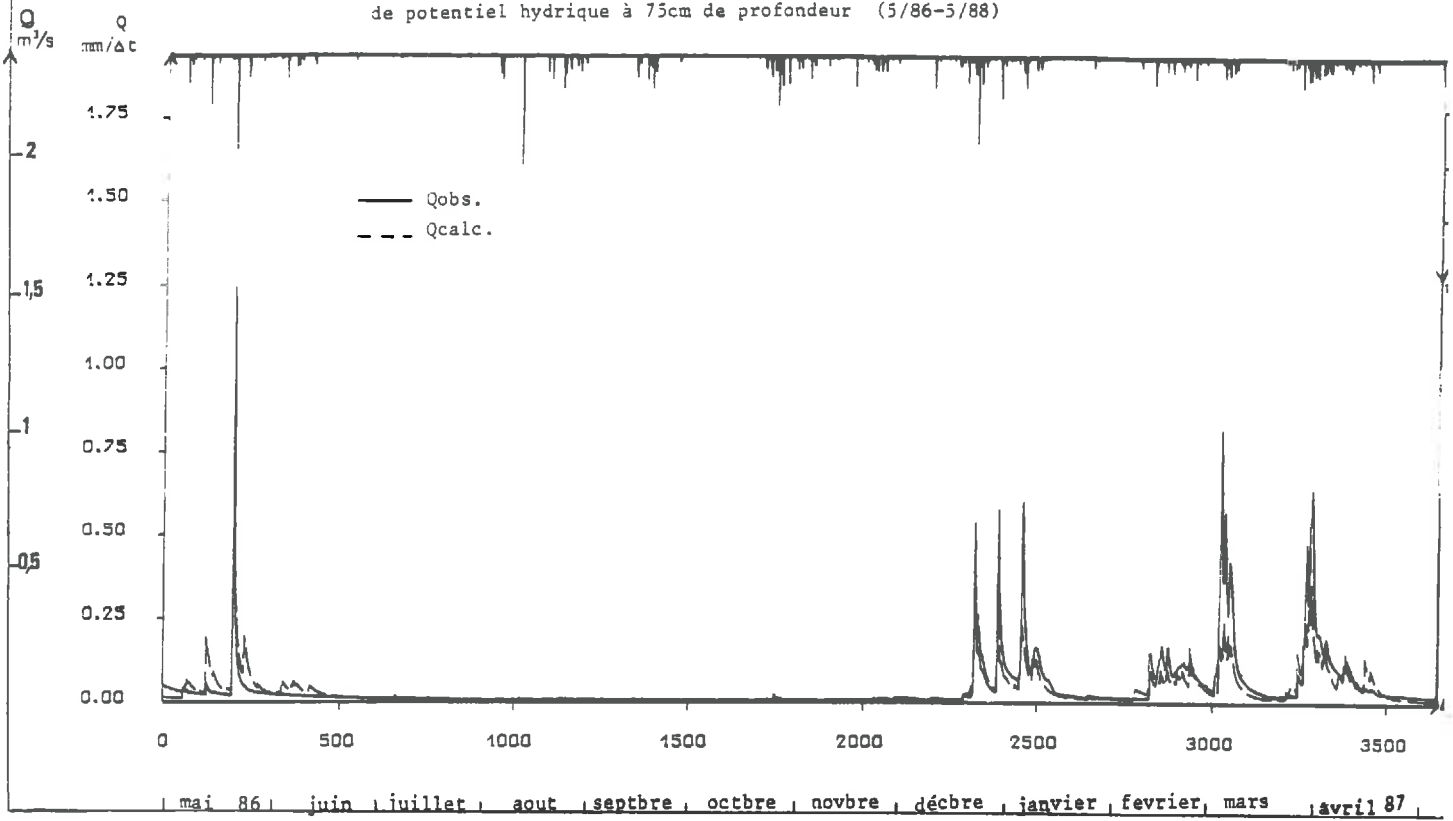
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
du potentiel hydrique à 55cm de profondeur (5/86-5/87)



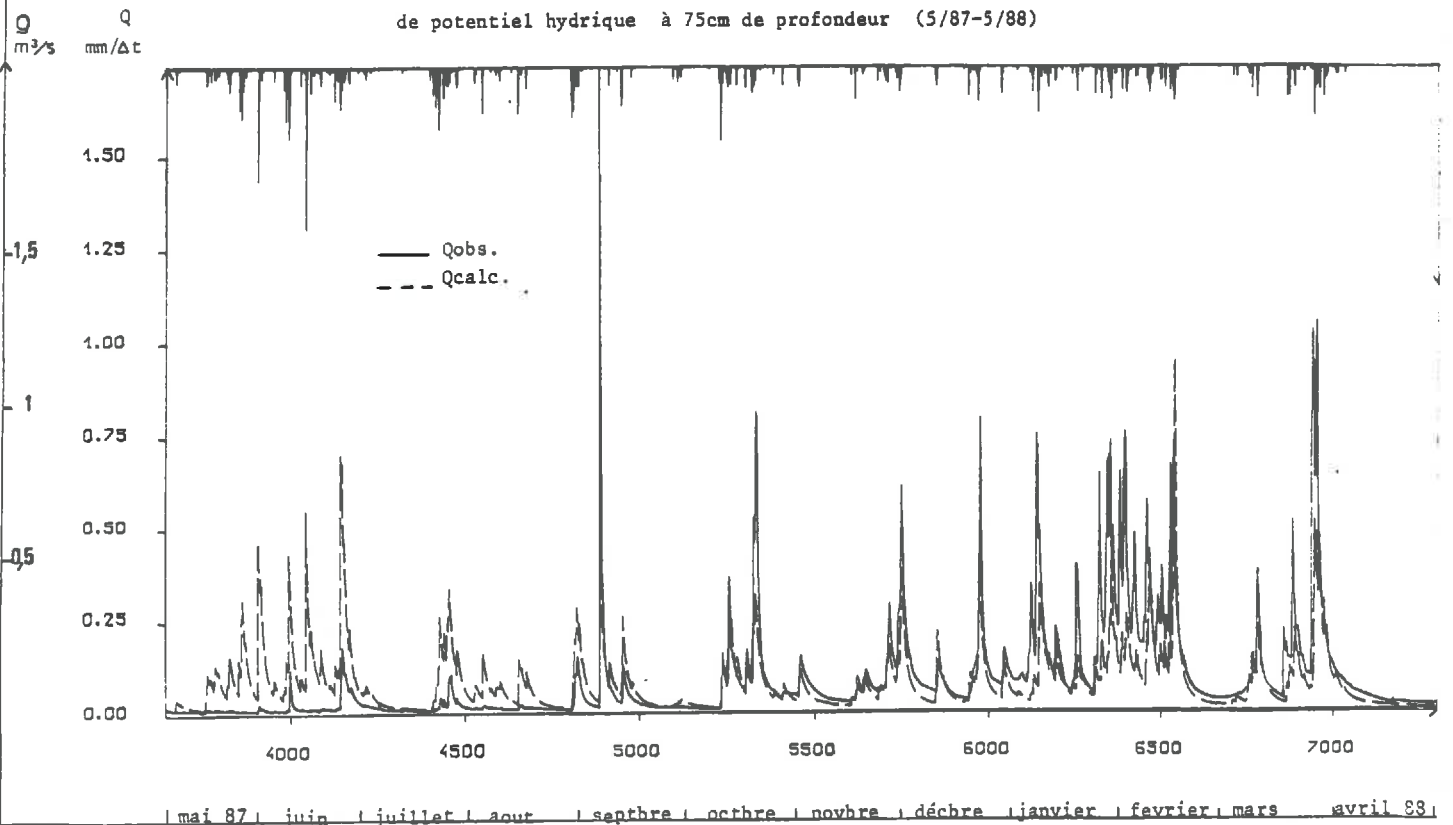
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 55cm de profondeur (5/87-5/88)



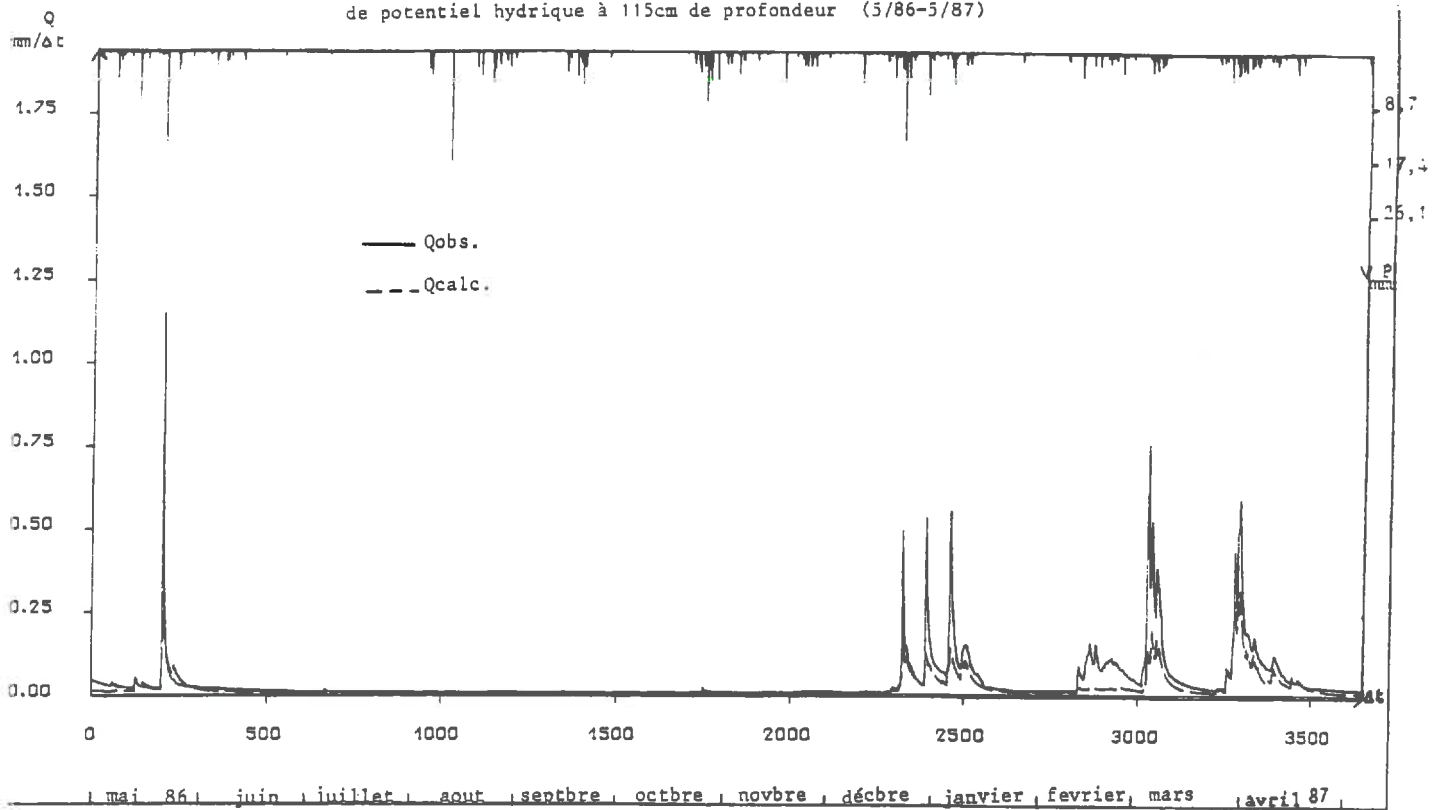
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 75cm de profondeur (5/86-5/88)



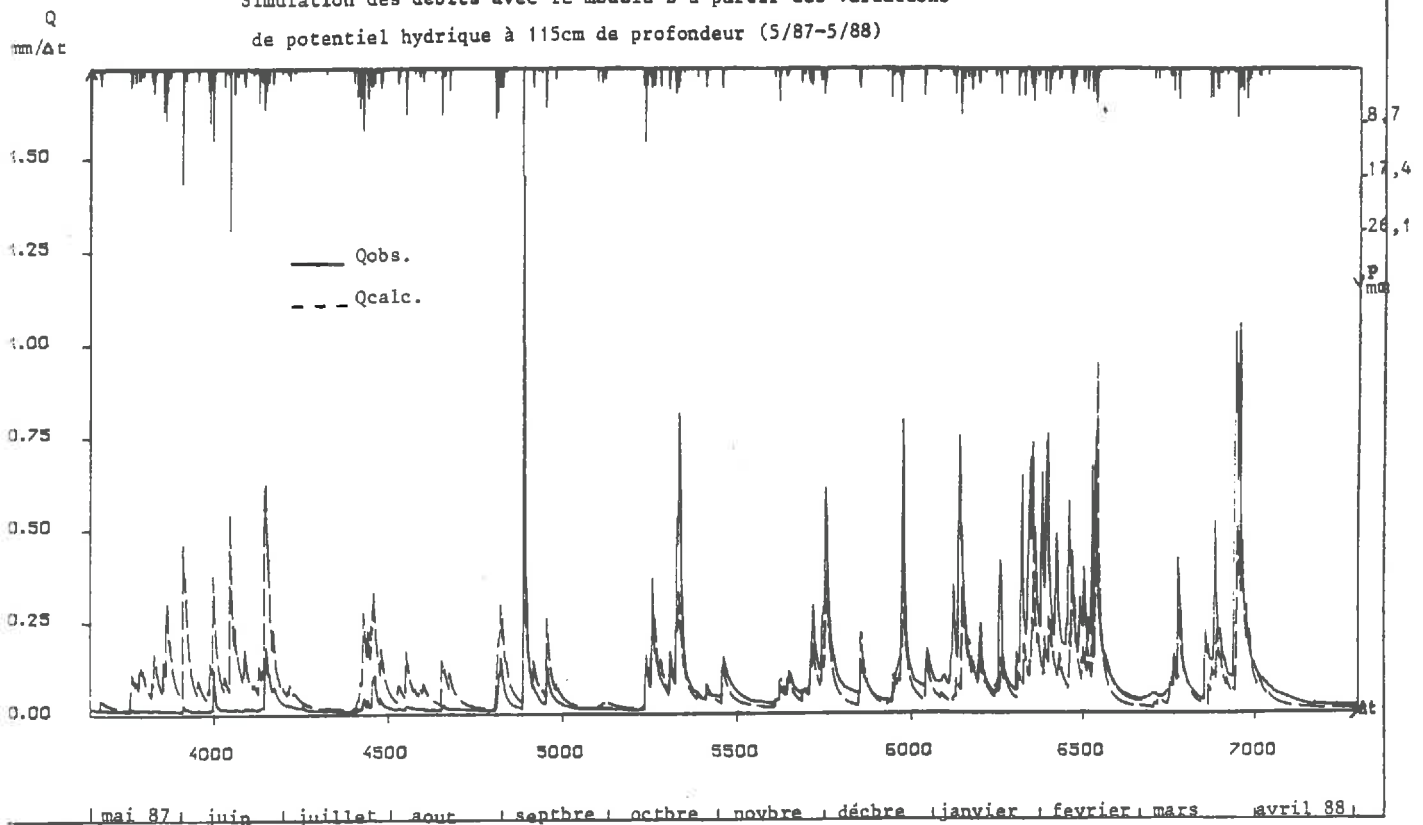
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 75cm de profondeur (5/87-5/88)

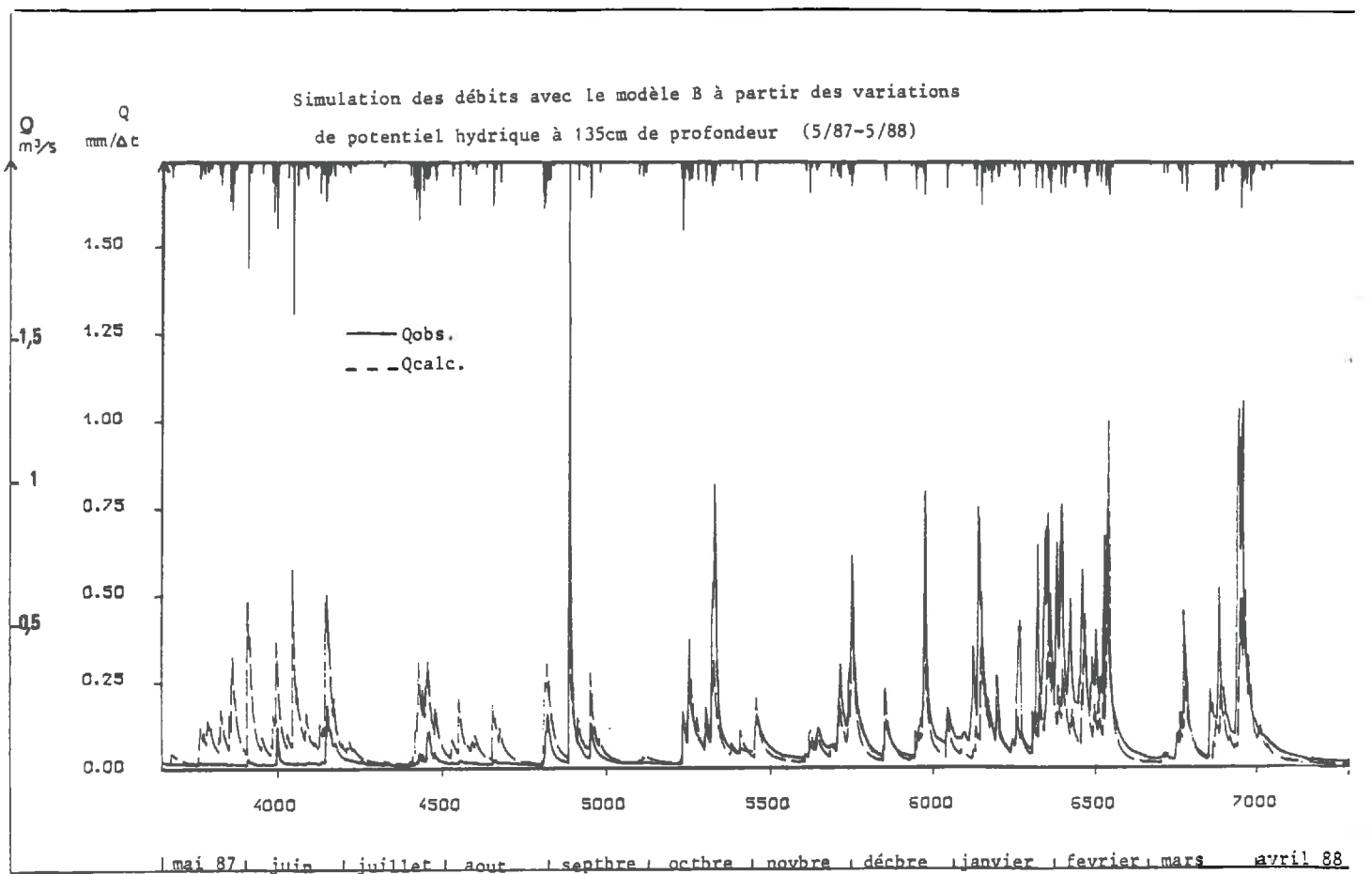
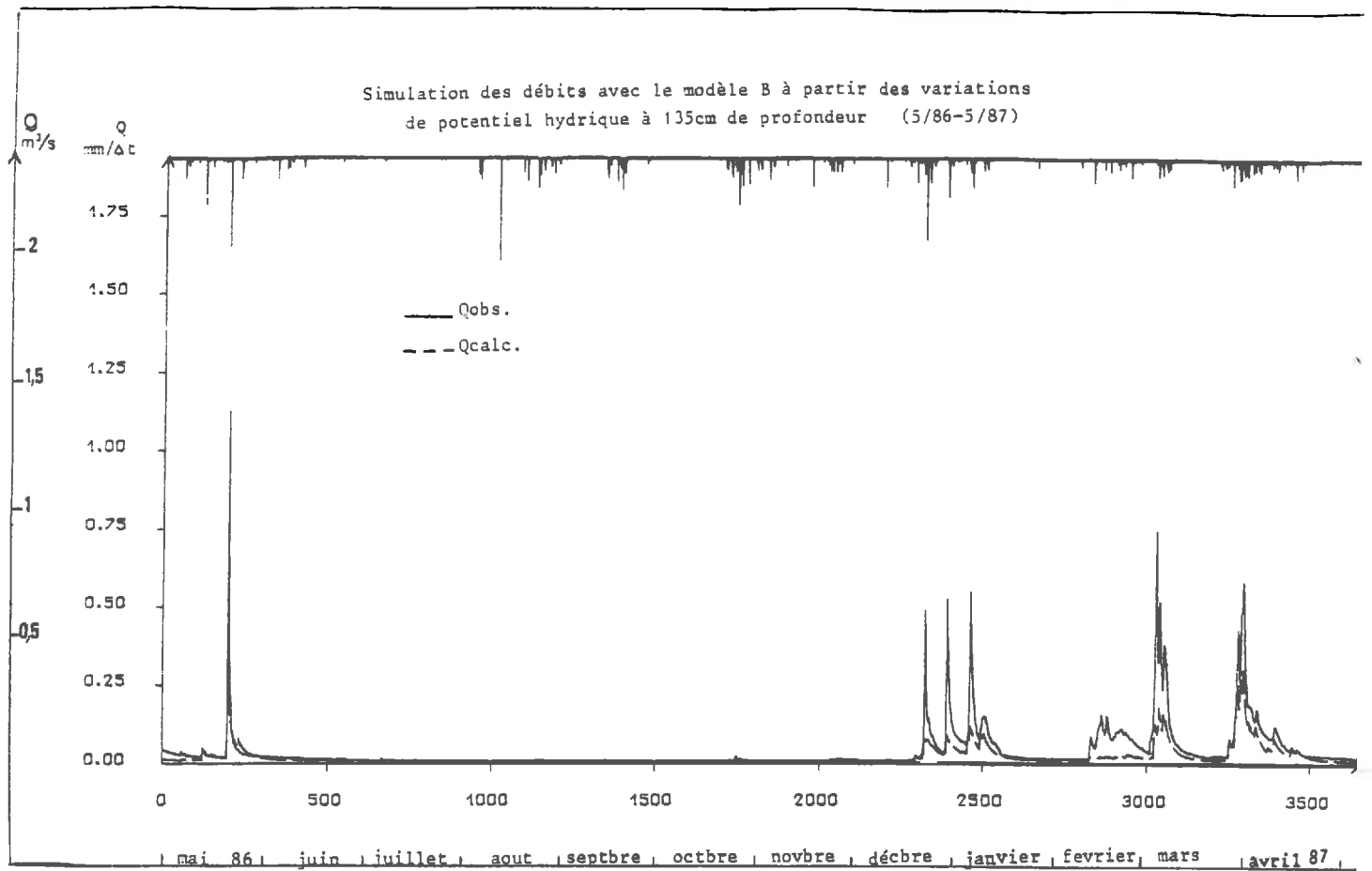


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 115cm de profondeur (5/86-5/87)

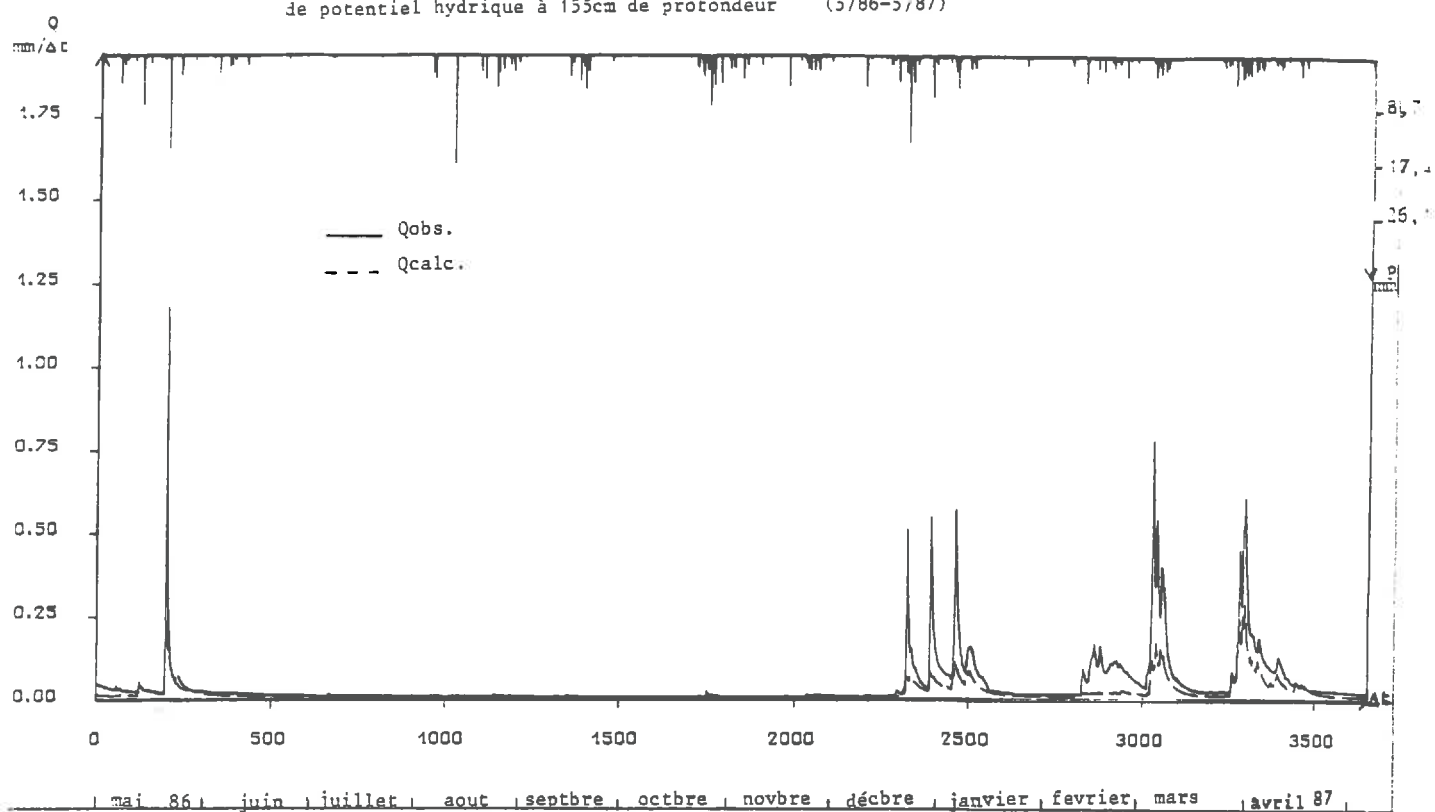


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 115cm de profondeur (5/87-5/88)

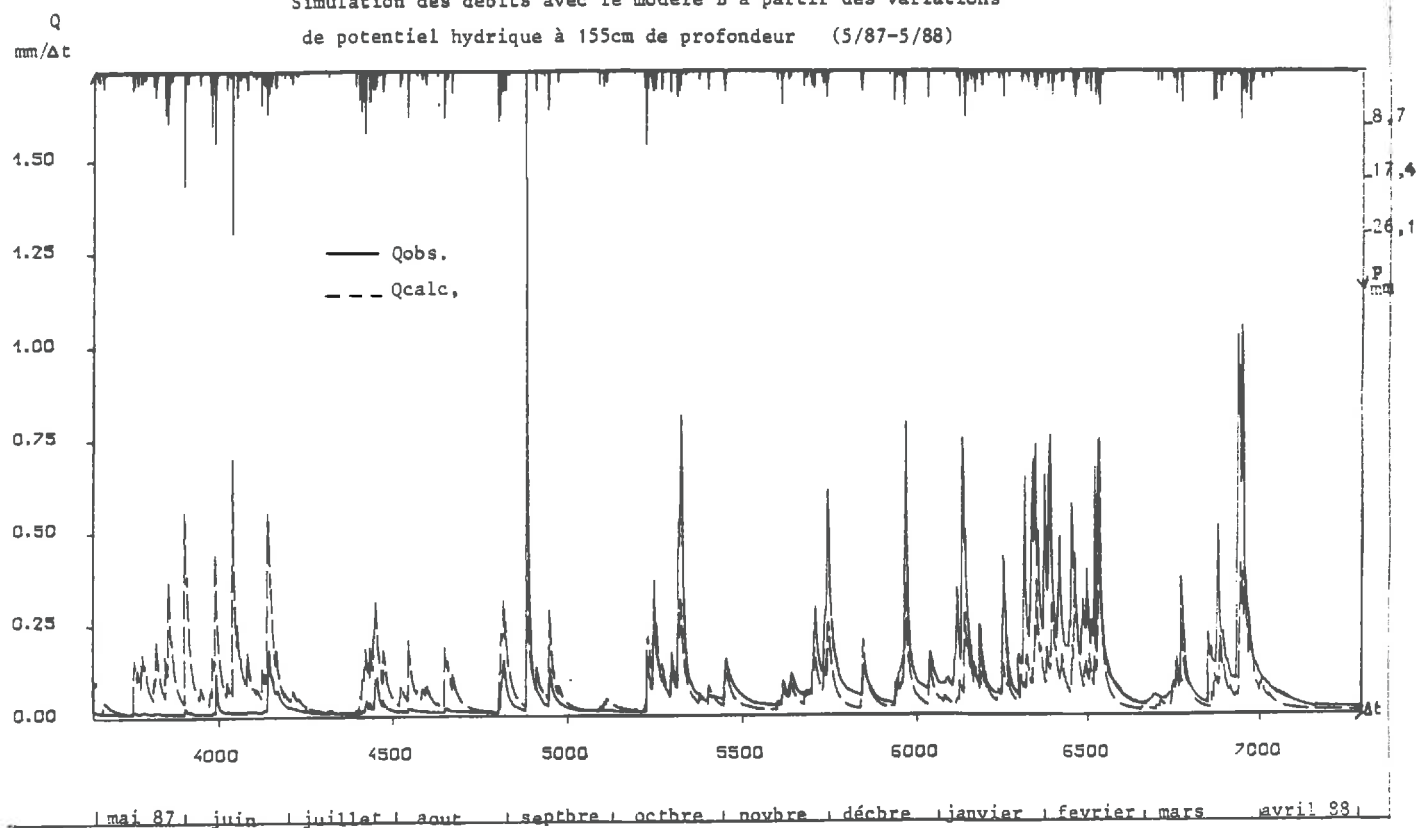


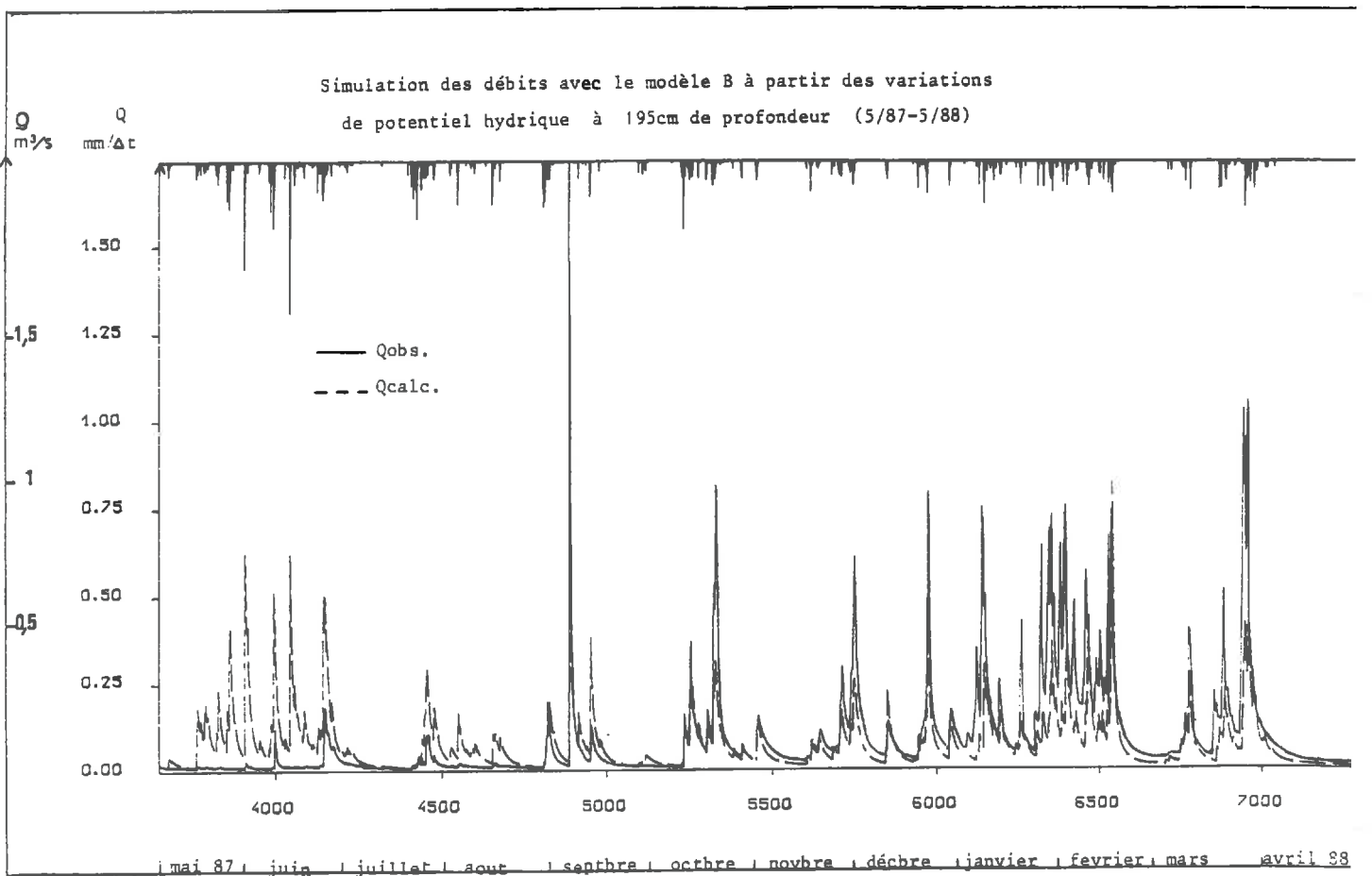
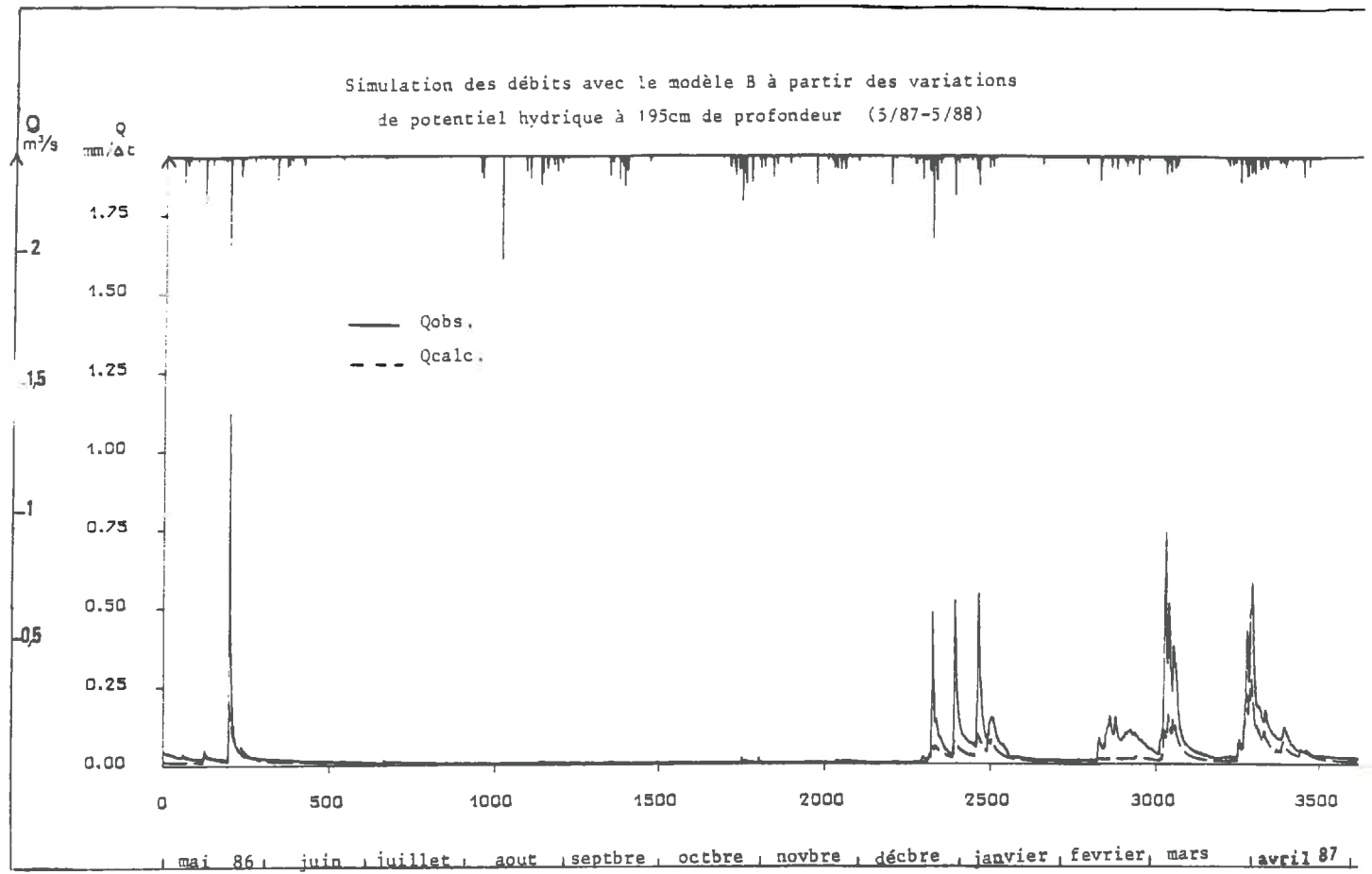


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 155cm de profondeur (5/86-5/87)

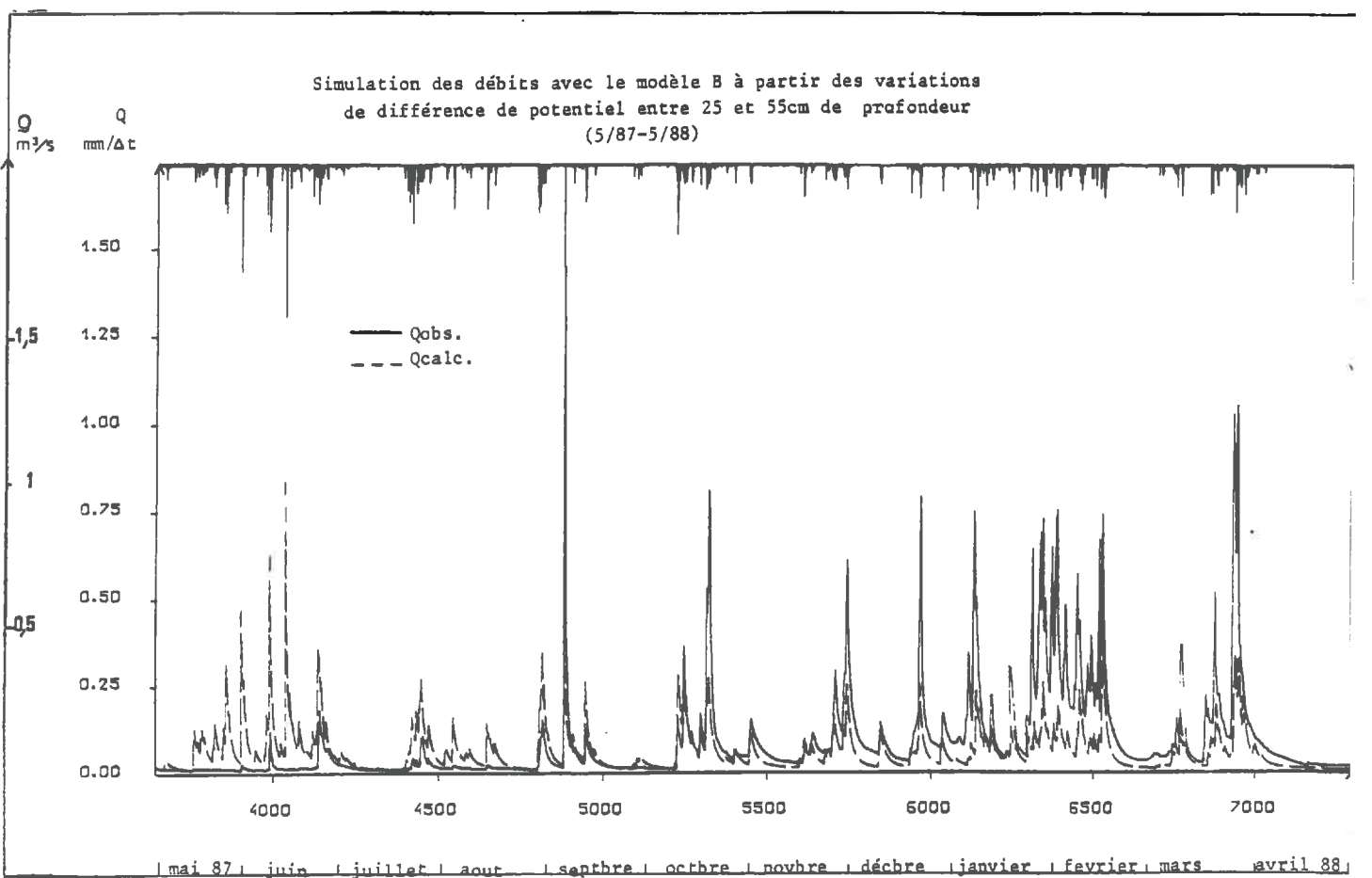
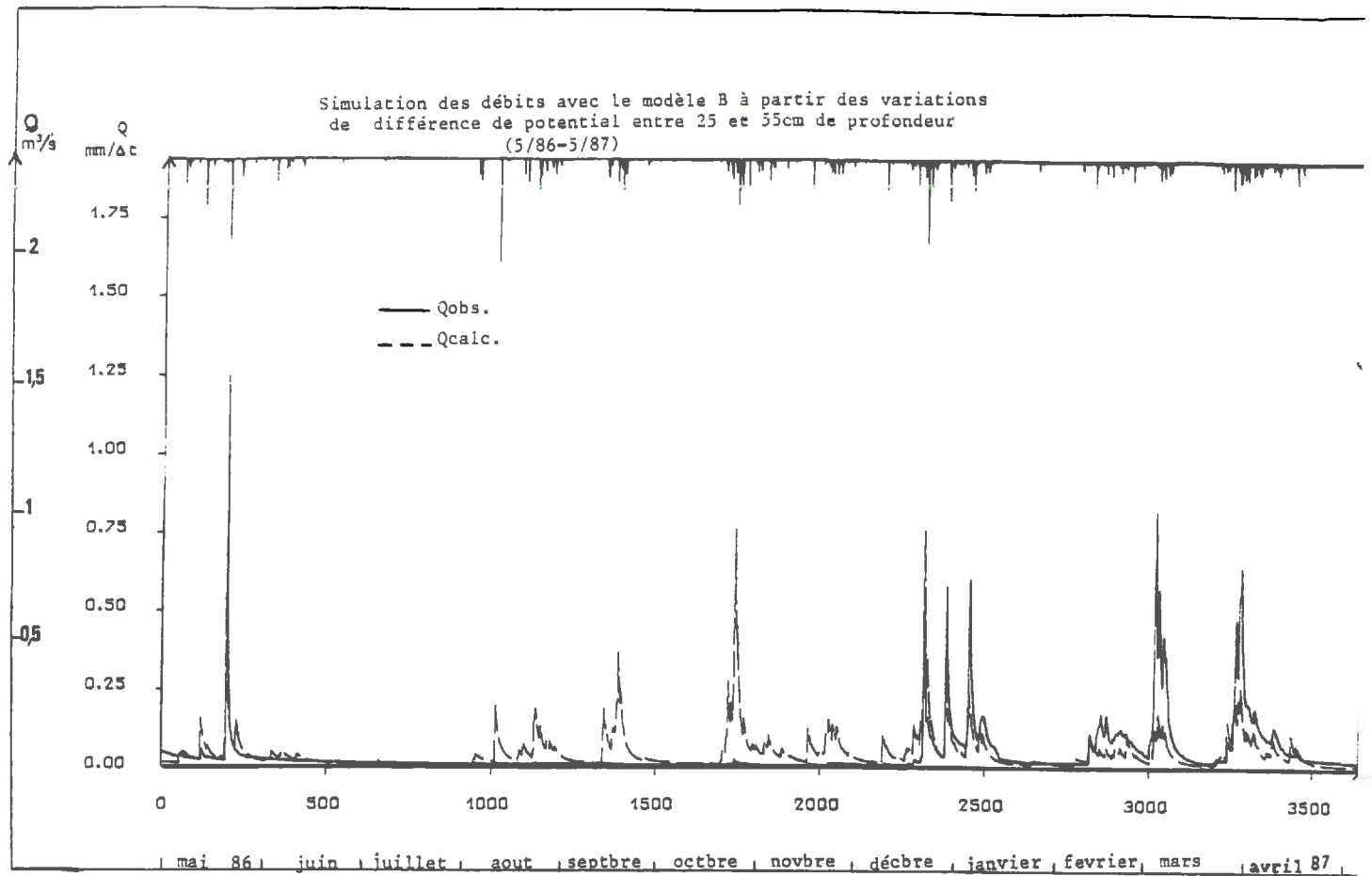


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de potentiel hydrique à 155cm de profondeur (5/87-5/88)

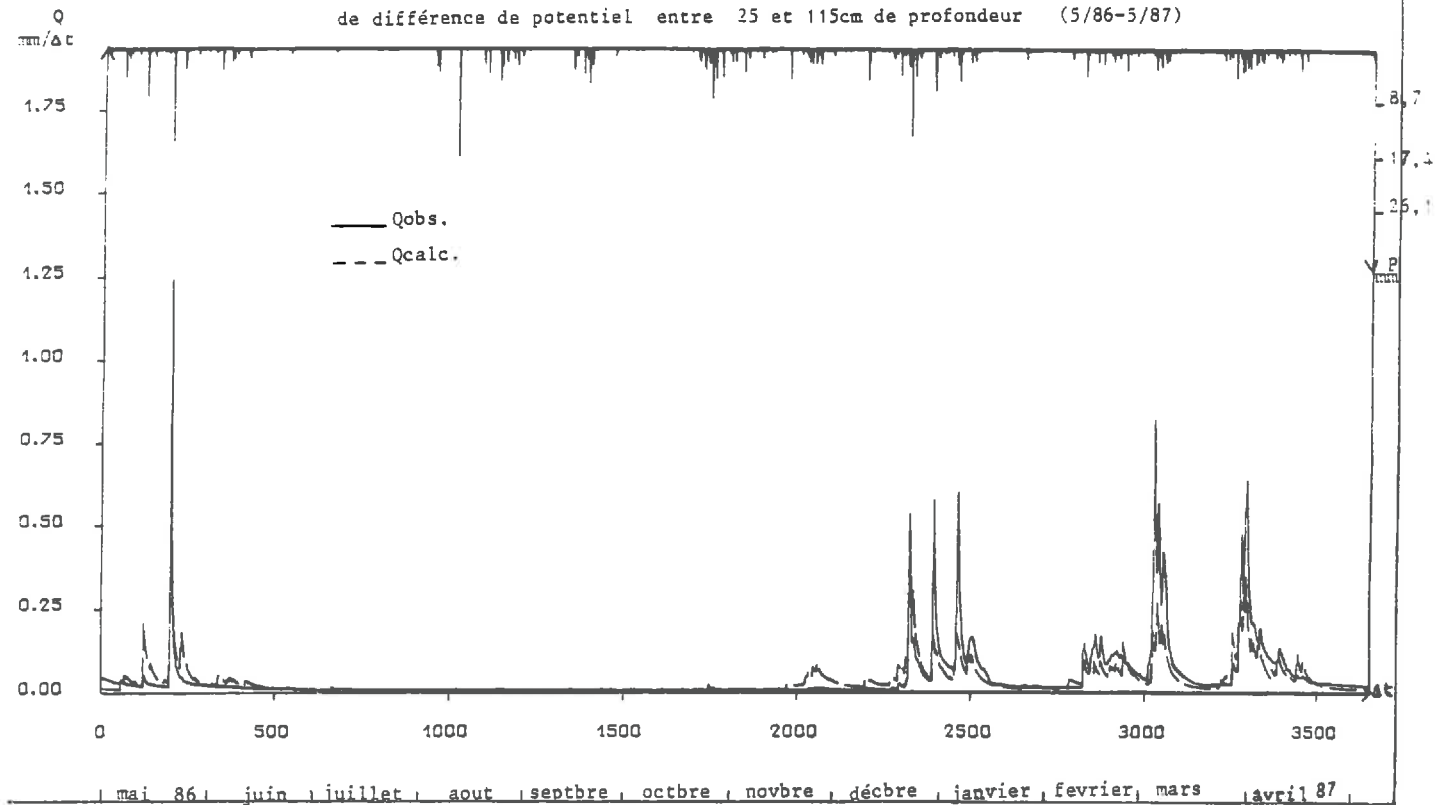




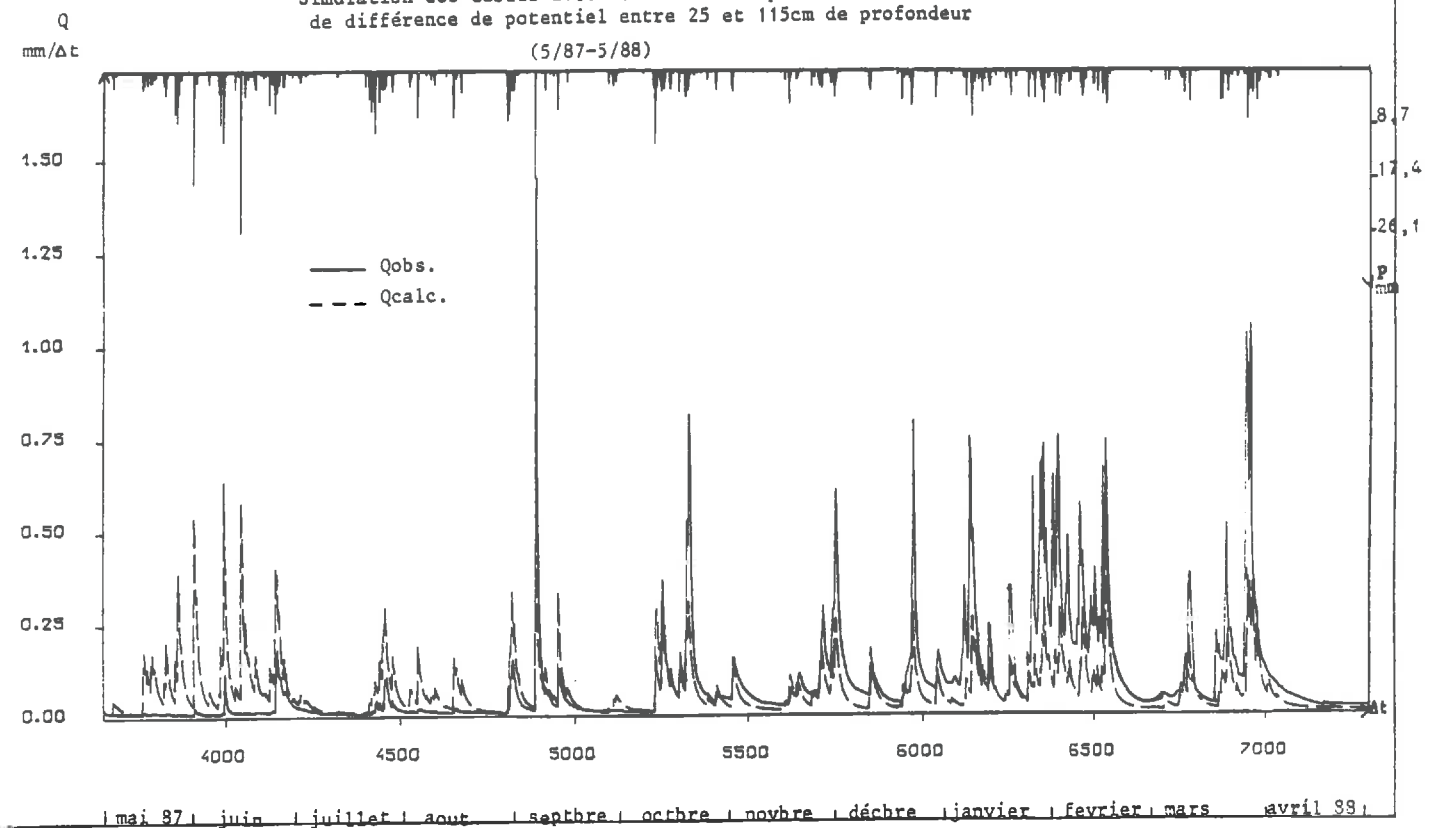
**VII.3.c - Simulation des débits avec le modèle B pour les variations
de différences de potentiel à différentes profondeurs**

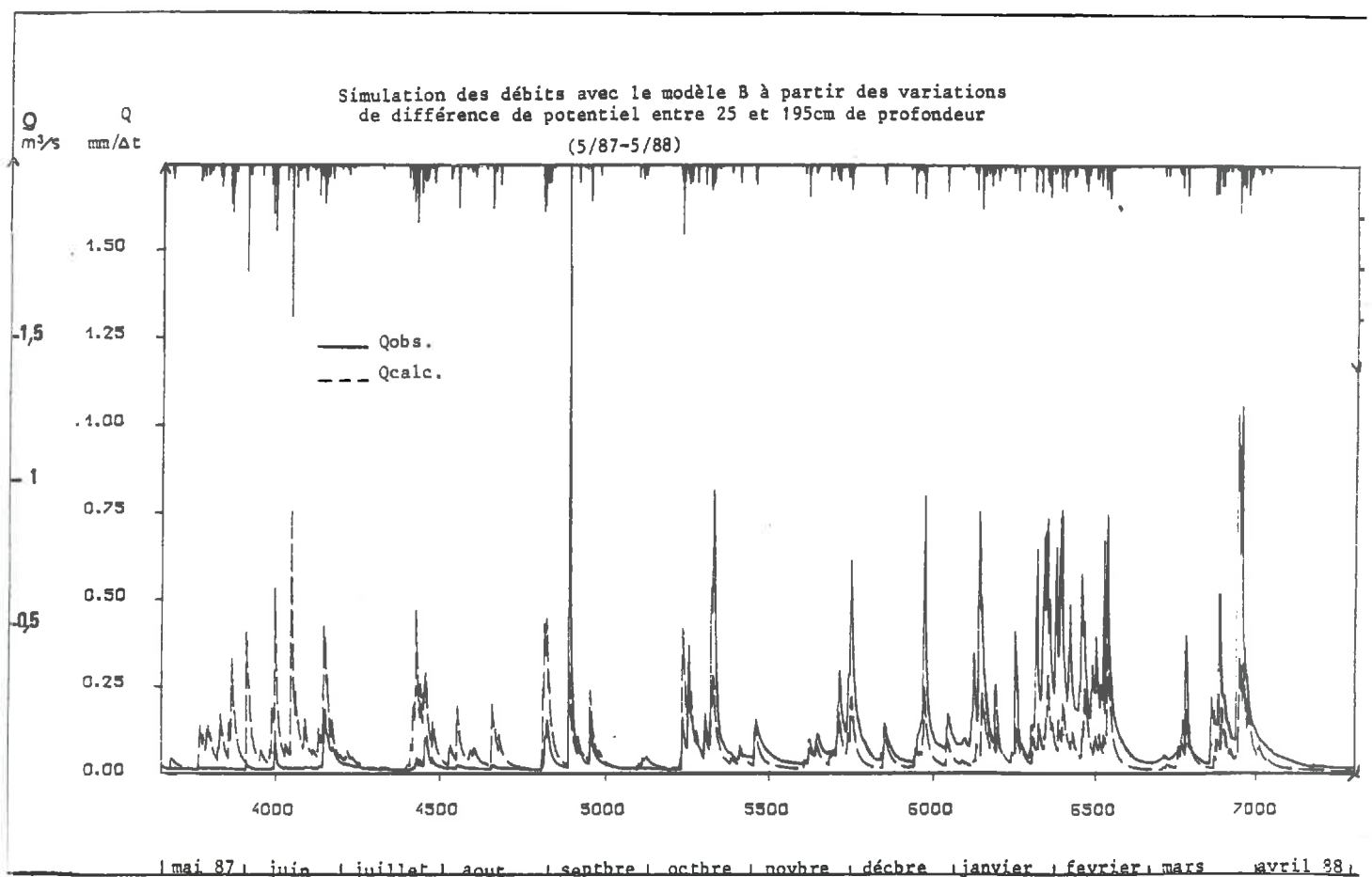
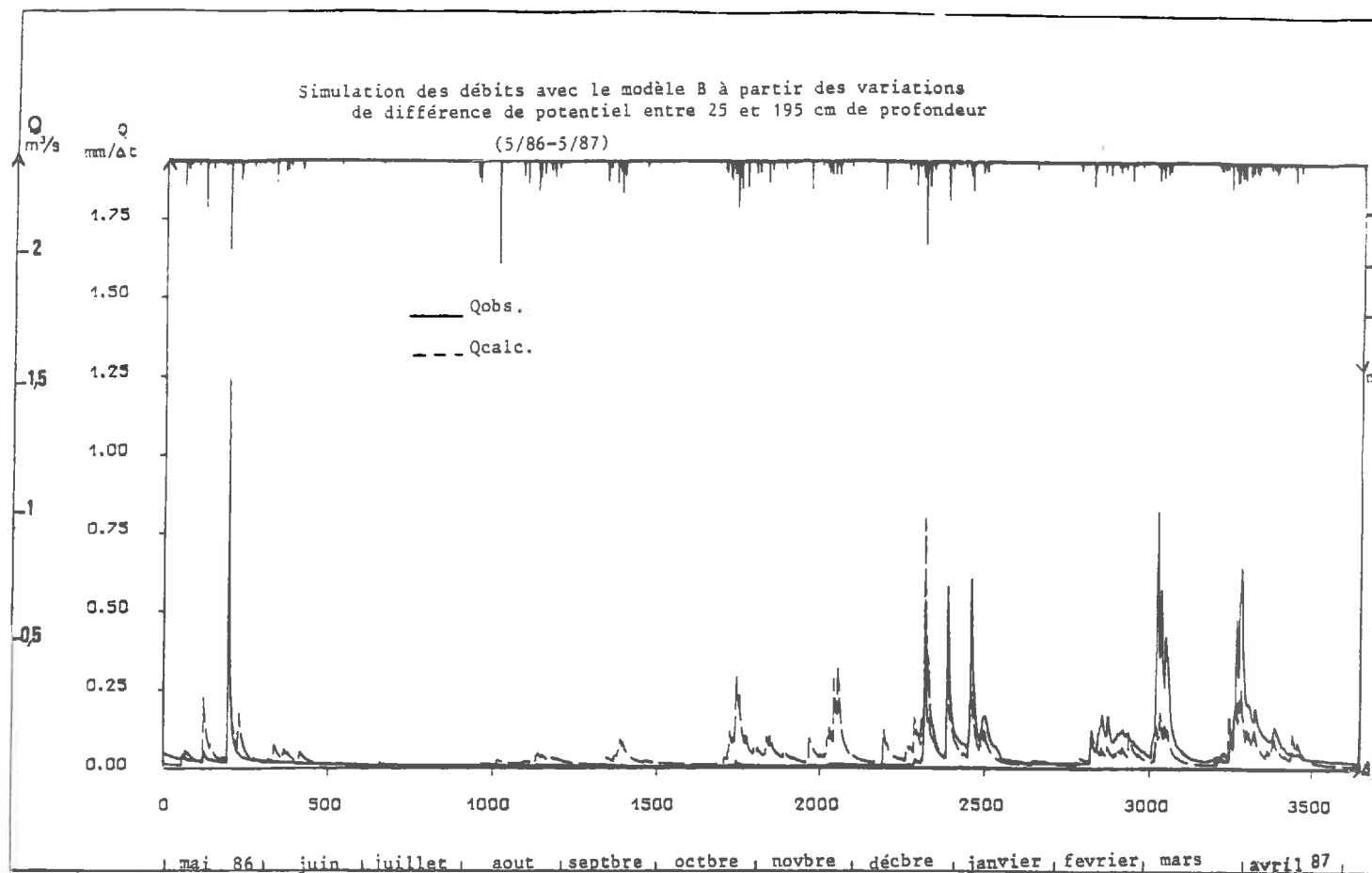


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 25 et 115cm de profondeur (5/86-5/87)



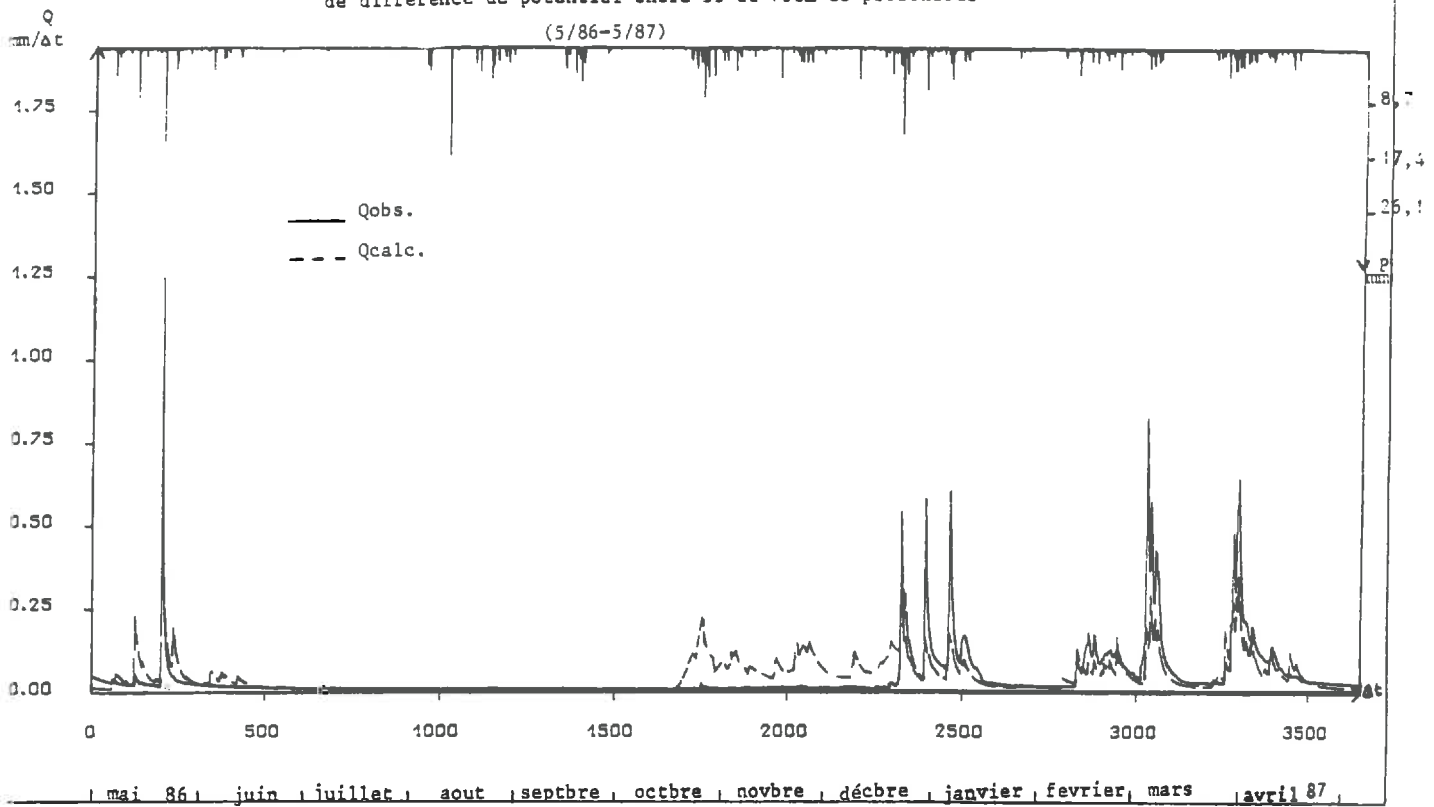
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 25 et 115cm de profondeur
(5/87-5/88)



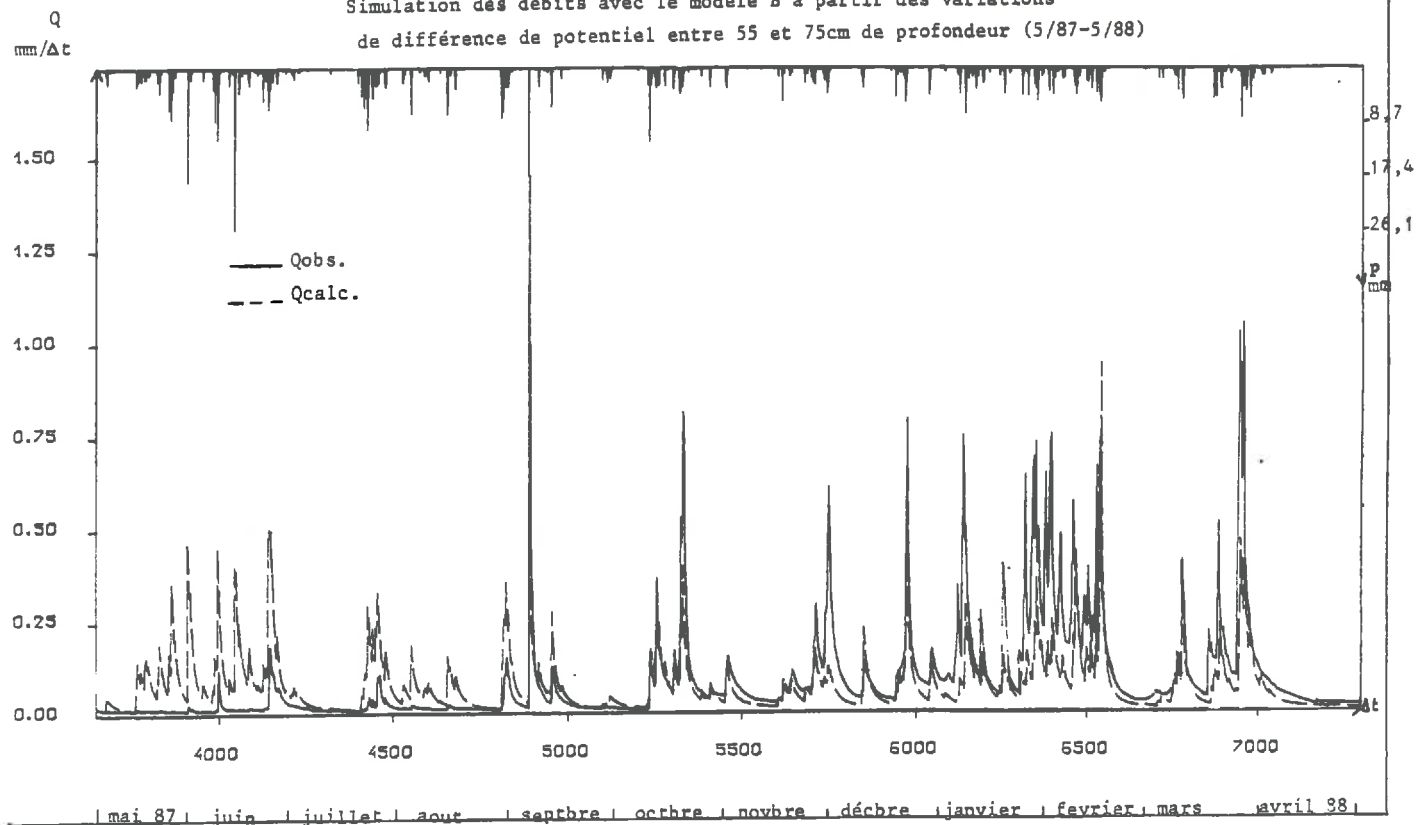


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur

(5/86-5/87)

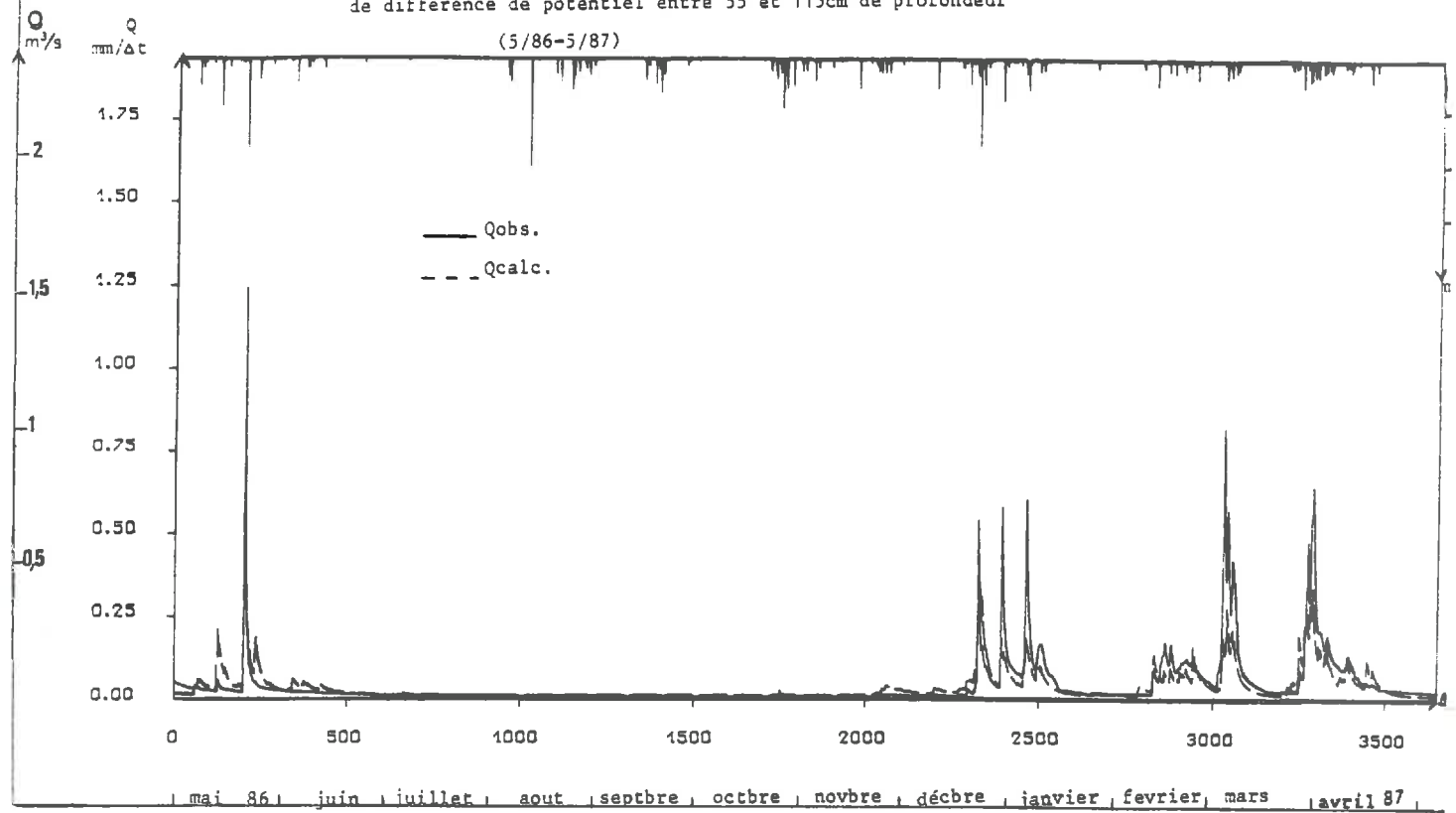


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 55 et 75cm de profondeur (5/87-5/88)



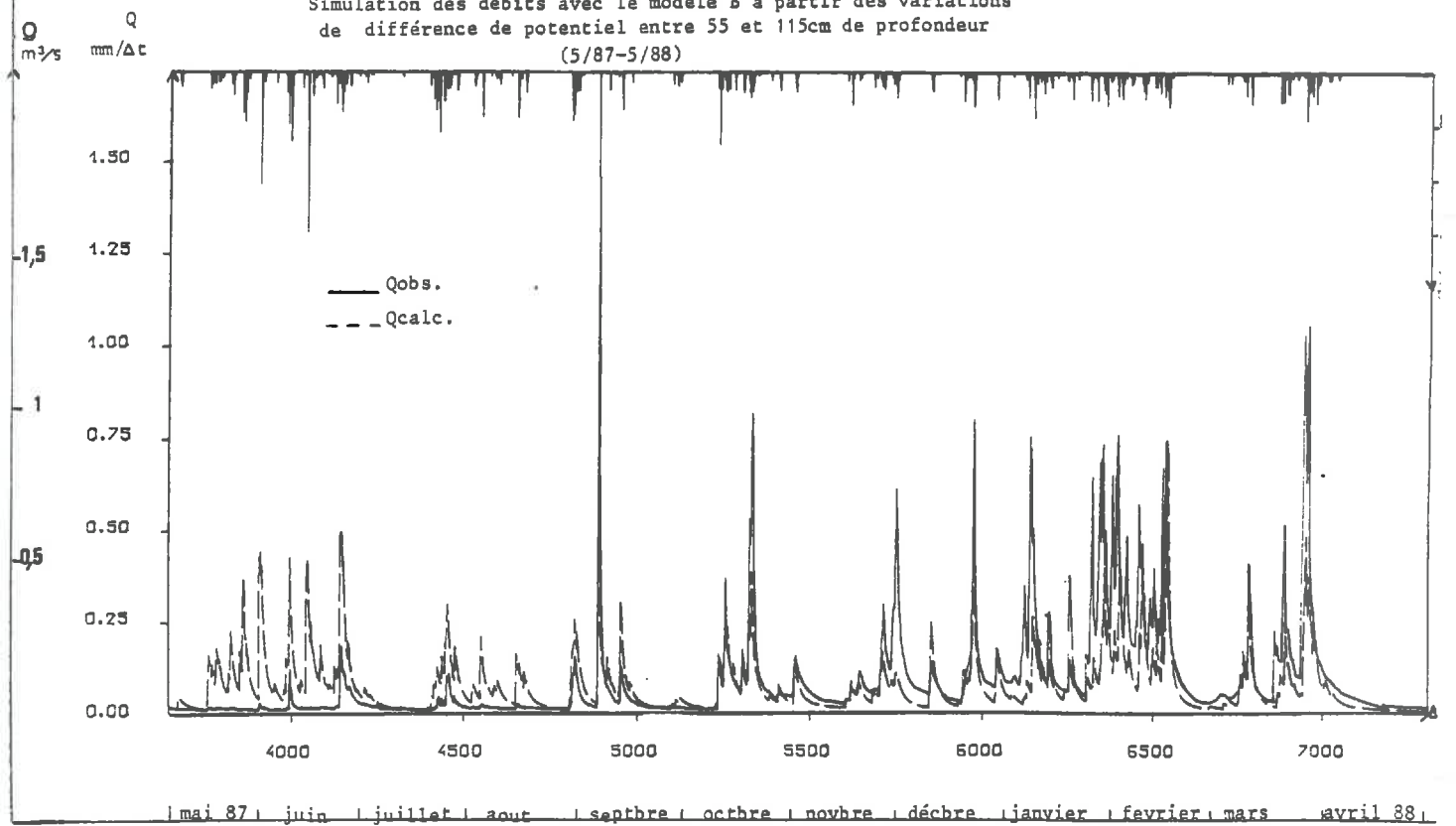
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur

(5/86-5/87)

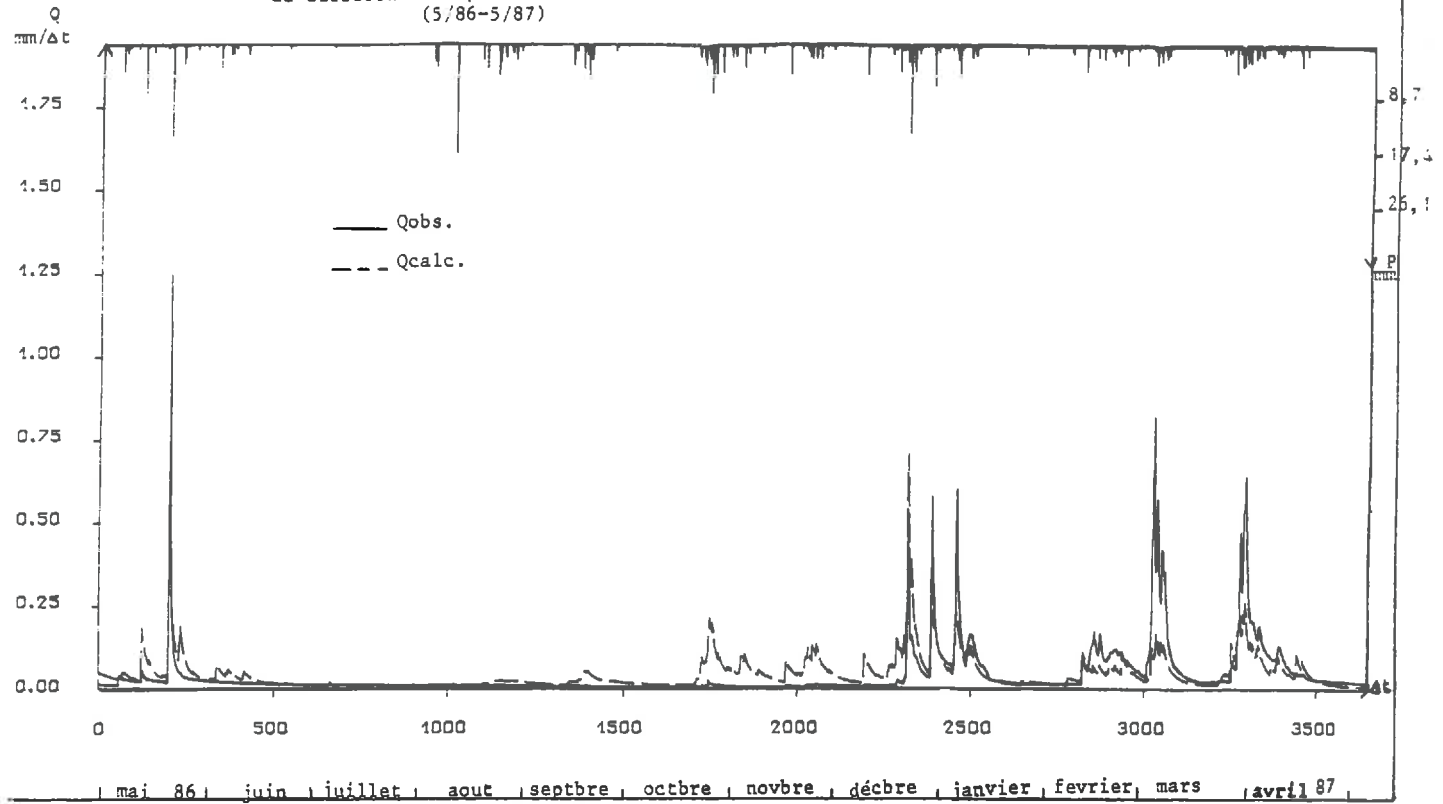


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 55 et 115cm de profondeur

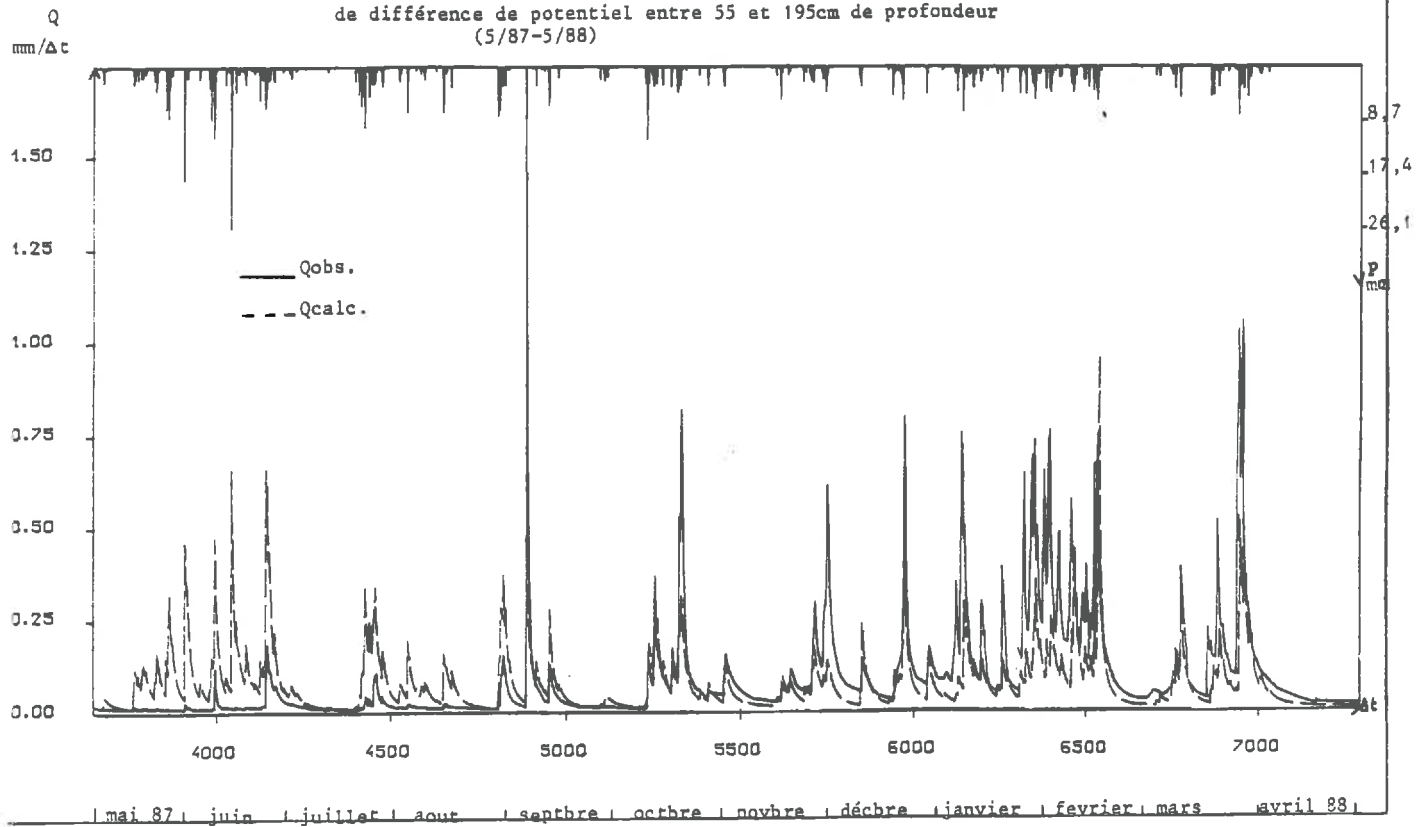
(5/87-5/88)



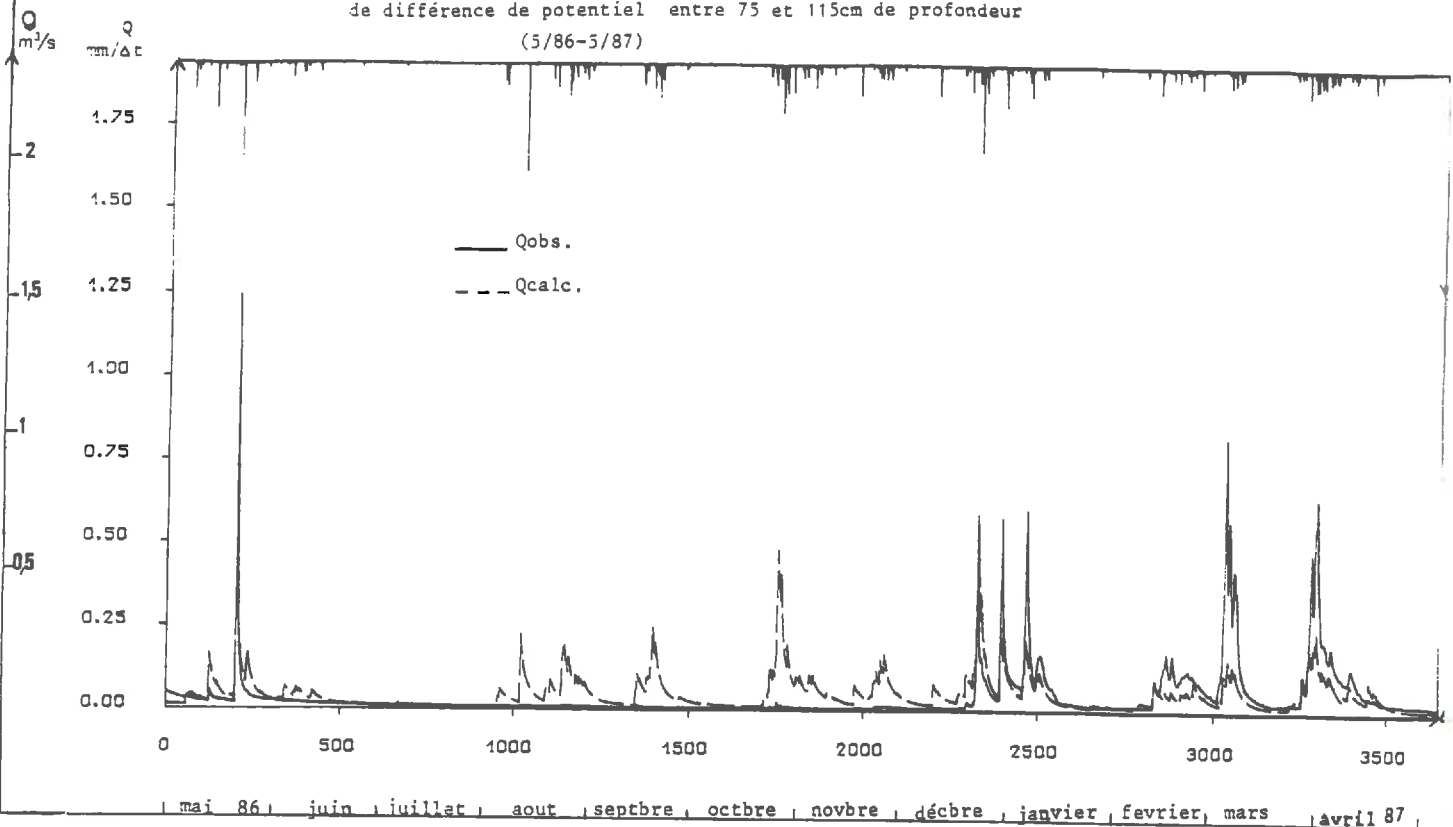
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur
(5/86-5/87)



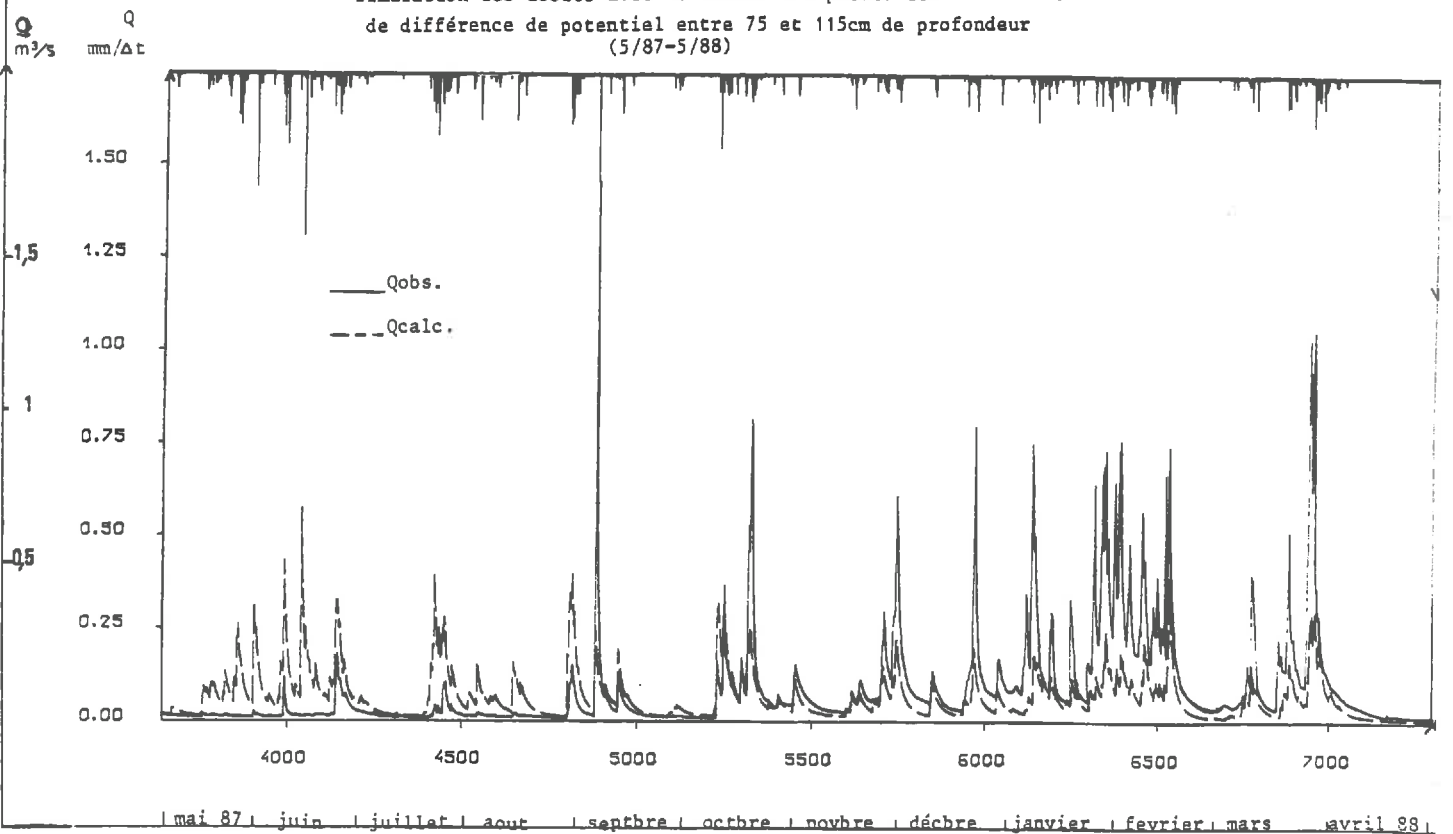
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 55 et 195cm de profondeur
(5/87-5/88)



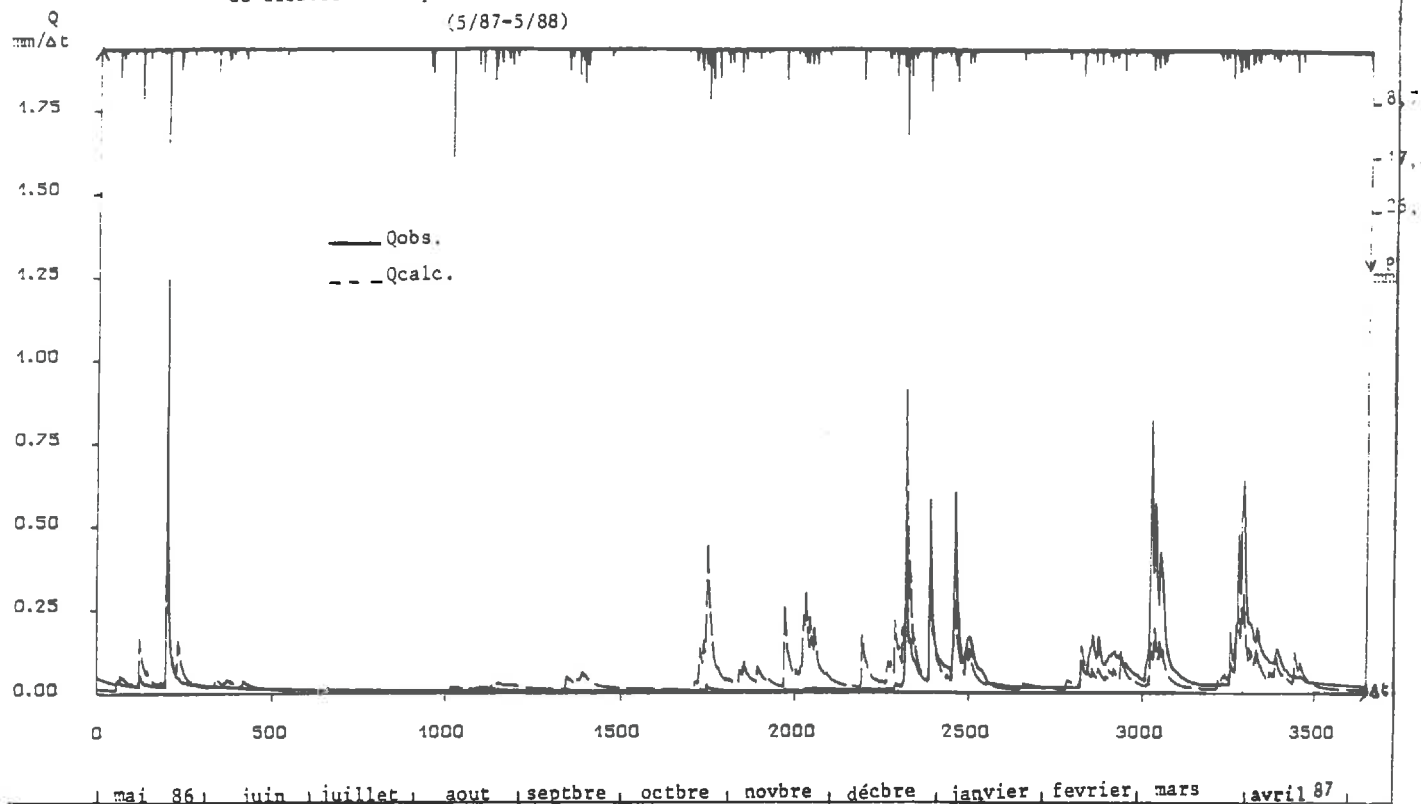
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 75 et 115cm de profondeur
(5/86-5/87)



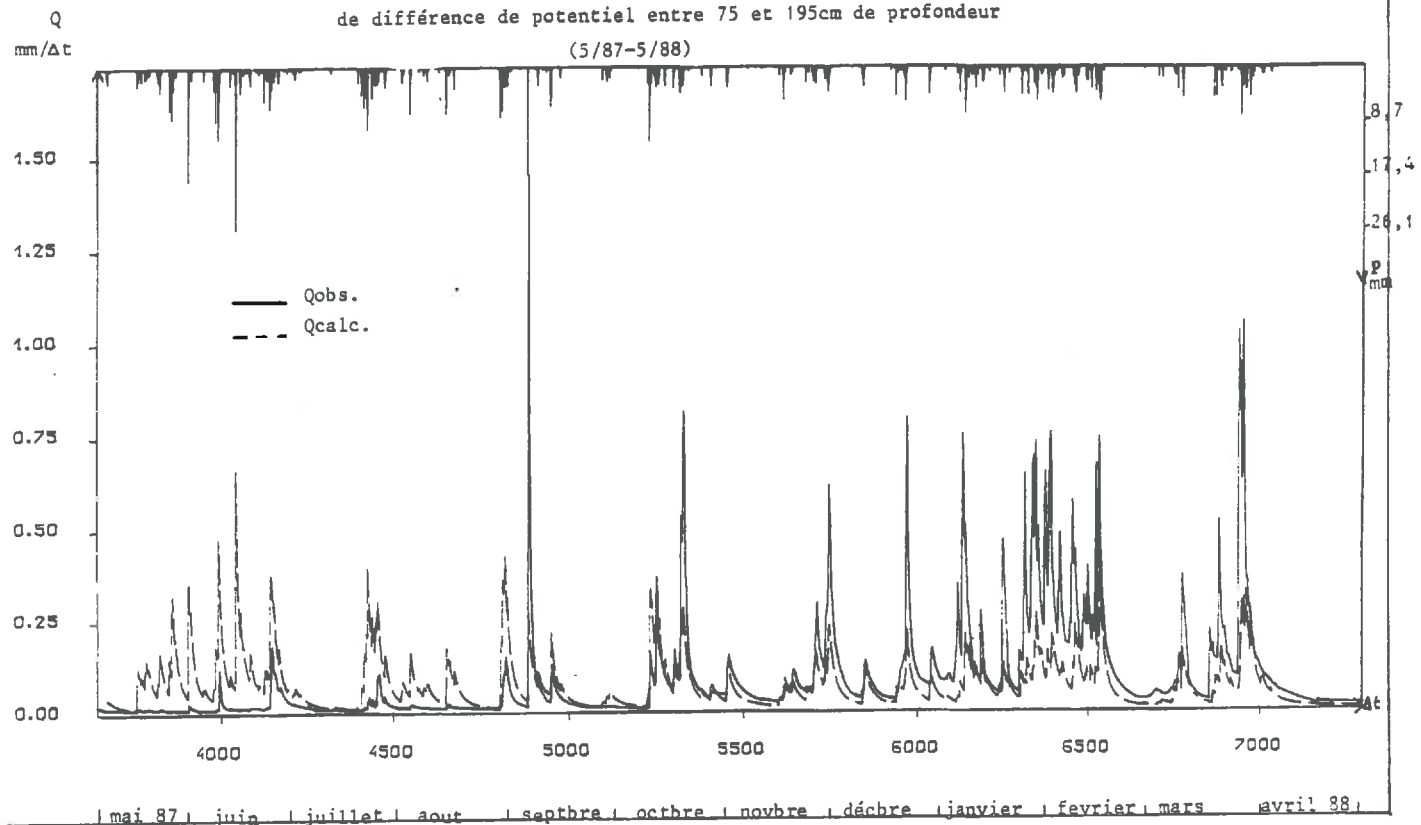
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
de différence de potentiel entre 75 et 115cm de profondeur
(5/87-5/88)



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)

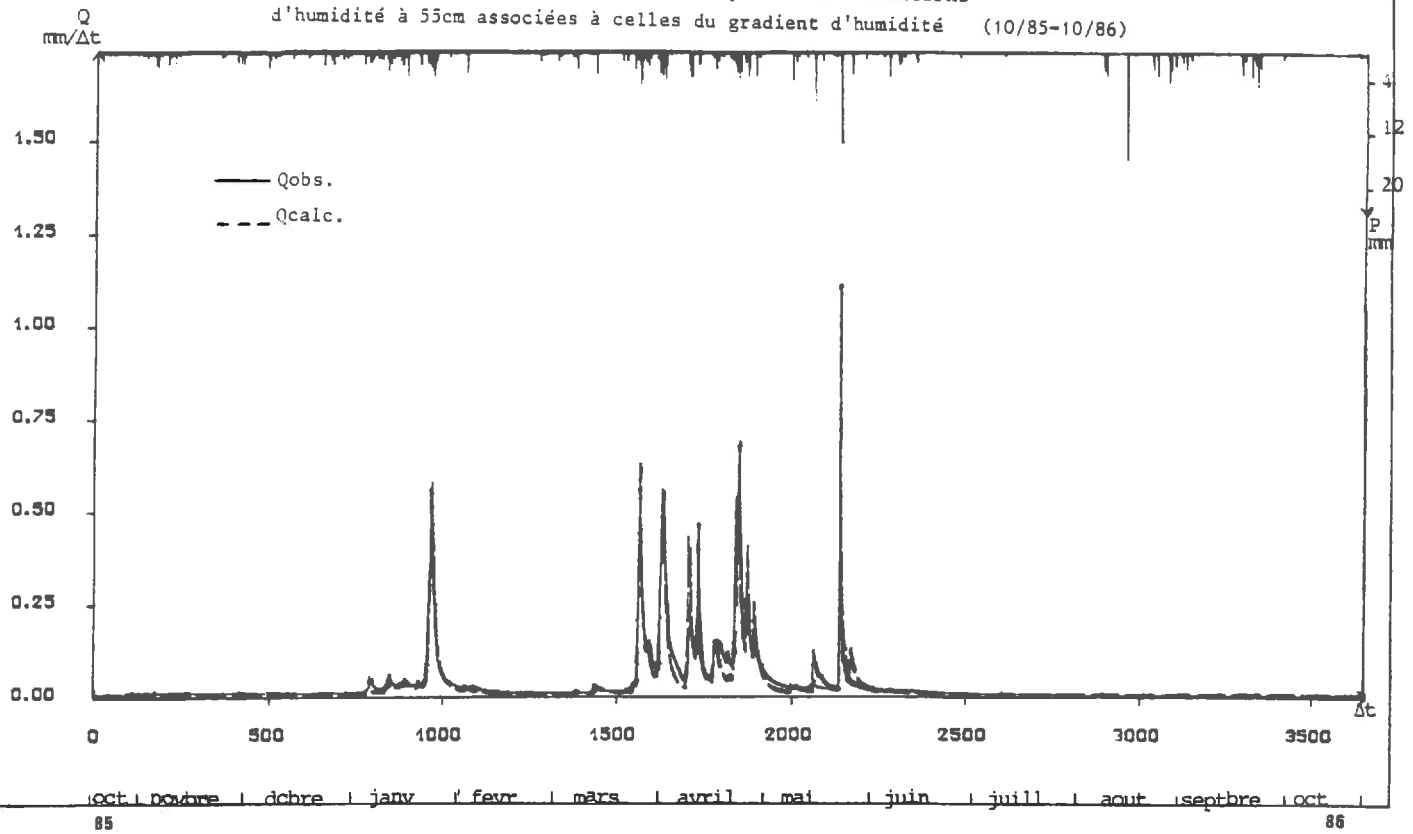


VII.4 - Simulation des débits avec le modèle B en introduisant plusieurs variables

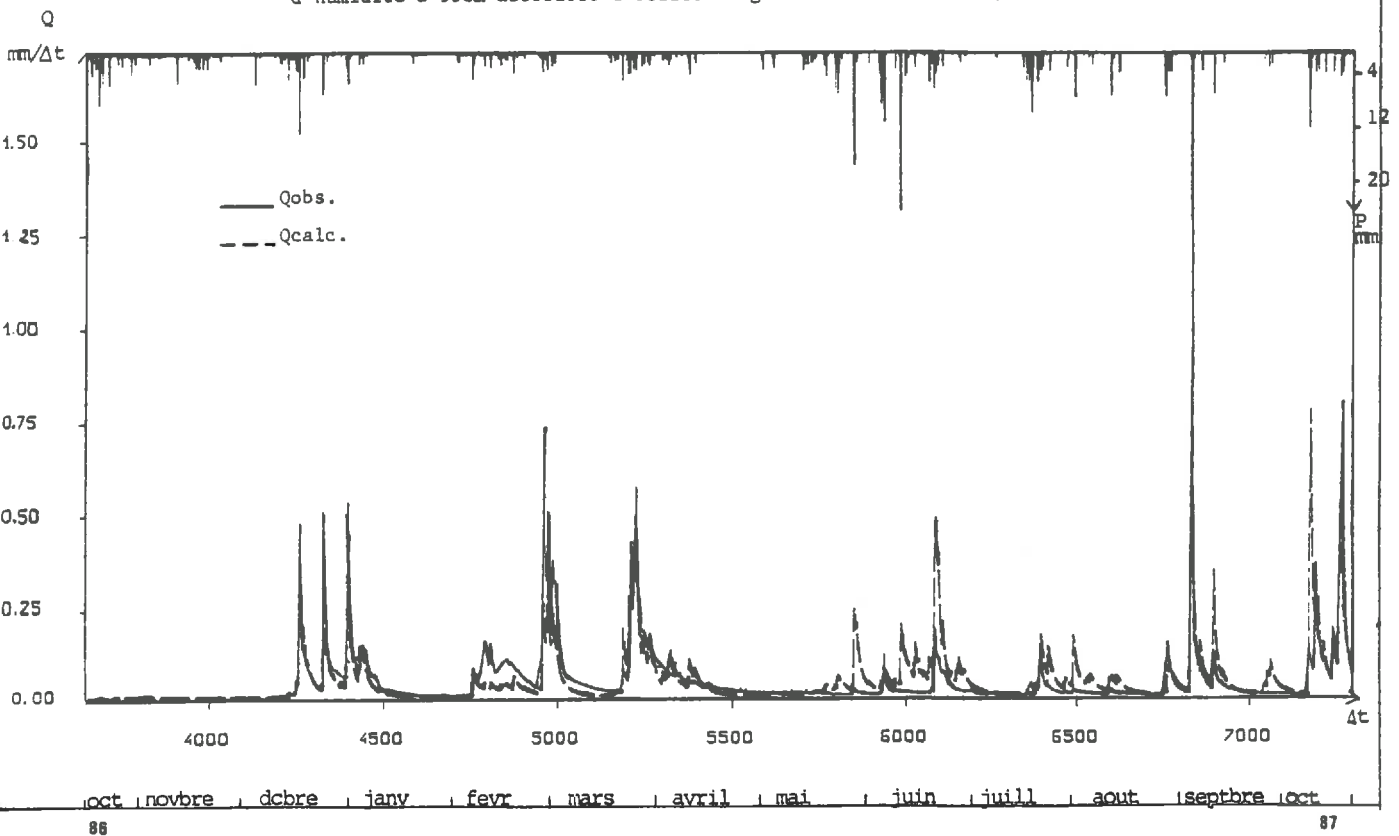
- a - variations d'humidité à 55 cm associées à celles du "gradient" d'humidité (10/85-10/87)
- b - variations d'humidité à 55 cm associées à celles à 15 cm de profondeur (10/85-10/87)
- c - variations d'humidité à 55 cm associées à celles du potentiel hydrique pour différentes profondeurs (5/86-5/88)
- d - variations d'humidité à 55 cm associées aux essais de pondération du potentiel hydrique à 55 cm (5/86-5/88)
(H55 + H55 X P55 et H55 + P55/(1-Ts))
- 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**

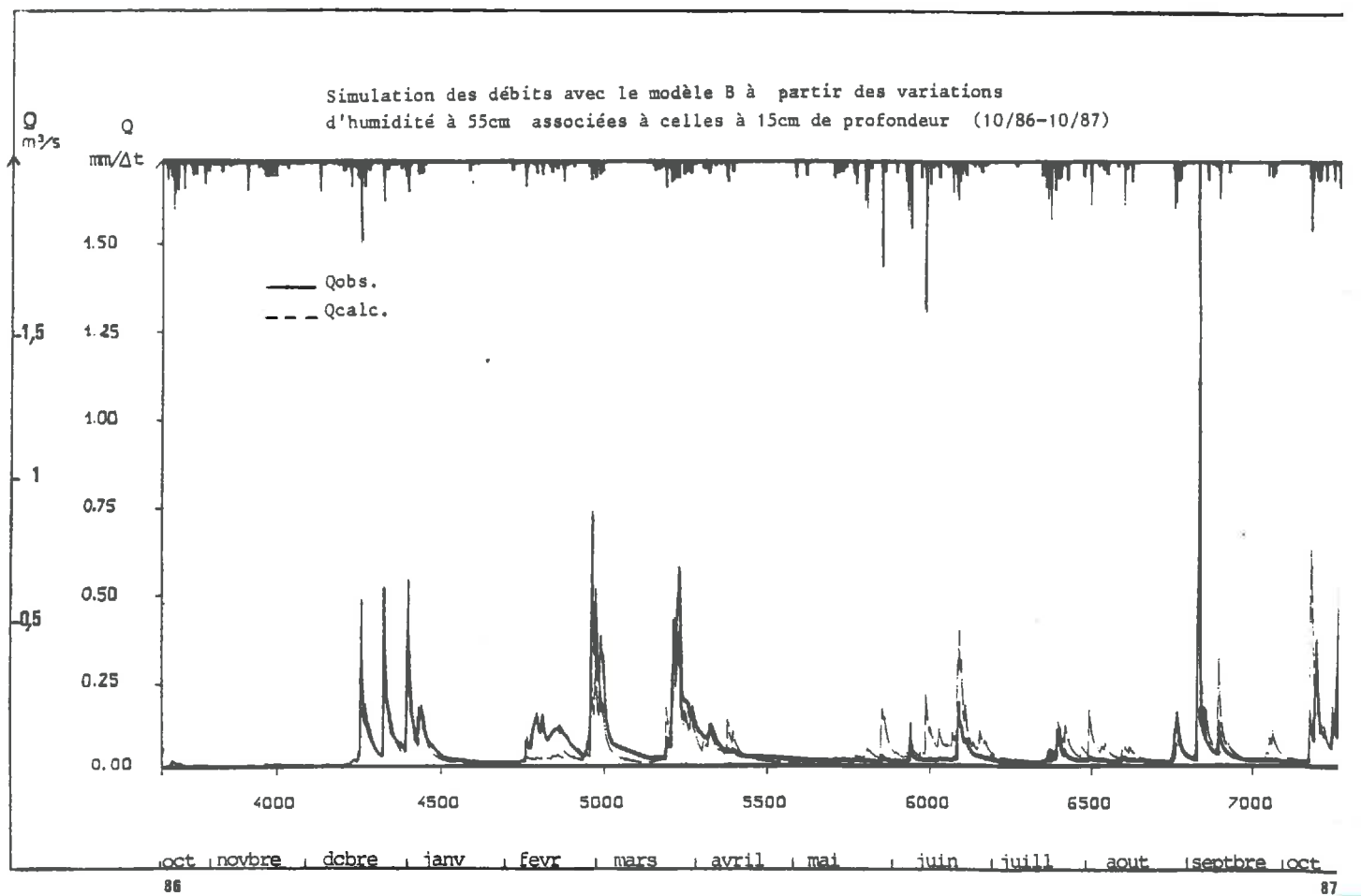
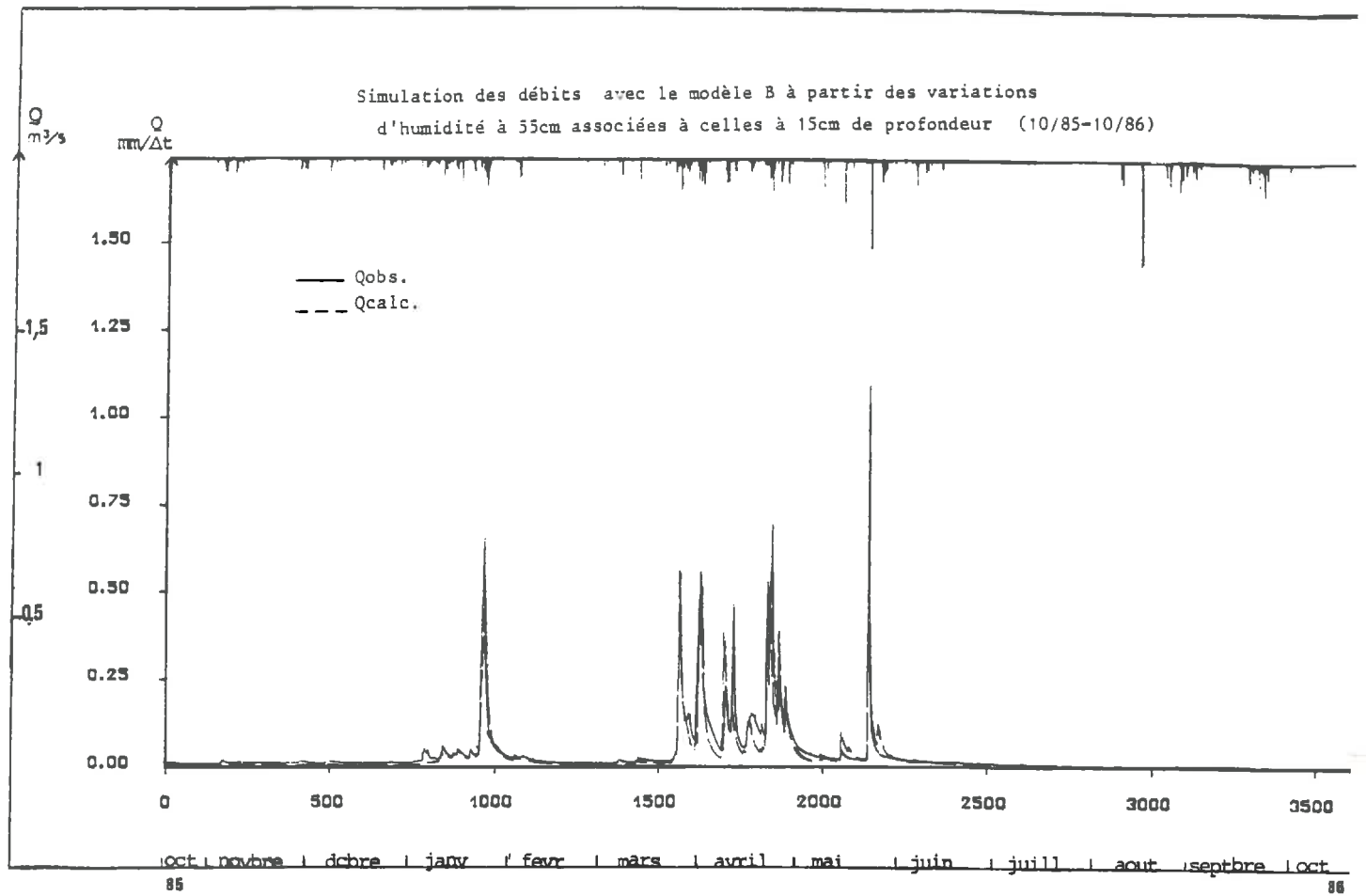
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm associées à celles du gradient d'humidité (10/85-10/86)



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)

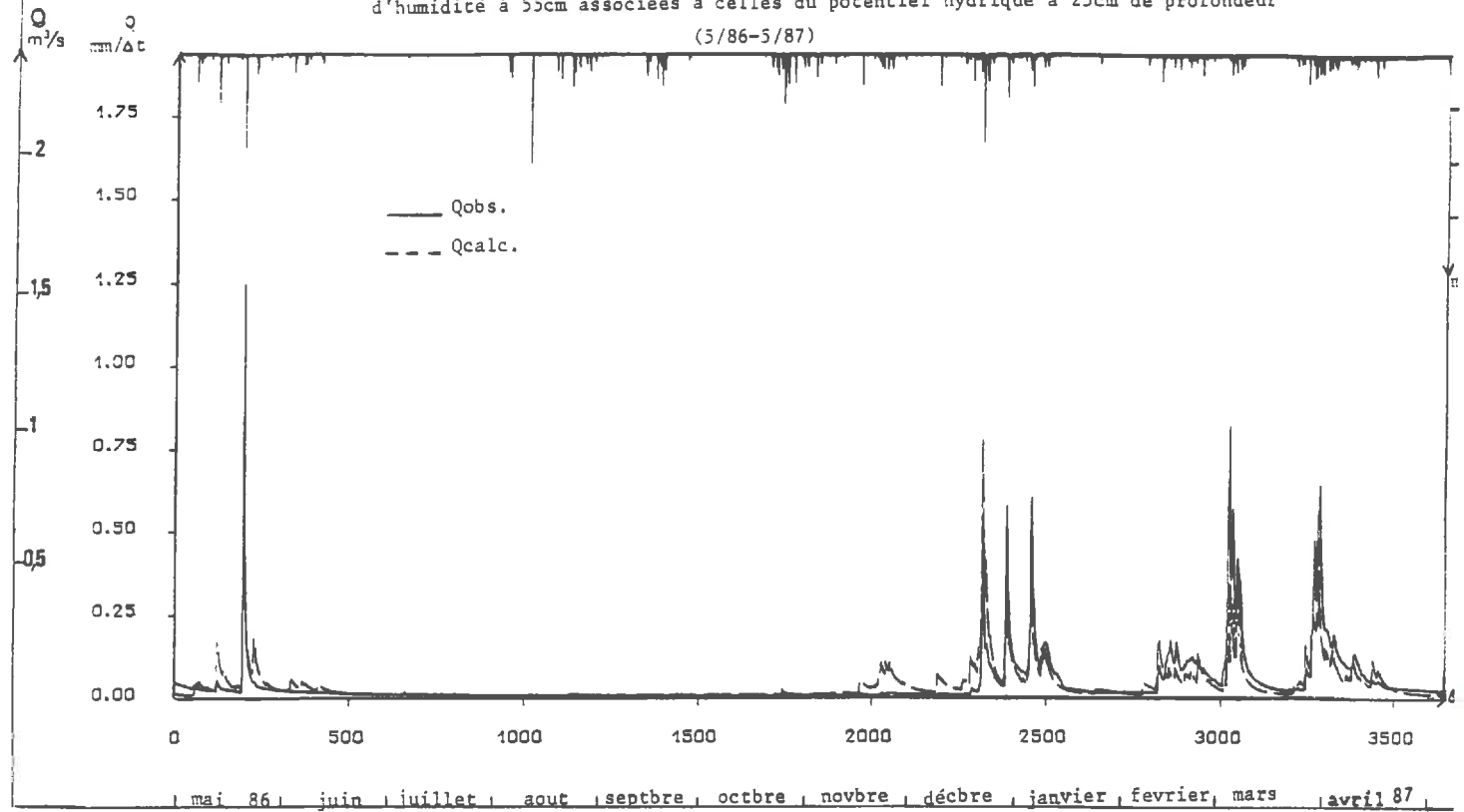


**VII.4.b - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm
associée à l'humidité à 15 cm**

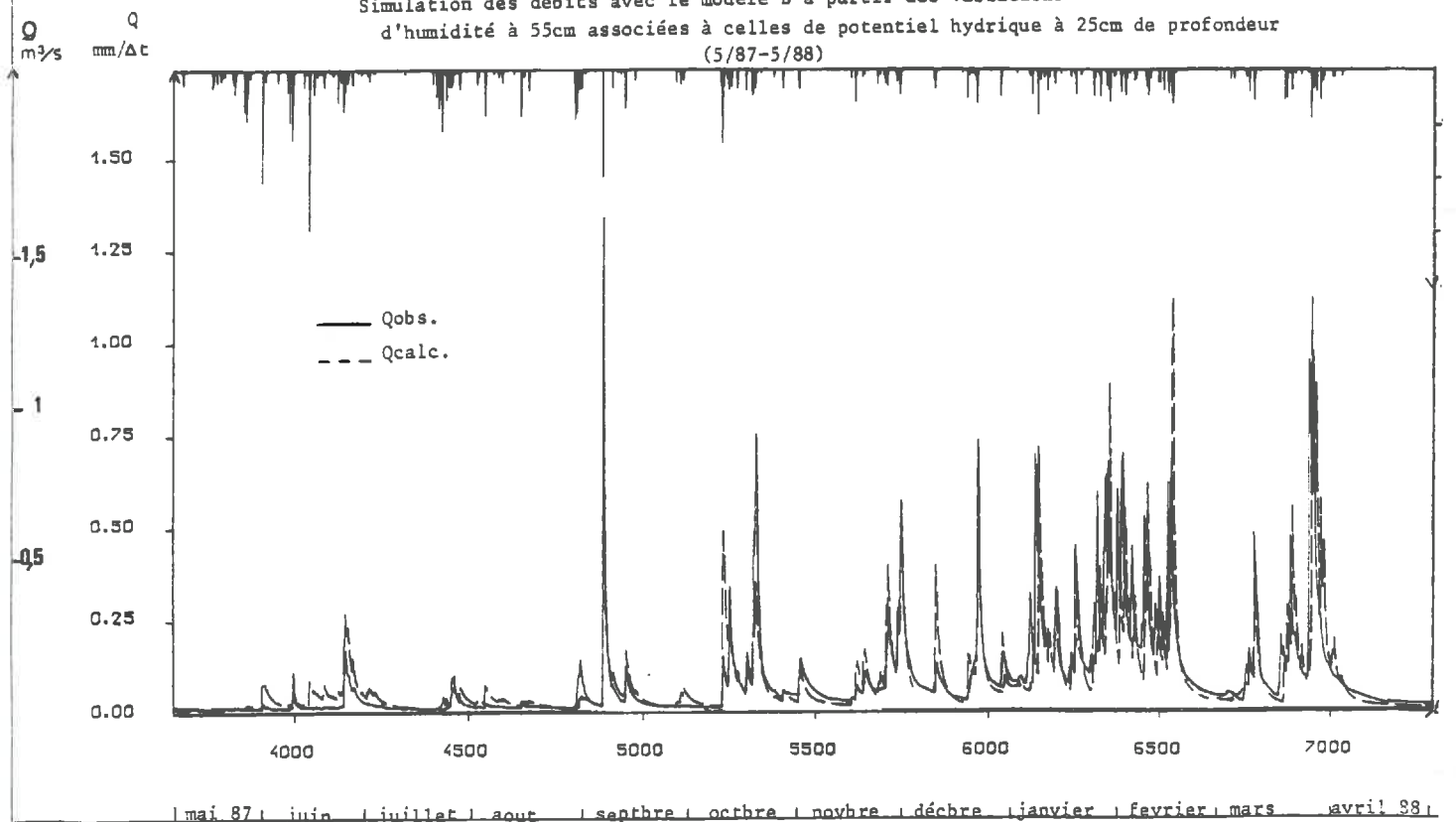


**VII.4.c - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm
associée au potentiel hydrique à différentes profondeurs**

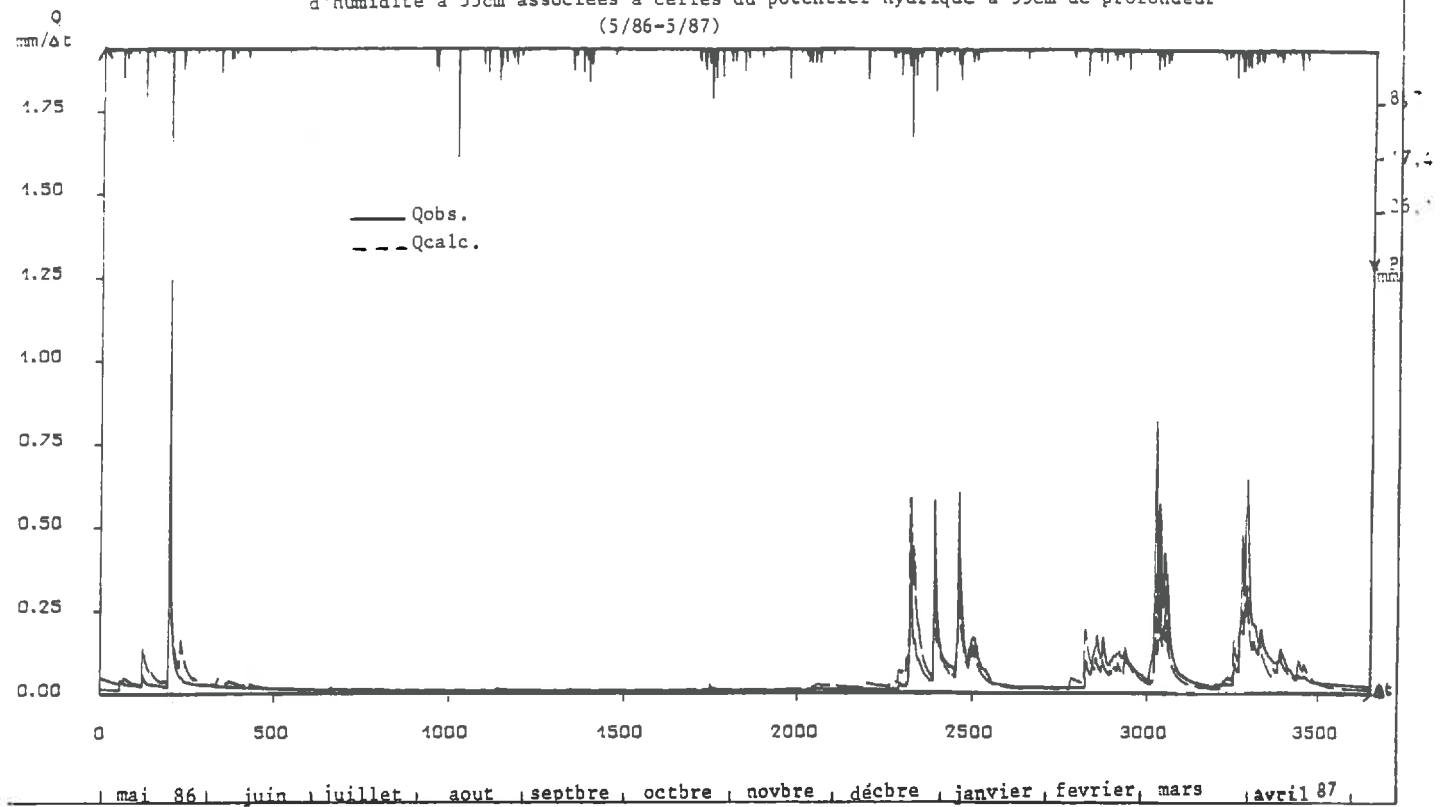
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 25cm de profondeur
(5/86-5/87)



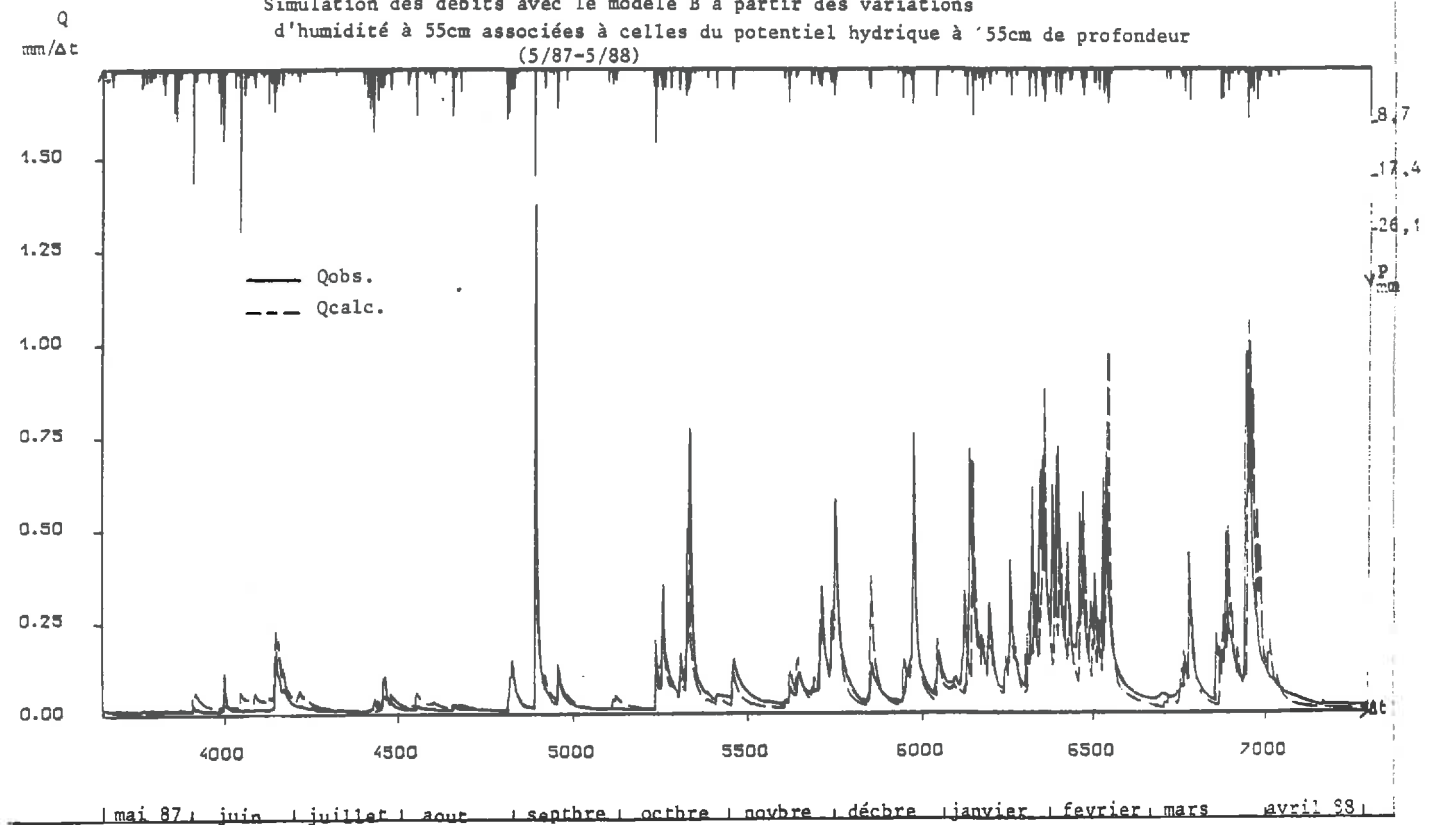
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm associées à celles de potentiel hydrique à 25cm de profondeur
(5/87-5/88)

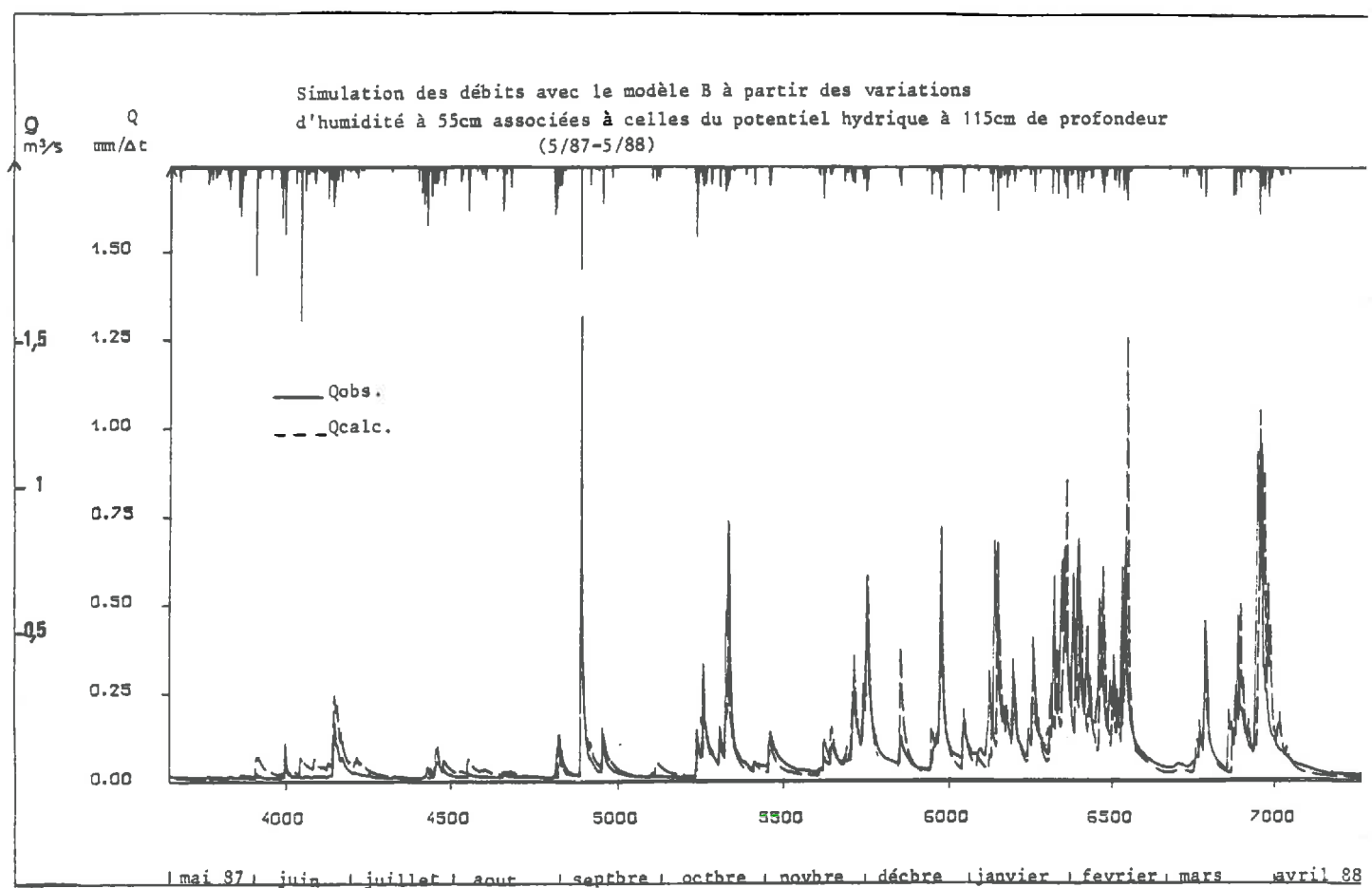
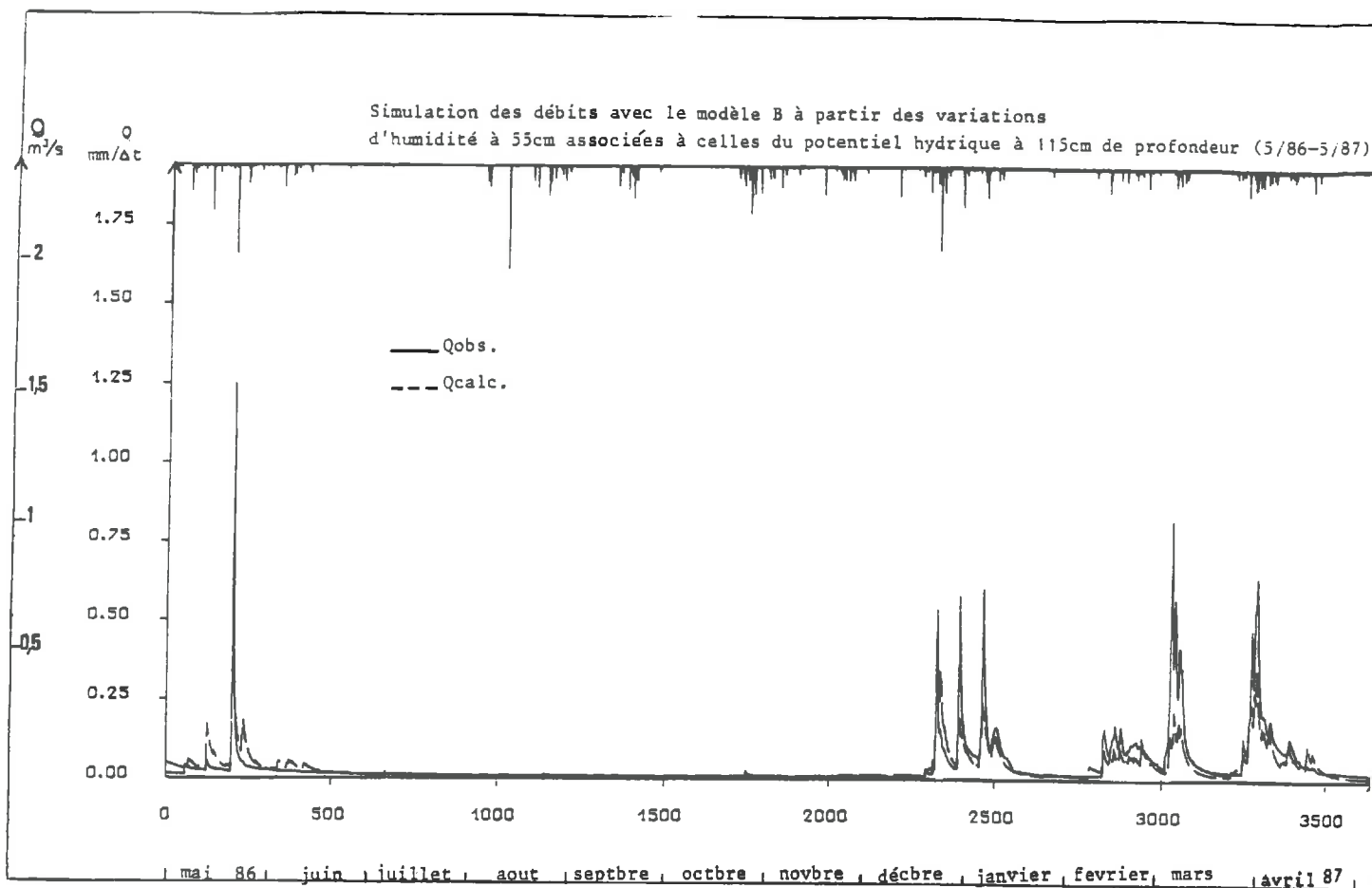


Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 55cm de profondeur
(5/86-5/87)



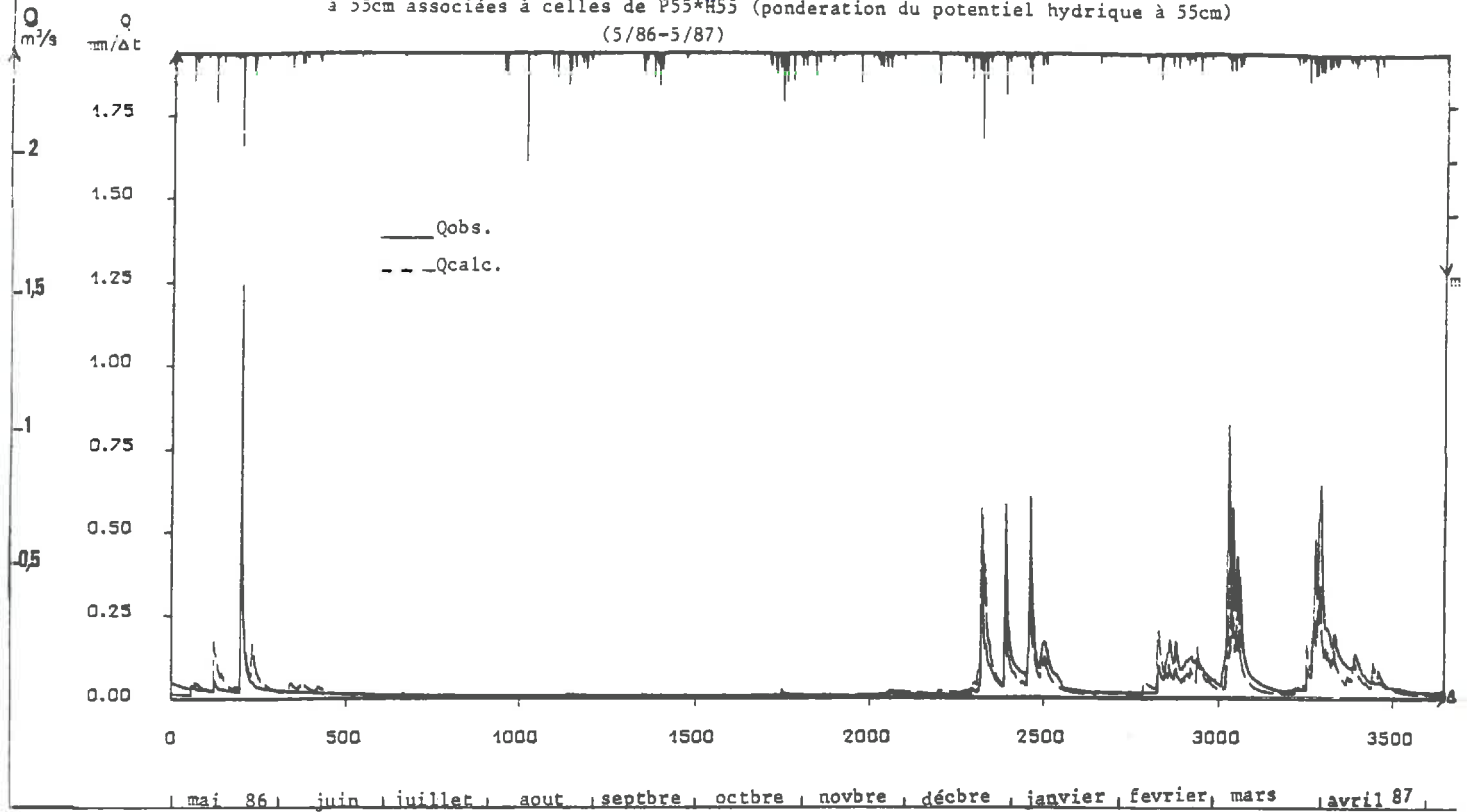
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations
d'humidité à 55cm associées à celles du potentiel hydrique à 55cm de profondeur
(5/87-5/88)



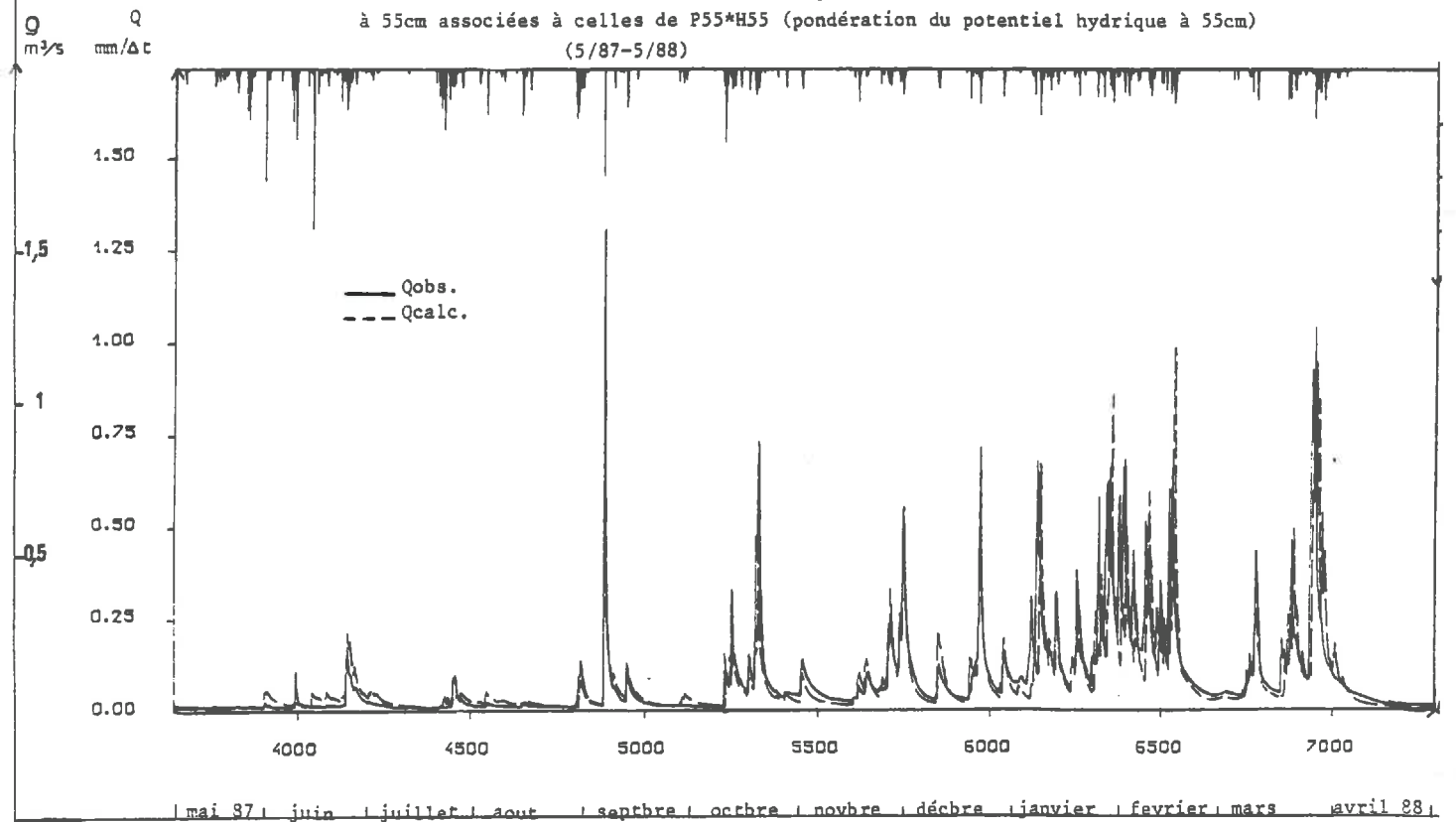


**VII.4.d - Simulation des débits avec le modèle B et l'humidité à 55 cm
associée aux essais de pondération du potentiel hydrique à 55 cm**

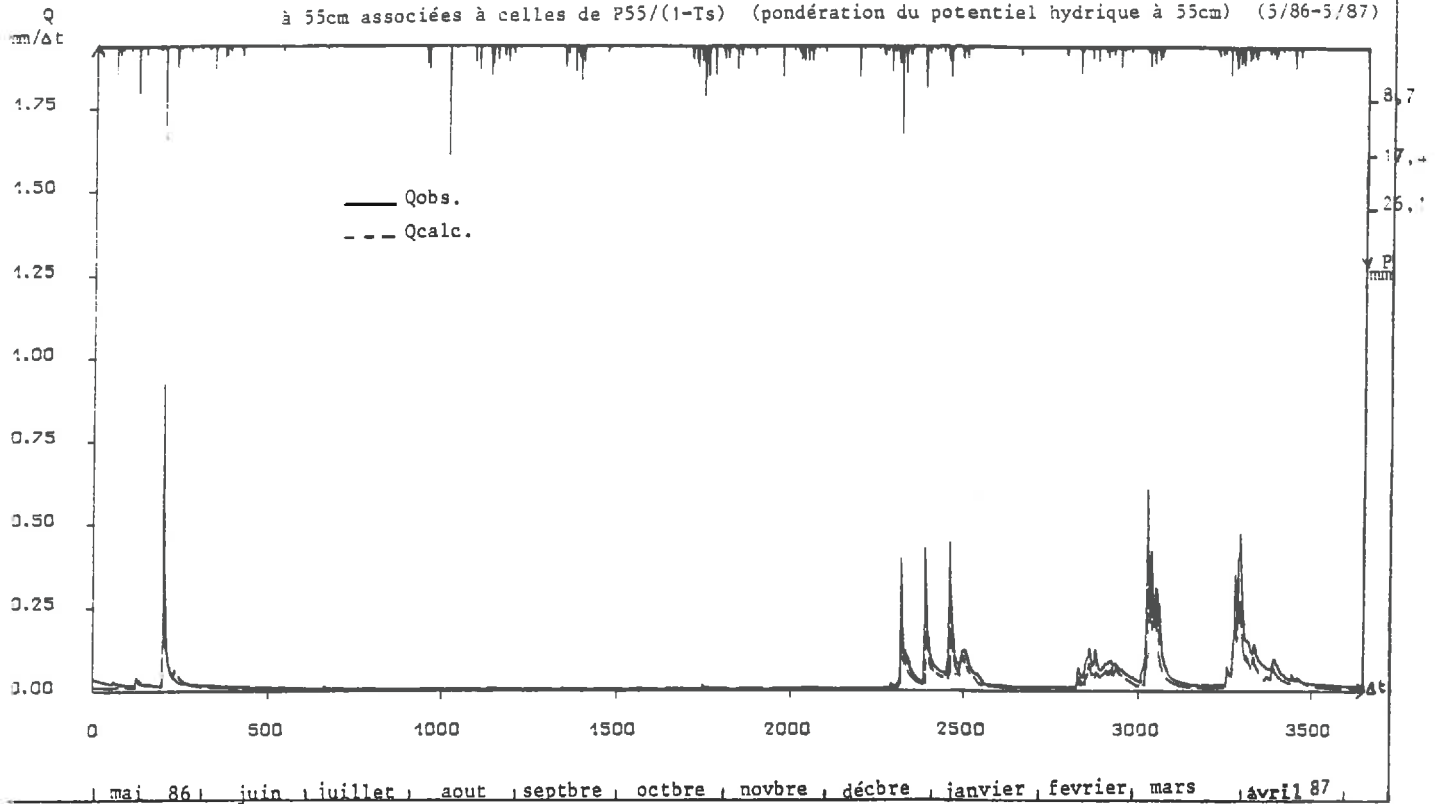
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
à 55cm associées à celles de P55*H55 (pondération du potentiel hydrique à 55cm)
(5/86-5/87)



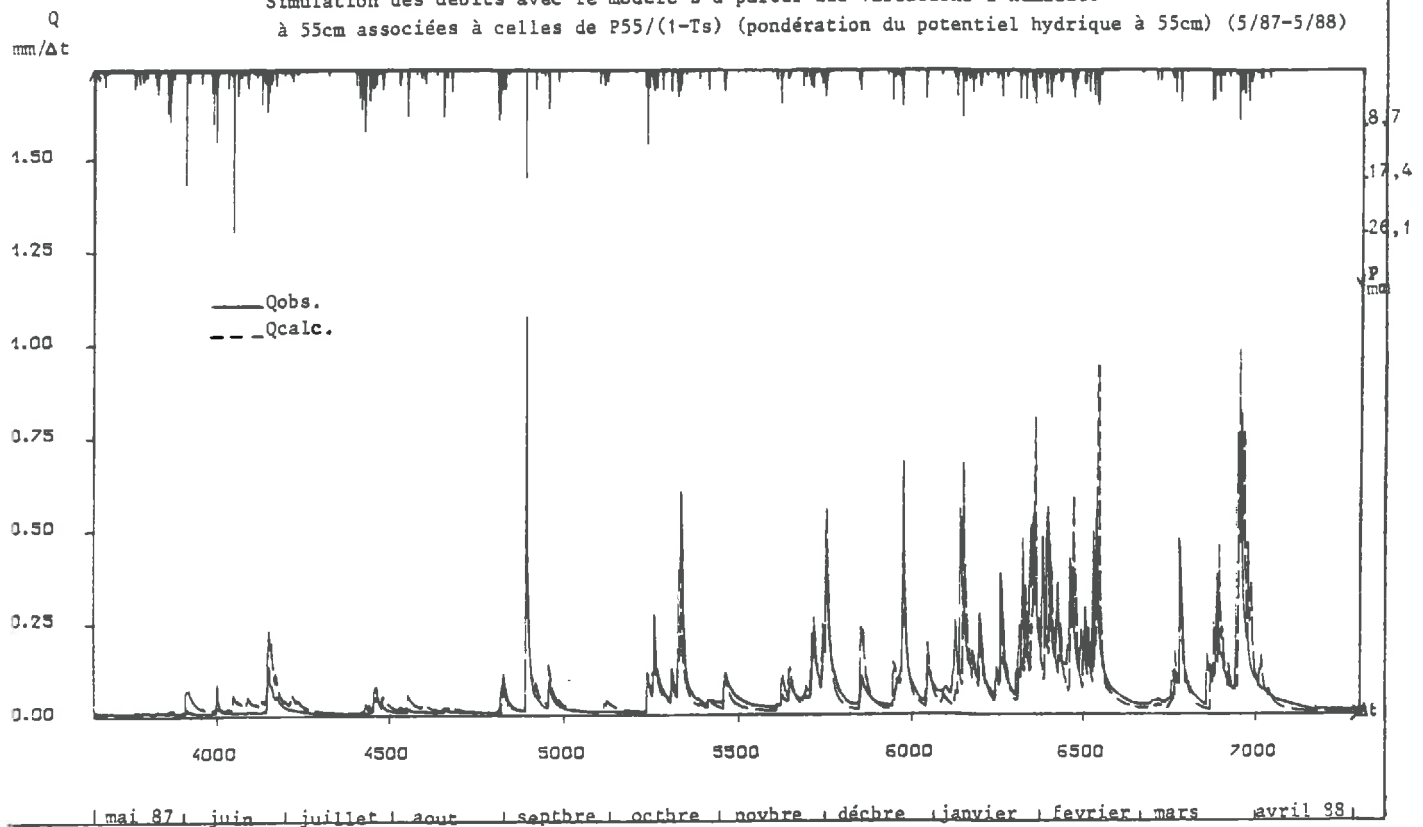
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
à 55cm associées à celles de P55*H55 (pondération du potentiel hydrique à 55cm)
(5/87-5/88)



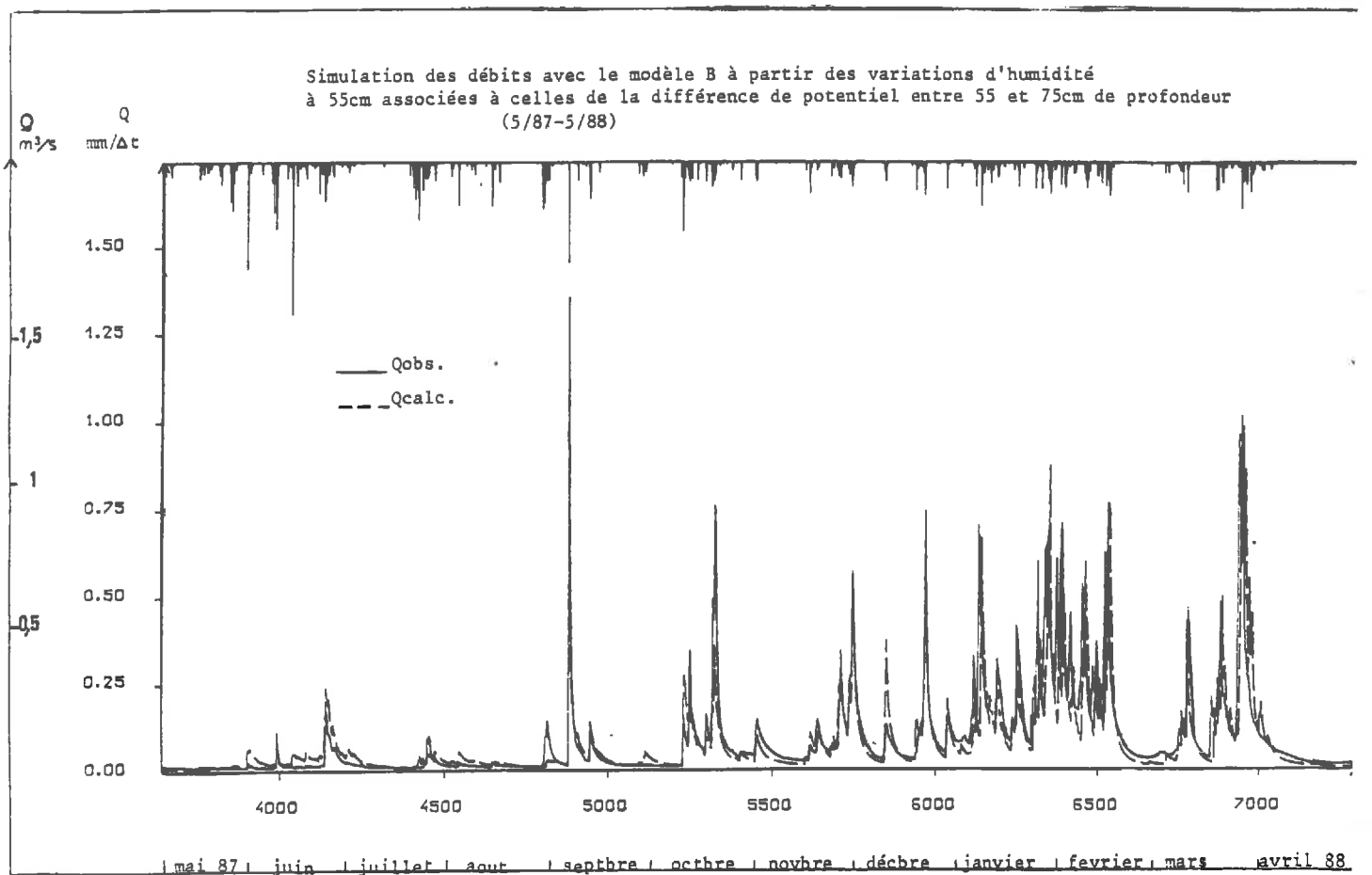
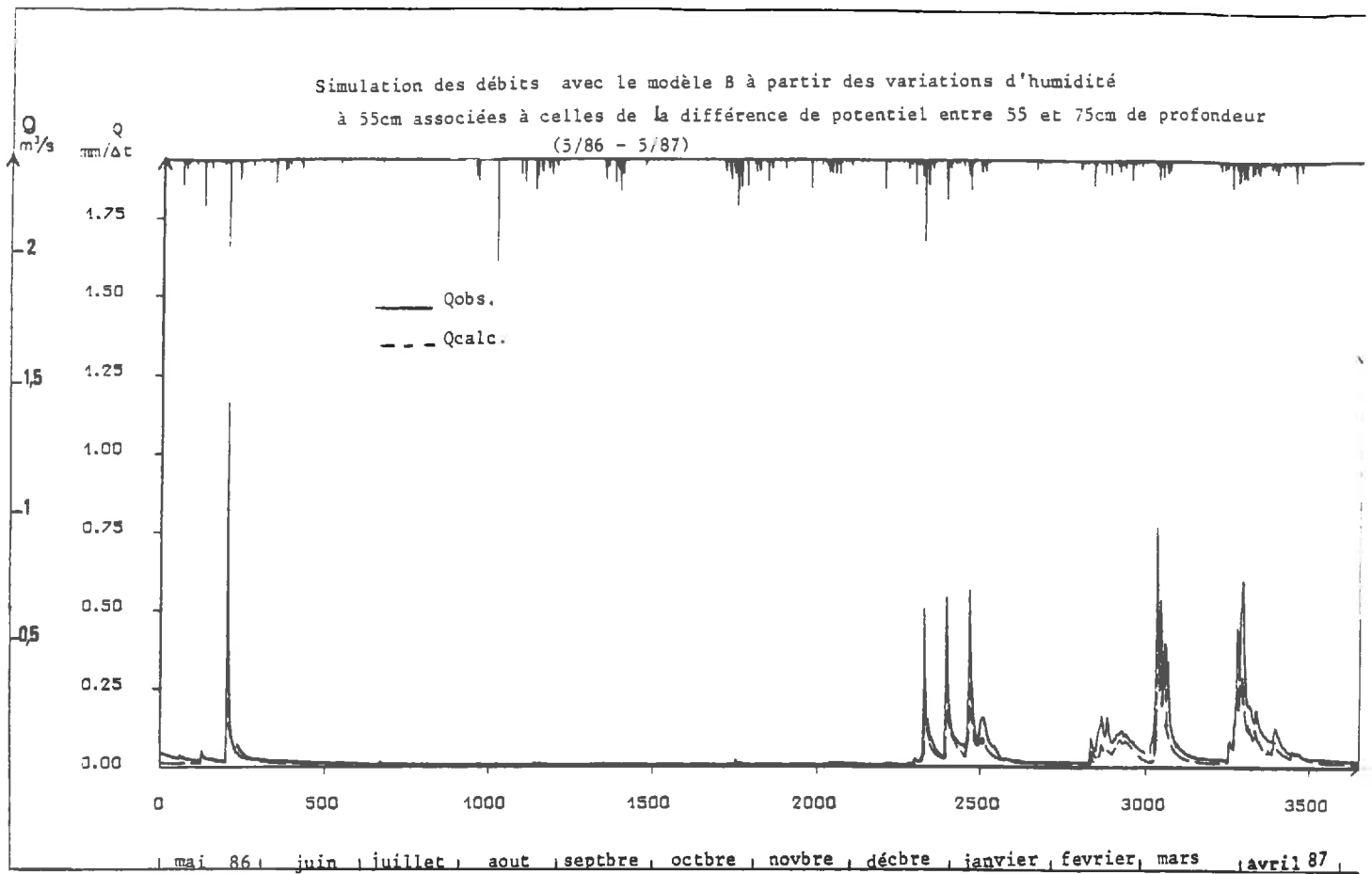
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
à 55cm associées à celles de P55/(1-Ts) (pondération du potentiel hydrique à 55cm) (5/86-5/87)

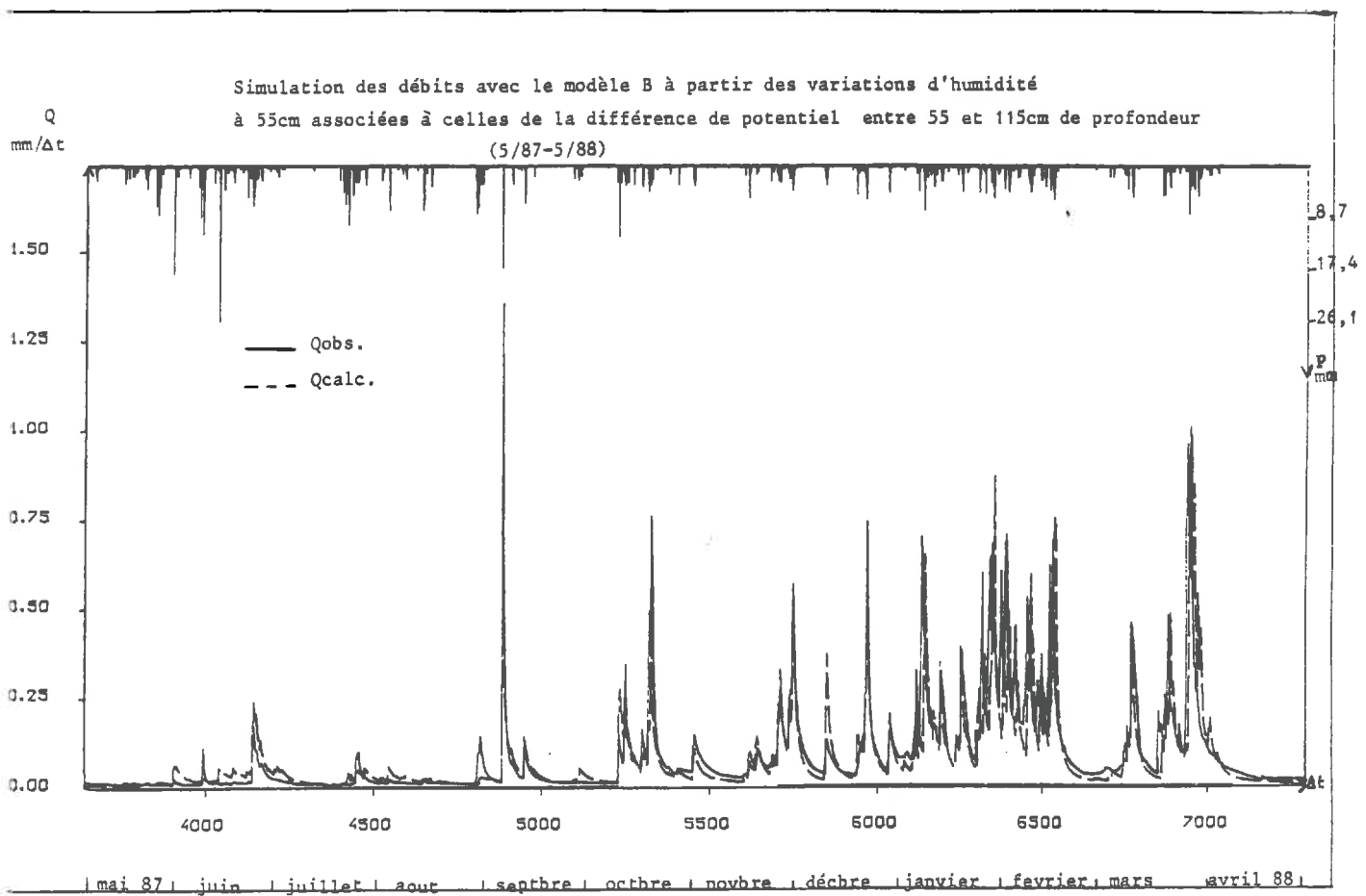
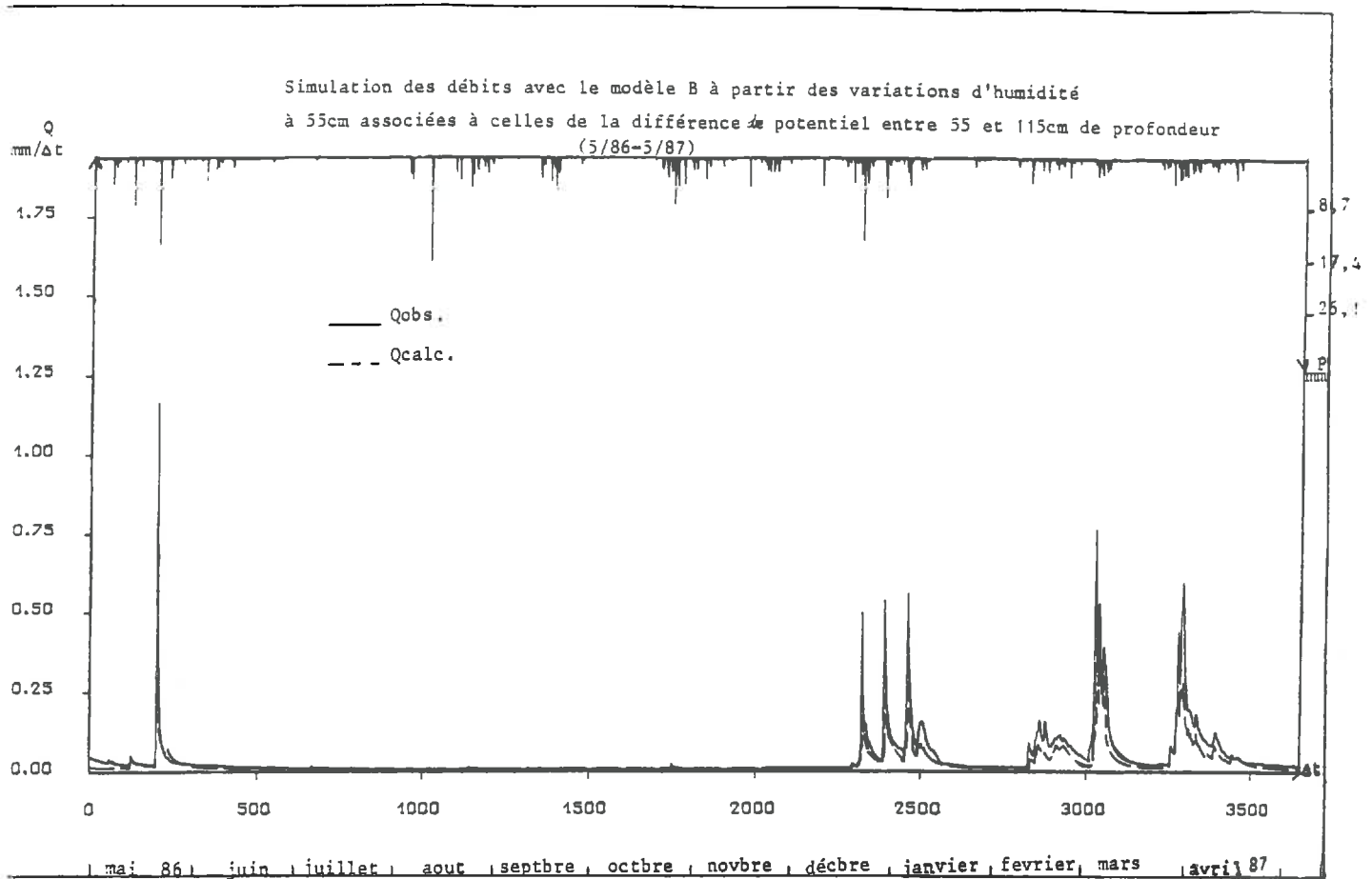


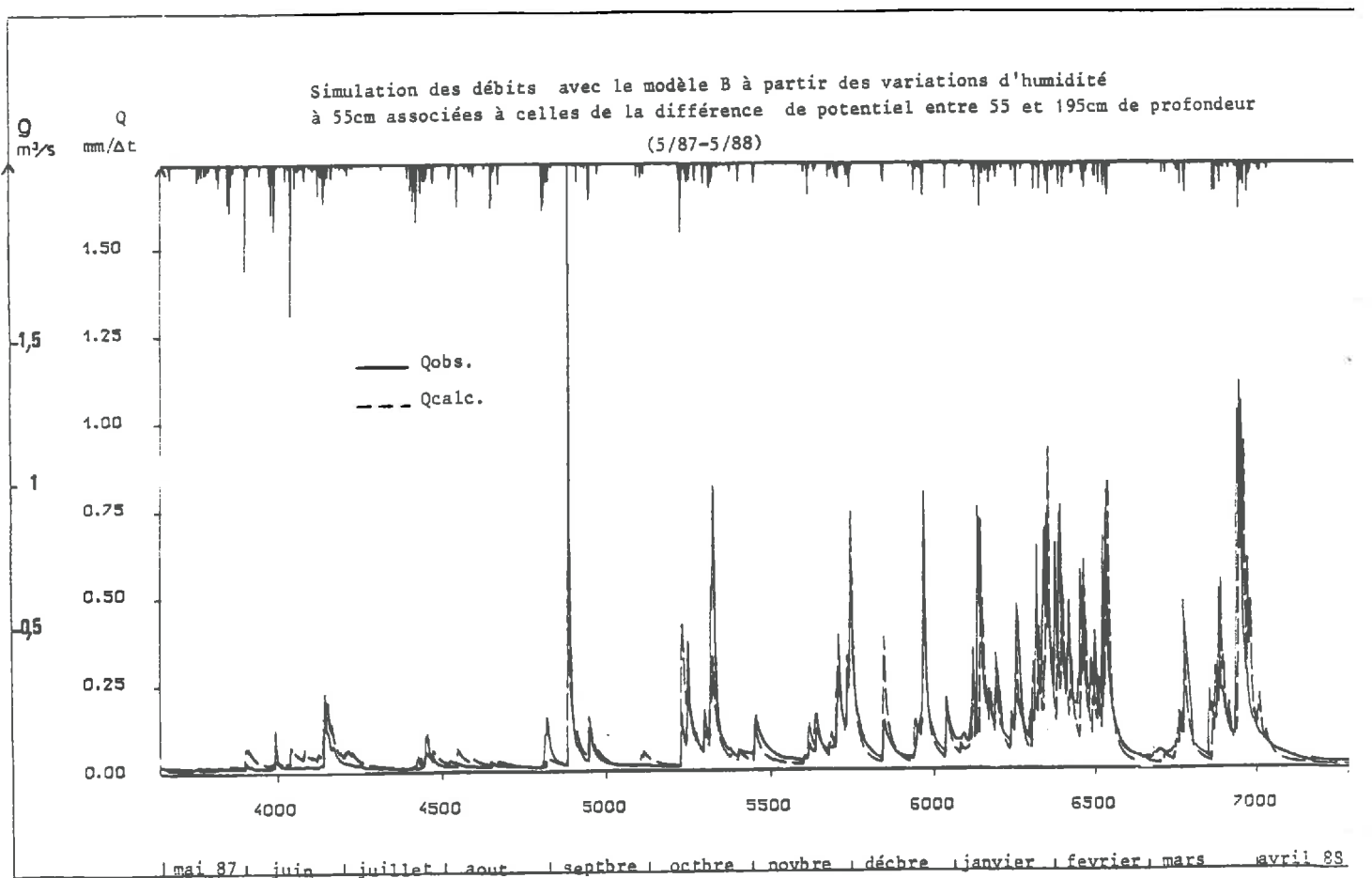
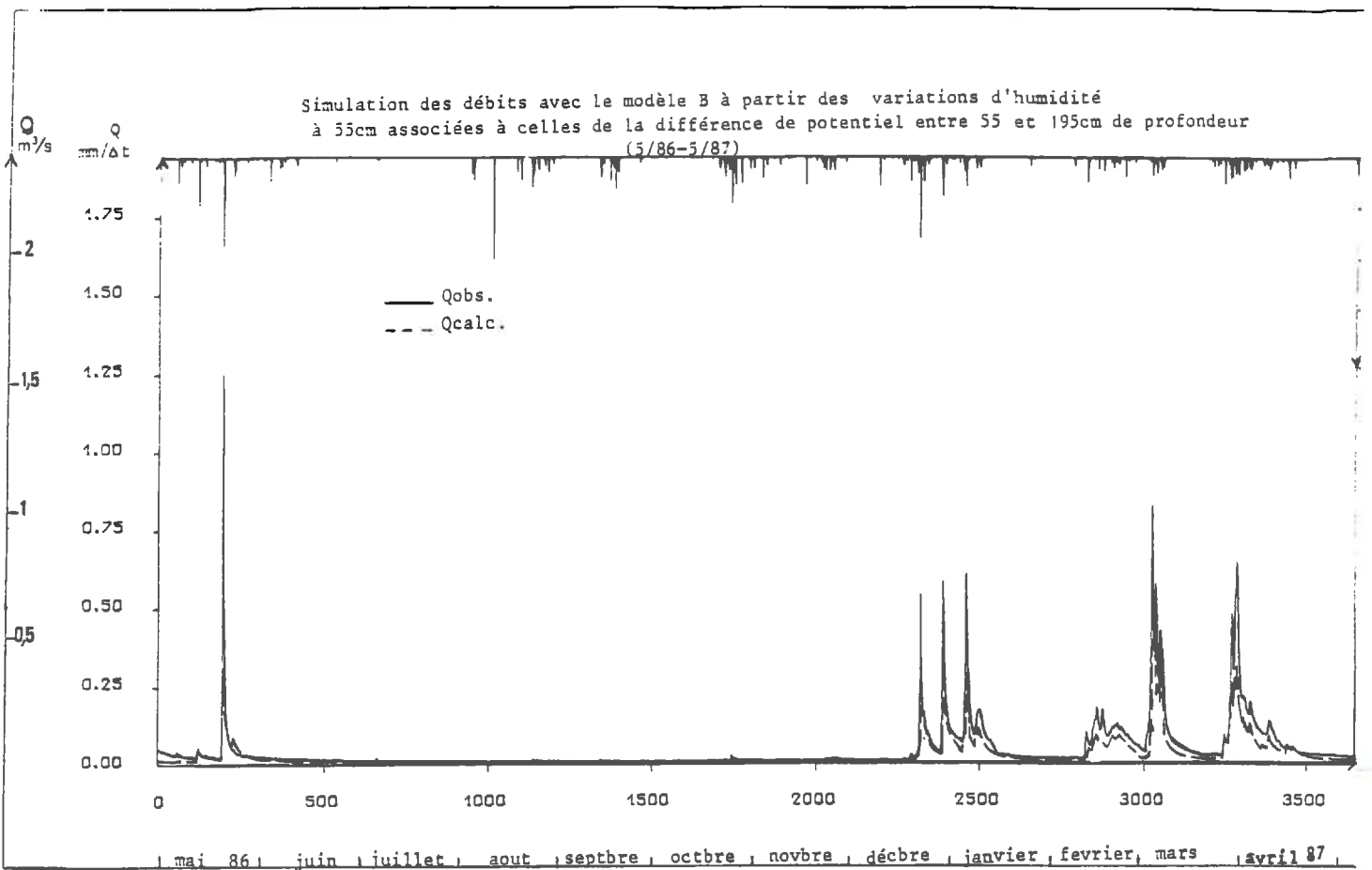
Simulation des débits avec le modèle B à partir des variations d'humidité
à 55cm associées à celles de P55/(1-Ts) (pondération du potentiel hydrique à 55cm) (5/87-5/88)



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



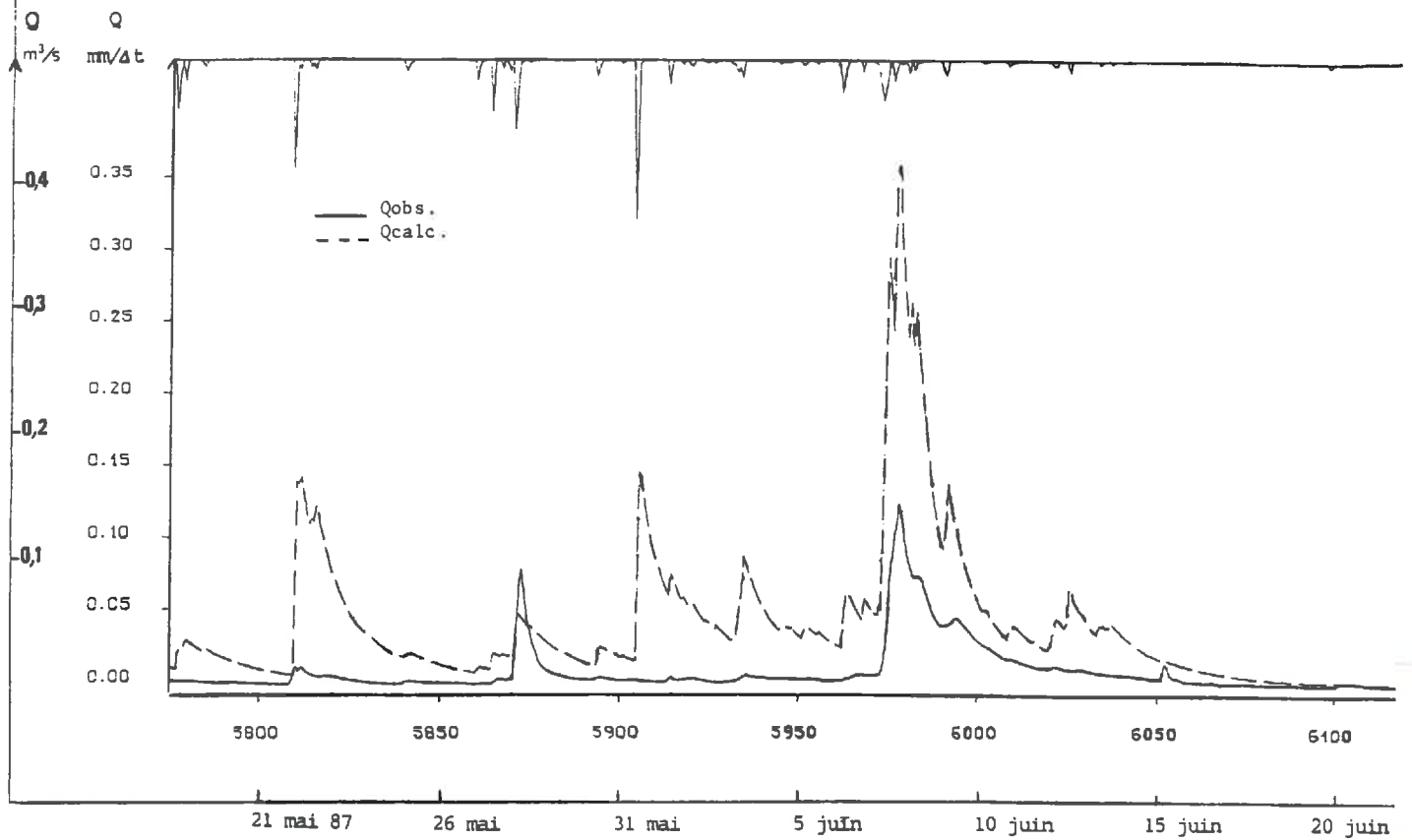




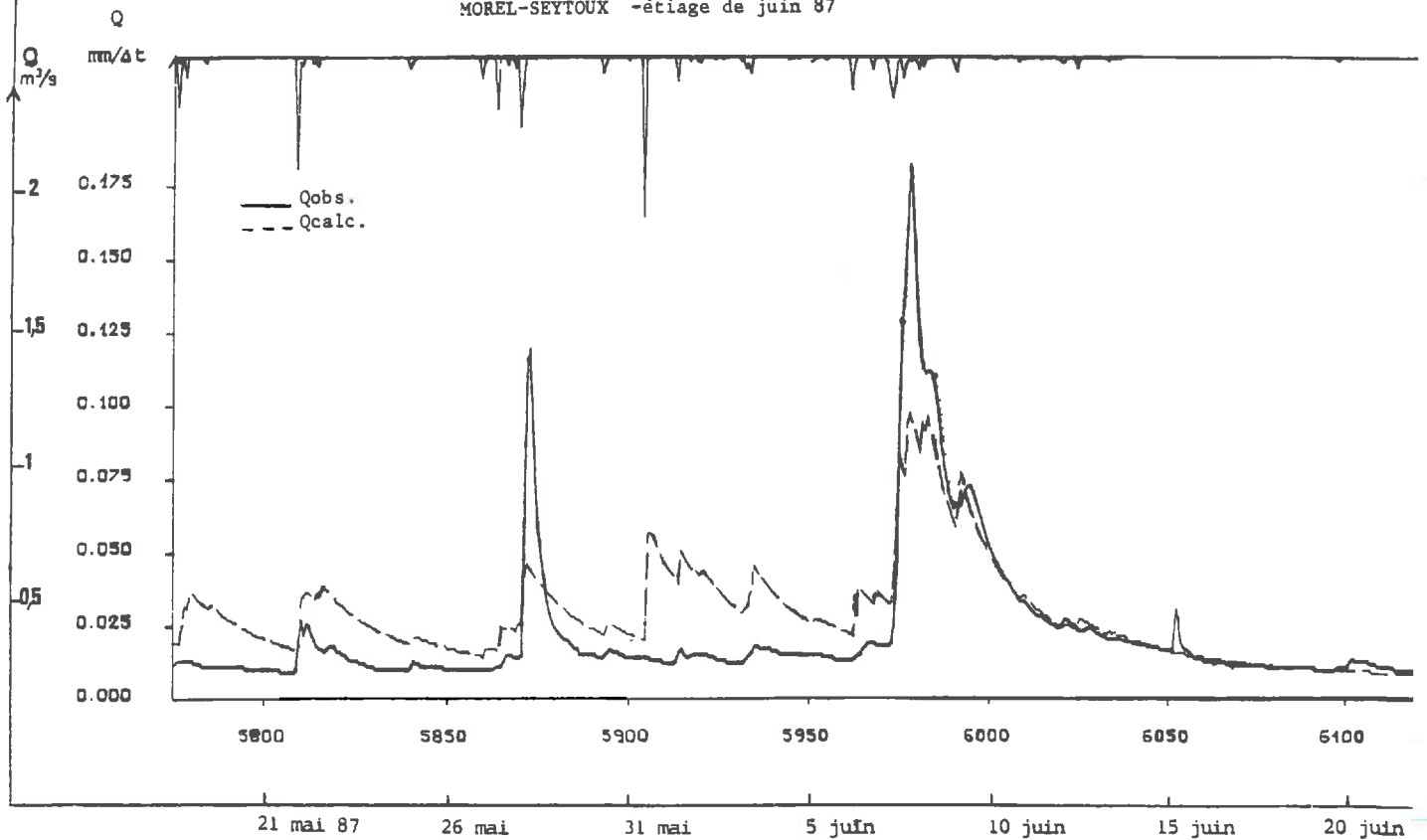
VII.5 - Simulation avec le modèle A seul et associé au module de MOREL-SEYTOUX

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

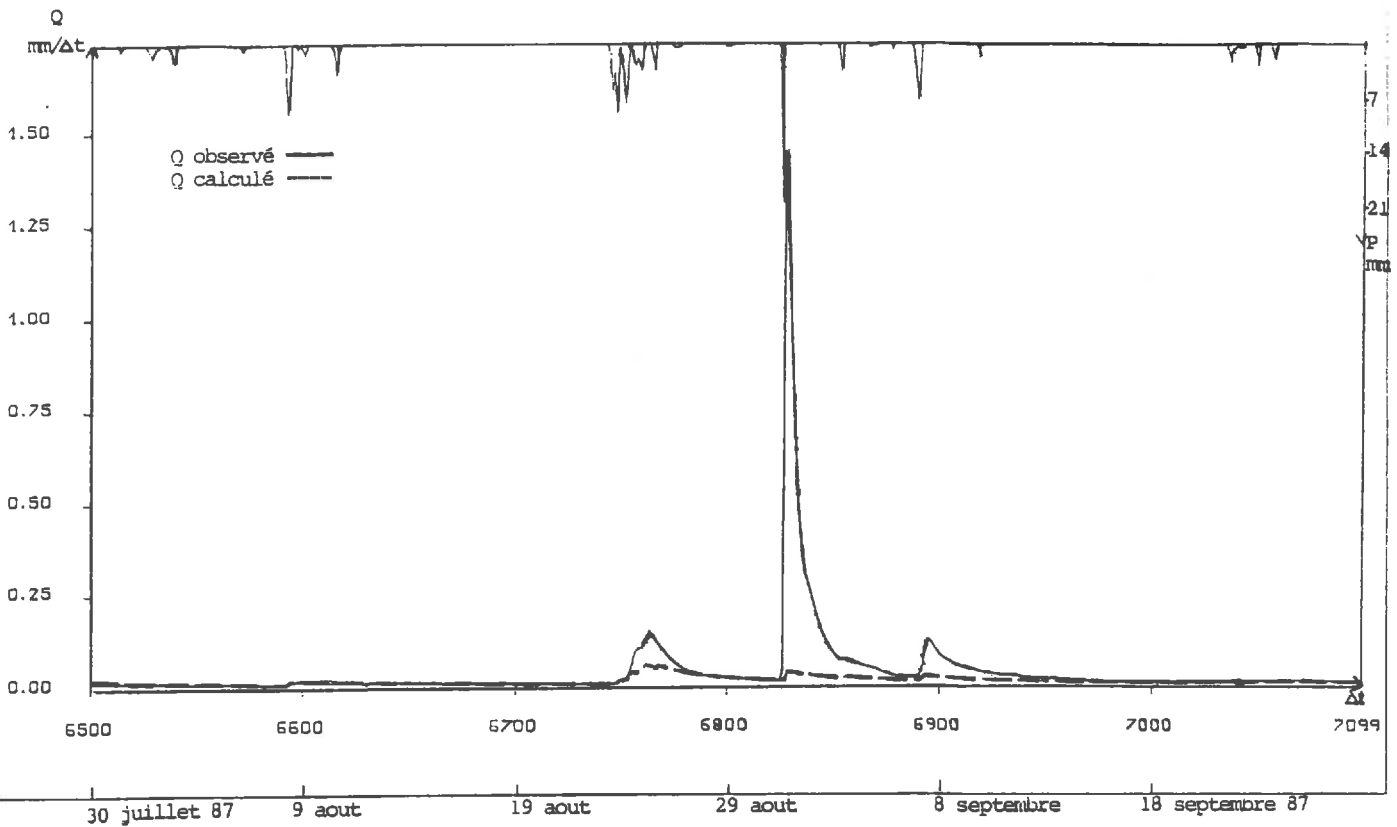
Simulation des débits avec le modèle A -étiage de juin 87



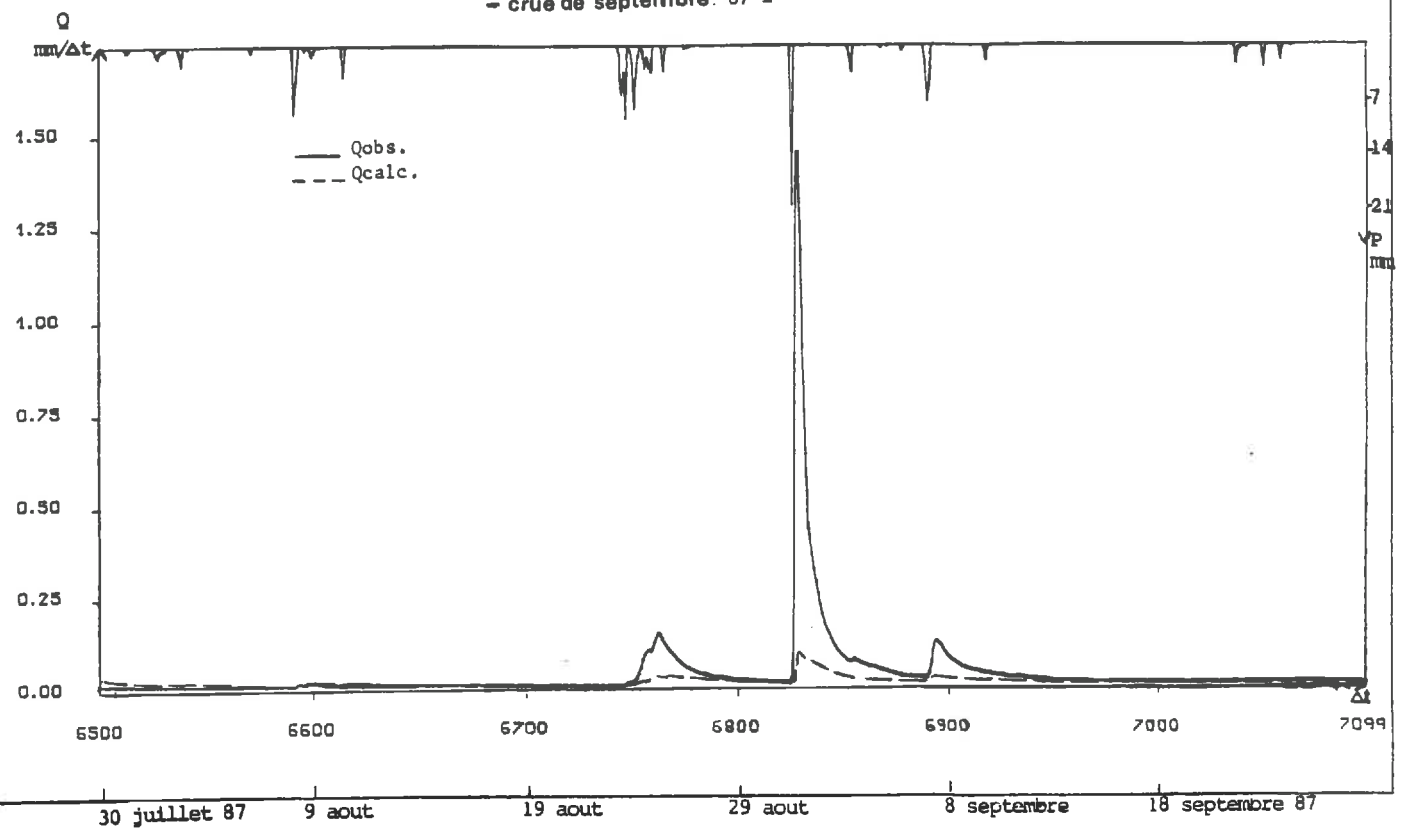
Simulation des débits avec le modèle A associé au module de MOREL-SEYTOUX -étiage de juin 87



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

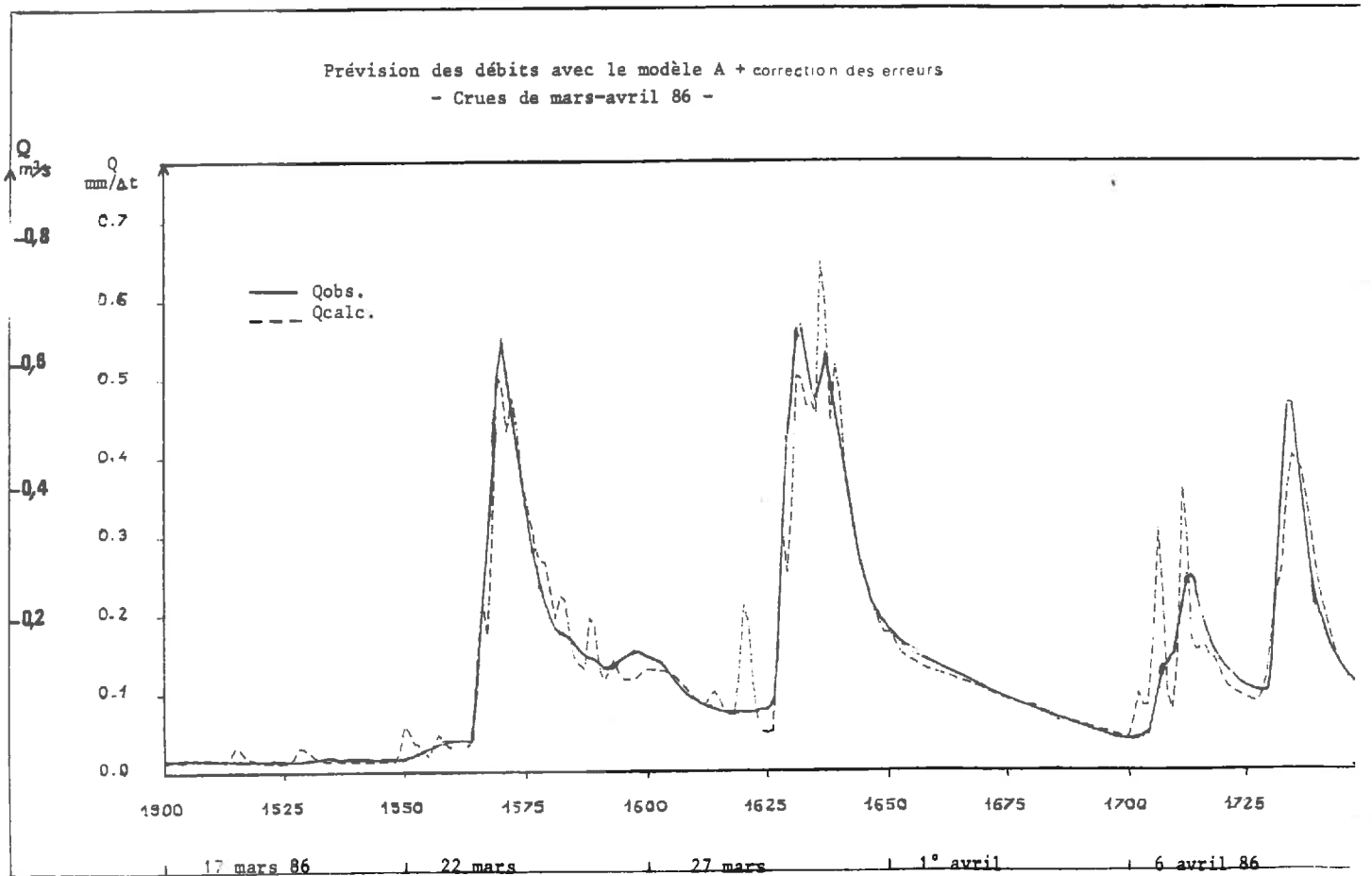
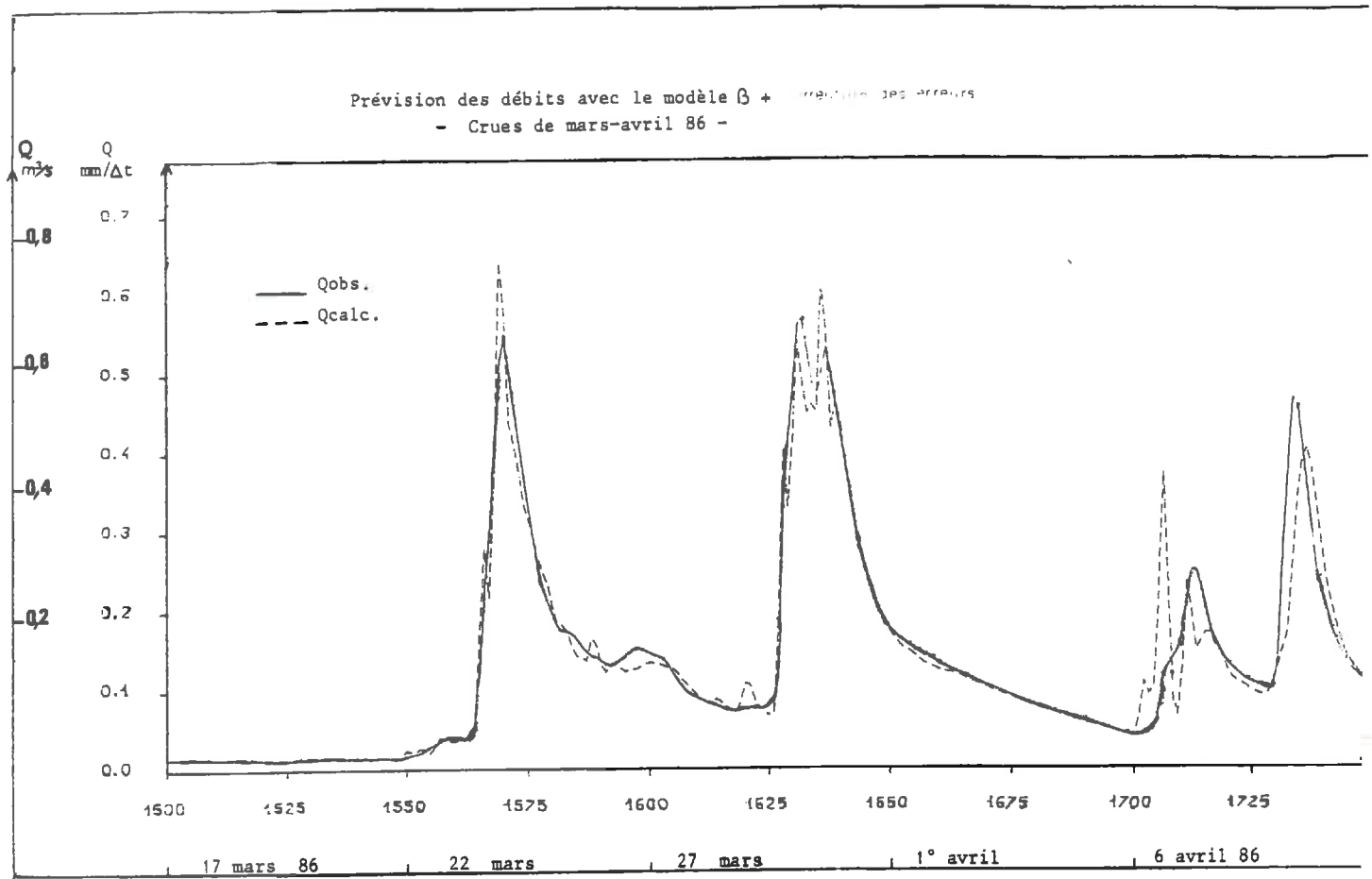


Simulation des débits avec le modèle de base A associé au module de MOREL-SEYTOUX
- crue de septembre 87 -

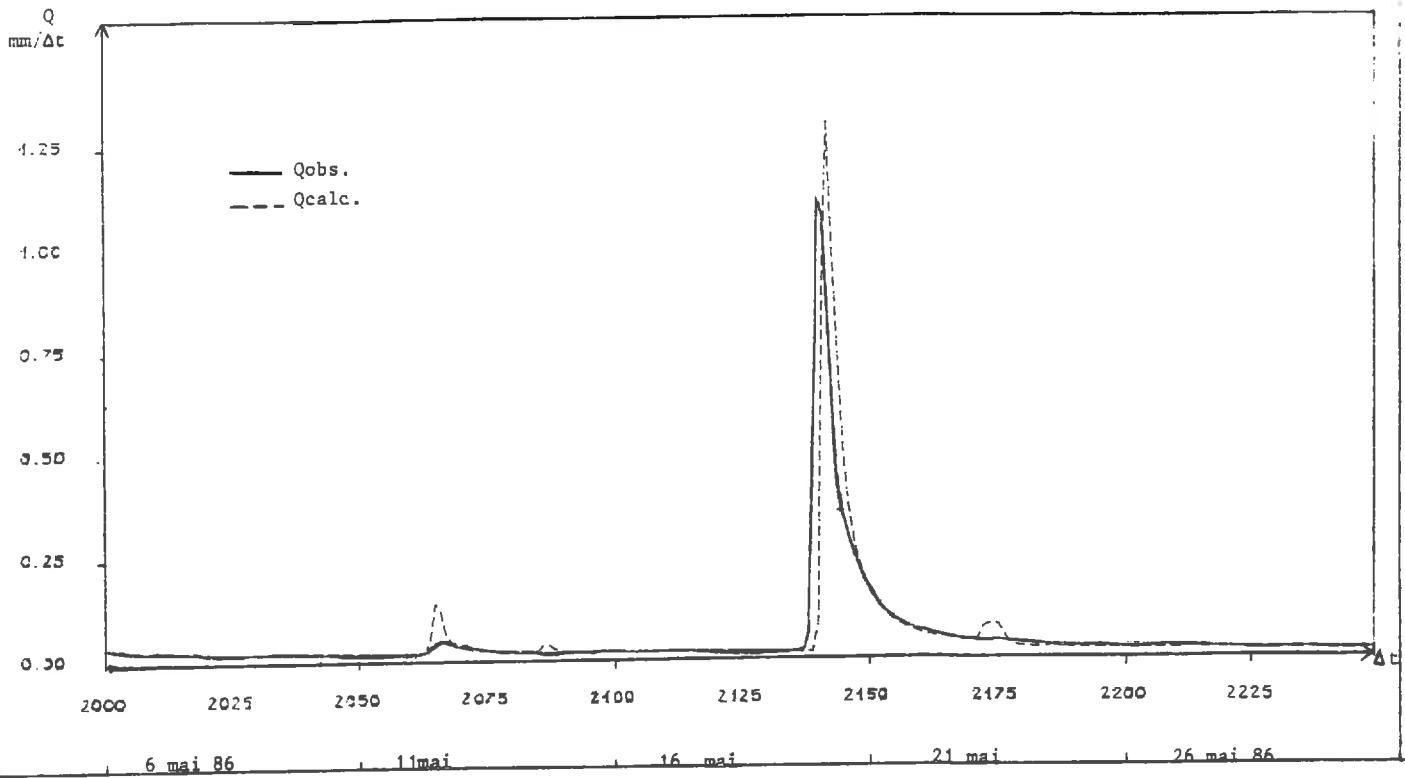


**VII.6 - Prévision des débits avec les modèles de base A et B
avec correction des erreurs**

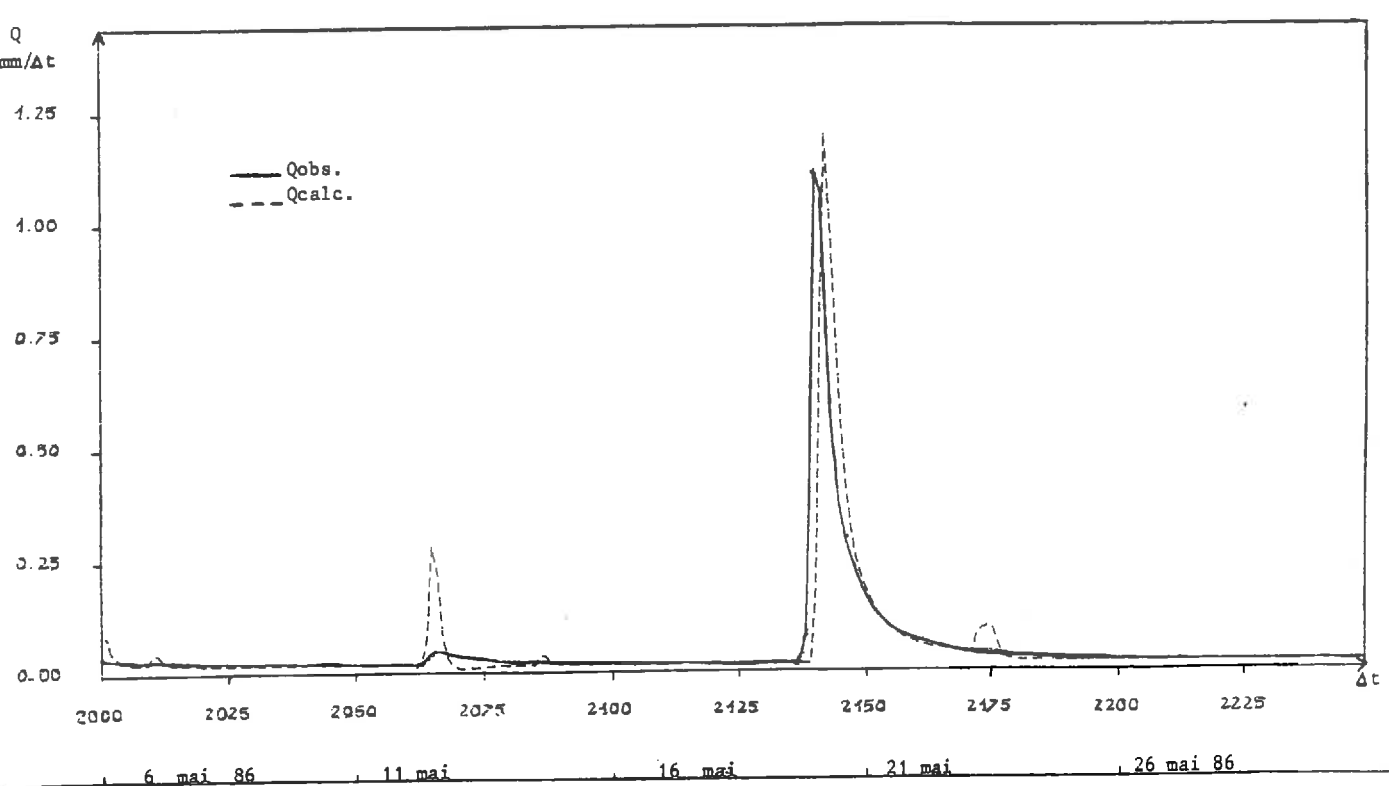
- a - crues de mars-avril 86**
- b - crue de mai 86**
- c - crue de février 87**
- d - crue d'avril 87**



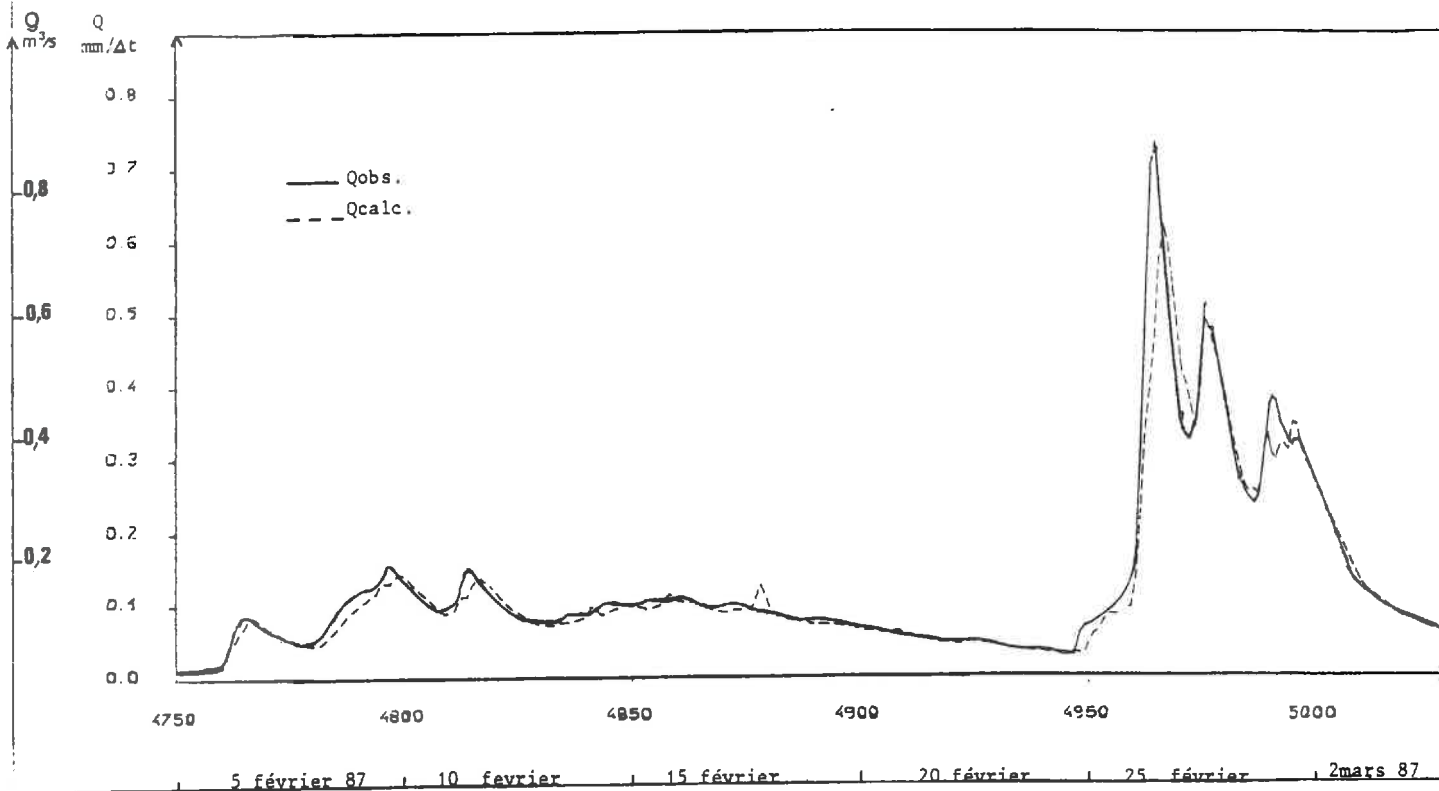
Prévision des débits avec le modèle B + correction des erreurs
- Crue de mai 86 -



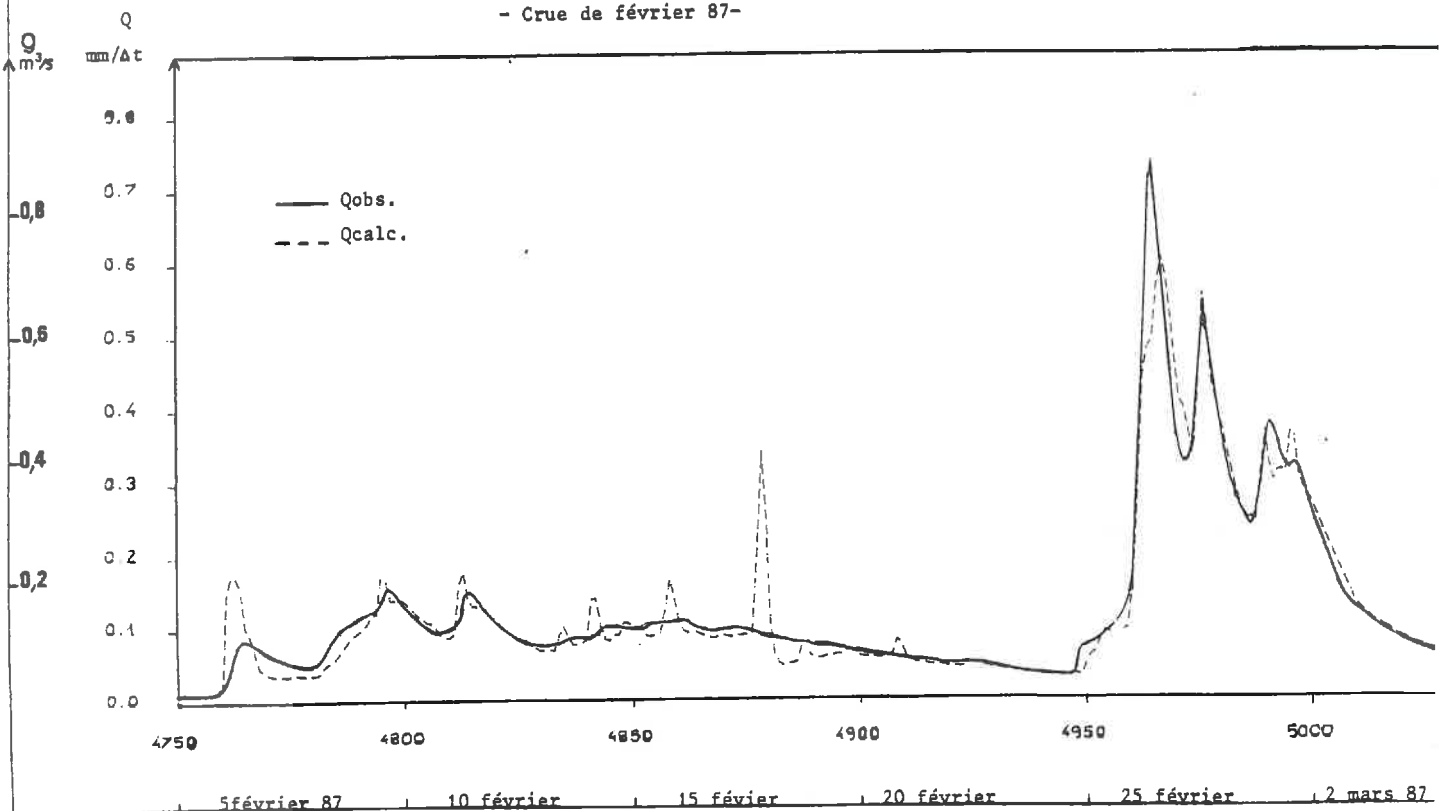
Prévision des débits avec le modèle A + correction des erreurs
- Crue de mai 86 -



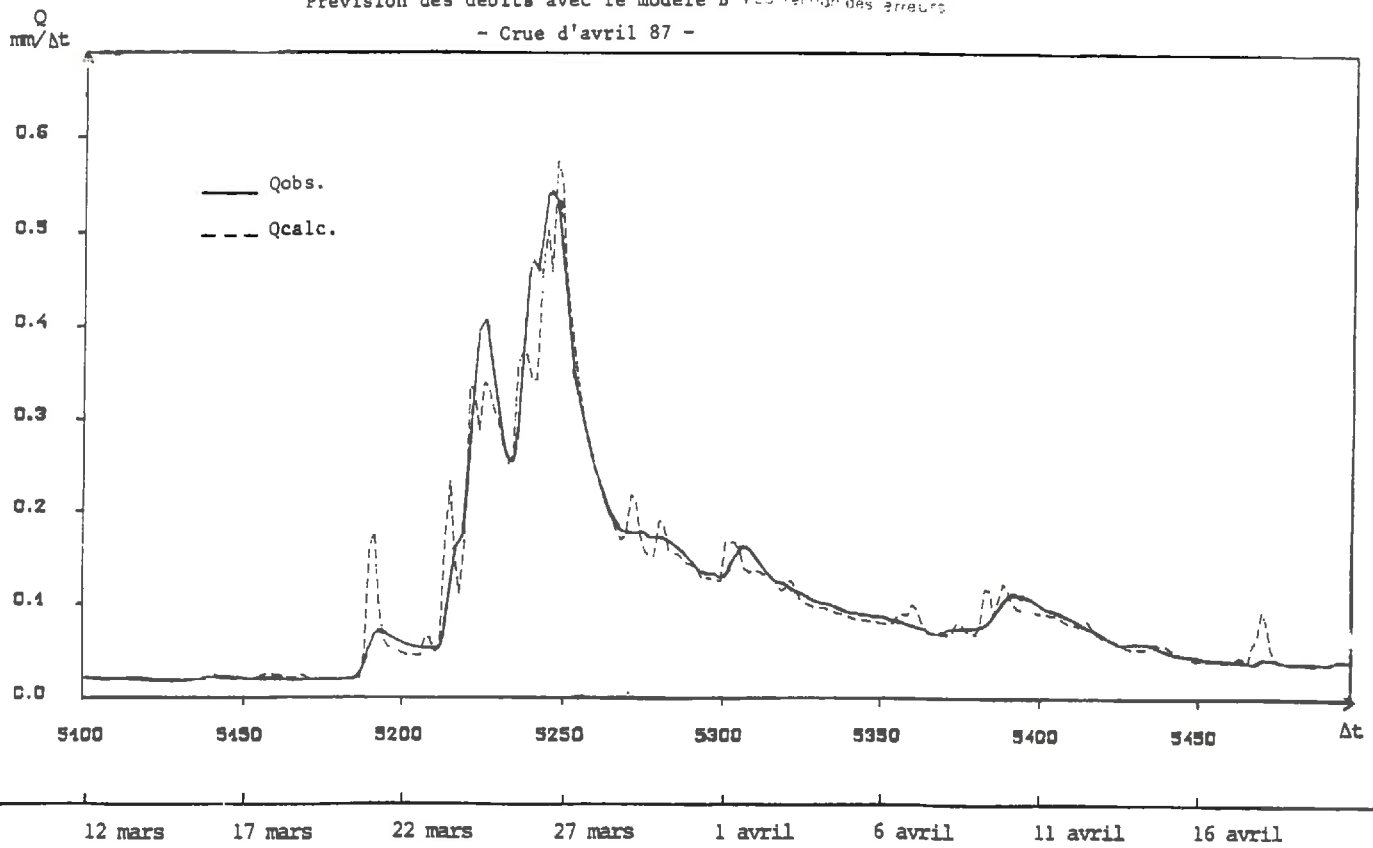
Prévision des débits avec le modèle B + correction des erreurs
- Crue de février 87 -



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



Prévision des débits avec le modèle B + correction des erreurs
- Crue d'avril 87 -



Prévision des débits avec le modèle A + correction des erreurs
- Crue d'avril 87 -

