

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

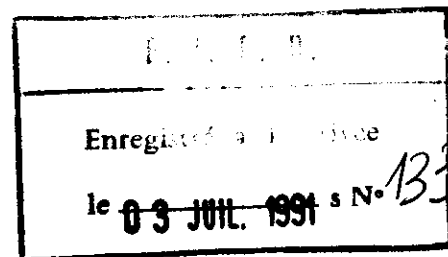
PRESENTE PAR :

OUEDRAOGO Abdoulaye

ANNEE 1990-1991

APPROCHE METHODOLOGIQUE DE
L'ETUDE DES TRANSFERTS D'EAU
EN ZONE NON SATUREE
(RESULTATS DE LA 1ère CAMPAGNE
DE MESURES)

Mention :



Encadrement

P. BAZIE

<< Je suis une chose qui pense, c'est-à-dire qui doute, qui affirme , qui
nie, qui connaît peu de choses, qui en ignore beaucoup, qui aime, qui
hait, qui veut, qui ne veut pas, qui imagine aussi et qui sent. >>

DESCARTES René
(1596 - 1650)

A ma mère
A F. mon père
A toi aussi, qui n'y es, pour rien .

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis ici de présenter mes sincères remerciements à tous ceux qui par leur conseil, leur soutien m'ont permis de réaliser ce mémoire de fin d'études.

Mes remerciements vont tout d'abord à mon maître de mémoire Mr BAZIE P., chercheur à l'E.I.E.R., qui n'a ménagé aucun effort pour que je bénéficie tout au long de ce travail de ses conseils et de sa constante disponibilité.

Je remercie monsieur DIENG B. professeur à l'E.I.E.R pour ses pertinentes remarques qui m'ont été d'une utilité inestimable.

J'exprime aussi ma reconnaissance à Mr ALIOU I. , professeur à l'E.I.E.R, pour sa disponibilité aux moments difficiles.

Enfin à tous ceux qui de manière directe ou indirecte ont contribué à l'établissement de ce travail et dont les noms ne figurent pas ici.

SOMMAIRE

RESUME

Introduction

| | |
|--|----|
| I - SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE | 1 |
| 1 Présentation de quelques études antérieures..... | 1 |
| 2 conclusion - Critique..... | 4 |
| II ETUDE DES TRANSFERTS D'EAU EN ZONE NON SATURÉE | 5 |
| 1 Objectif de l'étude..... | 5 |
| 2 Le dispositif expérimental..... | 5 |
| 3 Les mesures..... | 7 |
| 4 Interprétation des résultats..... | 7 |
| 4-1 Etude qualitative des transferts..... | 7 |
| 4-2 Quantification des transferts..... | 15 |
| 4-2-1 Essai de Bilan..... | 15 |
| 4-2-2 Quantification de l'évaporation..... | 19 |
| III - ESSAI D'INFILTRATION | 23 |
| 1- But de l'essai..... | 23 |
| 2- Résultats..... | 23 |
| CONCLUSION | 28 |
| BIBLIOGRAPHIE | |
| ANNEXES | |

RESUME

La description quantitative des mécanismes de transfert d'eau en zone non saturée occupe de nos jours une place importante en matière de recherche en physique du sol.

A partir des mesures de tension, de teneur en eau et de précipitations collectées pendant une première campagne, nous avons mis au point une méthode de quantification de ces transferts. Cette méthode s'appuie d'une part sur une analyse:

- de l'évolution d'humidité et de la pression
- des profils d'humidité et de pression et d'autre part sur les variations de stock d'eau aux différentes profondeurs .

Les résultats obtenus montrent qu'une telle méthode permet d'estimer les pertes (percolation plus évaporation), d'apprécier l'infiltration entre deux périodes et de quantifier l'évaporation en saison sèche dans une tranche de sol donnée.

Des essais d'infiltration réalisés sur le site font ressortir que la loi de KOSTIAKOV est la mieux indiquée pour reproduire l'infiltration.

A.B

INTRODUCTION

Le transfert d'eau dans un milieu poreux intéresse de nombreuses branches de sciences physiques:

- l'Agronomie pour la disponibilité en eau du sol pour les plantes;
- le Génie Sanitaire pour la définition du pouvoir épurateur des sols;
- l'Hydrogéologie pour la recharge des nappes etc...

Ce transfert a lieu dans la tranche du sol partiellement saturée en eau, communément appelée zone non saturée qui est comprise entre la surface du sol et la nappe. Cette zone qui est longtemps restée peu étudiée du fait de sa complexité est maintenant l'objet de nombreuses investigations .

La présente étude s'inscrit dans un thème général qui est celui de la recharge des nappes en climat soudano-sahélien.

Dans le cadre de cette recherche un dispositif a été mis en place sur le site expérimental de l'E.I.E.R .

Un certain nombre de mesure dont l'humidité, la pression, la pluviomètre ont été obtenues après une première campagne.

Notre tâche consiste à quantifier les transferts verticaux d'eau qui se font dans les zones non saturées à partir de celles-ci

Après une revue de quelques travaux antérieurs, on présente le dispositif de mesure ayant permis d'acquérir les données dans le milieu poreux.

En tenant compte des résultats expérimentaux, on propose une description qualitative puis quantitative des transferts verticaux.

Enfin nous terminerons par des essais d'infiltration qui ont été réalisés sur le site d'étude en vue de trouver un modèle qui reproduise au mieux l'infiltration.

I - SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans cette partie nous présentons quelques études menées par différents auteurs sur le transfert hydrique en zone non saturée. Ces études avaient pour but soit la détermination des termes du bilan hydrique (évaporation, infiltration) et / ou la caractérisation hydrodynamique d'un sol non saturé.

1 Présentation de quelques études antérieures .

Les études menées par les différents auteurs diffèrent tant par leur objectif que par les méthodes utilisées pour atteindre cet objectif.

Ainsi G. Vachaud et al (1978) ont utilisé la méthode dite de drainage interne et celle du plan de flux nul pour la détermination des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol non saturé et pour le calcul de l'infiltration et de l'évaporation.

Rappelons que la méthode de drainage interne consiste en un apport artificiel d'eau, puis au suivi de l'évolution des teneurs en eau et des pressions pendant le ressuyage, alors que la méthode du bilan se limite à un suivi de l'évolution naturelle de ces mêmes variables entre deux épisodes pluvieux qui peuvent être séparés par une saison sèche.

Les principes de ces deux méthodes sont décrits en annexes.

La méthode de bilan a donné les résultats suivants pour un sol (SOL DIOR SITE B2) au Sénégal (VACHAUD et al.) :

- tranche de sol concernée : 0 - 150 cm
- période : 8 / 10 / 75 au 4 / 6 / 76
- variation de stock : 113,6 mm
- percolation : 79,8 mm
- évaporation : 33,8 mm

Ces deux méthodes ont été également utilisées par CISSE L. et al (1987) et par Vachaud et al (1981) respectivement pour étudier l'effet d'un amendement organique sur l'infiltration et pour caractériser expérimentalement les transferts dans la zone non saturée.

à rajouter dans votre liste bibliog.

*revoir votre bibliog
Cisse + VACHAUD
et al. et al.
CISSE et al.*

ERRATA

- INTRODUCTION : ligne 18. Lire pluviométrie au lieu de pluviomètre
- Page 14 : avant dernière ligne. Lire les dernières couches au lieu de dernières courbes.
- Page 21 : ligne 5. Lire élevée au lieu de éleevée.
- Page 23 : $\log h(t) = \log B + n \log t$ au lieu de $\log h(t) = \log B = n \log t$
- CONCLUSION : ligne 7. Lire pendant la campagne au lieu de par la campagne.

REMARQUE

Dans les formules de ruissellement utilisées, on calcule le ruissellement pour chaque épisode pluvieux. Les valeurs de ruissellement lues dans les tableaux sont le cumul des différents épisodes pluvieux pour un interval donné. Il en est de même pour les hauteurs de pluies.

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) BAZIE P 1988 - protocole d'étude de la dynamique du bulbe humide en microirrigation : Etude de la dose et de la fréquence.
DEA (CEMAGREF, Montpellier) , p. 7 - 14
- 2°) CISSE (L) et VACHAUD (G) ,1987 Effet d'un amendement organique sur l'infiltration, les coefficients de transferts hydriques, et l'évaporation d'un sol sableux dégradé du Nord - Sénégal.
Hydrologie, vol 2 n°1 15 - 28.
- 3°) ERIC J. ROOSE; - dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne.
SARIA (Burkina Faso). Synthèse des campagnes 1971-1974. p. 21-29.
- 4°) Gérald HAMON, (1980) - Mise en oeuvre critique de méthode de caractérisation aux sols de culture du Sénégal. Thèse (Grenoble).
- 5°) Hillel D., 1974 - l'eau et le SOL : principe et processus physiques.
- 6°) MILVILLE. F ; 1985 - Méthode d'évaluation de la recharge en zone Semi-Aride. D.E.A - Paris.
- 7°) MILVILLE. F; 1987 - Etude hydrodynamique et quantification de la recharge des aquifères en climat Soudano-sahélien: Application à un bassin expérimental au Burkina Faso. I.A.H.S Publication N  199 P. 311-328.
- 8°) VACHAUD G. C-DANCETTE ;M-SONKO et J. THONY ; 1978 - Méthode de caractérisation hydrodynamique in-situ d'un sol non saturé : application à deux types de sols au Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique.
- 9°) VACHAUD , vauchlin et COLOMBANI; 1981 - Bilan hydrique dans le Sud Tunisien : Caractérisation Expérimentale des transferts dans la zone non saturée. Journal of hydrology, vol. 49, P. 31-52.
- 10°) VACHAUD, VAUCLIN; 1984 - Transferts hydriques dans les sols non saturés non homogènes - Annales des mines , Mai - Juin, P. 63-74.
- 11°) VIRTA J. et HELSINKI - The determination of soil moisture with the neutron scattering method in Finland - actes de symposium de Mayeningen vol.1 P. 105-108.

ERRATA

- INTRODUCTION : ligne 18. Lire pluviométrie au lieu de pluviomètre
- Page 14 : avant dernière ligne. Lire les dernières couches au lieu de dernières courbes.
- Page 21 : ligne 5. Lire élevée au lieu de éleevée.
- Page 23 : $\log f_i(t) = \log B + n \log t$ au lieu de $\log f_i(t) = \log B = n \log t$
- CONCLUSION : ligne 7. Lire pendant la campagne au lieu de par la campagne.

REMARQUE

Dans les formules de ruissellement utilisées, on calcule le ruissellement pour chaque épisode pluvieux. Les valeurs de ruissellement lues dans les tableaux sont le cumul des différents épisodes pluvieux pour un interval donné. Il en est de même pour les hauteurs de pluies.

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) BAZIE P 1988 - protocole d'étude de la dynamique du bulbe humide en microirrigation : Etude de la dose et de la fréquence.
DEA (CEMAGREF, Montpellier) , p. 7 - 14
- 2°) CISSE (L) et VACHAUD (G) ,1987 Effet d'un amendement organique sur l'infiltration, les coefficients de transferts hydriques, et l'évaporation d'un sol sableux dégradé du Nord - Sénégal.
Hydrolog. Continent, vol 2 n°1 15 - 28.
- 3°) ERIC J. ROOSE; - dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne.
SARIA (Burkina Faso). Synthèse des campagnes 1971-1974. p. 21-29.
- 4°) Gérald HAMON, (1980) - Mise en oeuvre critique de méthode de caractérisation aux sols de culture du Sénégal. Thèse (Grenoble).
- 5°) Hillel D., 1974 - l'eau et le SOL : principe et processus physiques.
- 6°) MILVILLE. F ; 1985 - Méthode d'évaluation de la recharge en zone Semi-Aride. D.E.A - Paris.
- 7°) MILVILLE. F; 1987 - Etude hydrodynamique et quantification de la recharge des aquifères en climat Soudano-sahélien: Application à un bassin expérimental au Burkina Faso. I.A.H.S Publication N° 199 P. 311-328.
- 8°) VACHAUD G. C-DANCETTE ; M-SONKO et J. THONY ; 1978 - Méthode de caractérisation hydrodynamique in-situ d'un sol non saturé : application à deux types de sols au Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique.
- 9°) VACHAUD , VAUCLIN et COLOMBANI; 1981 - Bilan hydrique dans le Sud Tunisien : Caractérisation Expérimentale des transferts dans la zone non saturée. Journal of hydrology, vol. 49, P. 31-52.
- 10°) VACHAUD, VAUCLIN; 1984 - Transferts hydriques dans les sols non saturés non homogènes - Annales des mines , Mai - Juin, P. 63-74.
- 11°) VIRTA J. et HELSINKI - The determination of soil moisture with the neutron scattering method in Finland - actes de symposium de Wageningen vol.1 P. 105-108.

Outre ces méthodes, des modèles de simulation ont été utilisés par plusieurs auteurs tels Vauclin et al (annales des mines - Mai - Juin 1984) pour décrire les transferts hydriques dans la zone non saturée.

Le tableau ci-après récapitule ces différentes méthodes et les appareils qui ont été utilisés (Tableau 1).

Une liste bibliographique n'est pas faite
n'importe comment ! elle doit respecter
certaines règles : elle doit respecter
Vous devez aussi une certaine règle.
et les citations bibliographiques figurant
dans le ouvrage que vous avez lus !

TABLEAU 1

filtrer ?

*16 7
M. Vauchin*

| | | | | |
|----------------------------------|---|--|---|----------------------------------|
| <p>METHODES</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Drainage interne - Méthode du plan de flux nul | <ul style="list-style-type: none"> - Drainage interne | <ul style="list-style-type: none"> - Drainage interne - Méthode du plan de flux nul | <p>Modèles physiques</p> |
| <p>APPAREILS UTILISES</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Humidimètre neutronique - Tensiomètre | <ul style="list-style-type: none"> - Humidimètre neutronique - Tensiomètre - Infiltromètre à deux anneaux | <ul style="list-style-type: none"> - Humidimètre neutronique - Tensiomètre | <p>-</p> |
| <p>AUTEURS</p> | <p>G. VACHAUD () C. DANCETTE () M. SONKO J.L. THONY</p> <p><i>M. Vauchin</i></p> | <p>CISSE L. G. VACHAUD</p> | <p>G. VACHAUD M. VAUCHIN COLOMBANI J.</p> | <p>M. VAUCHIN G. VACHAUD</p> |

2 Conclusion - critique

La méthode du plan de flux nul et la méthode de drainage interne ont permis de quantifier l'évaporation, l'infiltration et de caractériser le sol.

Cependant force est de reconnaître que l'existence d'un plan de flux nul n'est pas toujours perceptible à partir des profils de charge hydraulique, lorsqu'on est surtout en présence d'un sol hétérogène.

Dans ce qui suit nous allons quantifier les transferts par un suivi naturel de mesures d'humidité et de pression durant toute l'année (période pluvieuse et période sèche).

IV

II - ETUDE DES TRANSFERTS D'EAU EN ZONE NON SATURÉE

1 Objectif de l'étude

Nous venons de voir dans le paragraphe précédent que diverses méthodes ont été utilisées dans l'étude des transferts d'eau en zone non saturée soit pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques ou pour quantifier la percolation et l'évaporation. Toutefois ces méthodes, en particulier la méthode du bilan présente une difficulté qui réside dans le repérage du plan de flux nul.

Le but de notre étude est, en se fondant sur une analyse qualitative des mécanismes de transfert d'eau, de proposer une méthode de quantification de l'infiltration et de l'évaporation.

Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord procéder à une description du dispositif ayant permis d'acquérir les données, puis présenter la méthodologie adoptée.

2 Le dispositif expérimental

Les mécanismes de transfert d'eau sont étudiés sur le terrain expérimental de l'E.I.E.R situé sur la rive gauche d'une rivière alimentée par les eaux de ruissellement et les eaux usées de la ville de Ouagadougou.

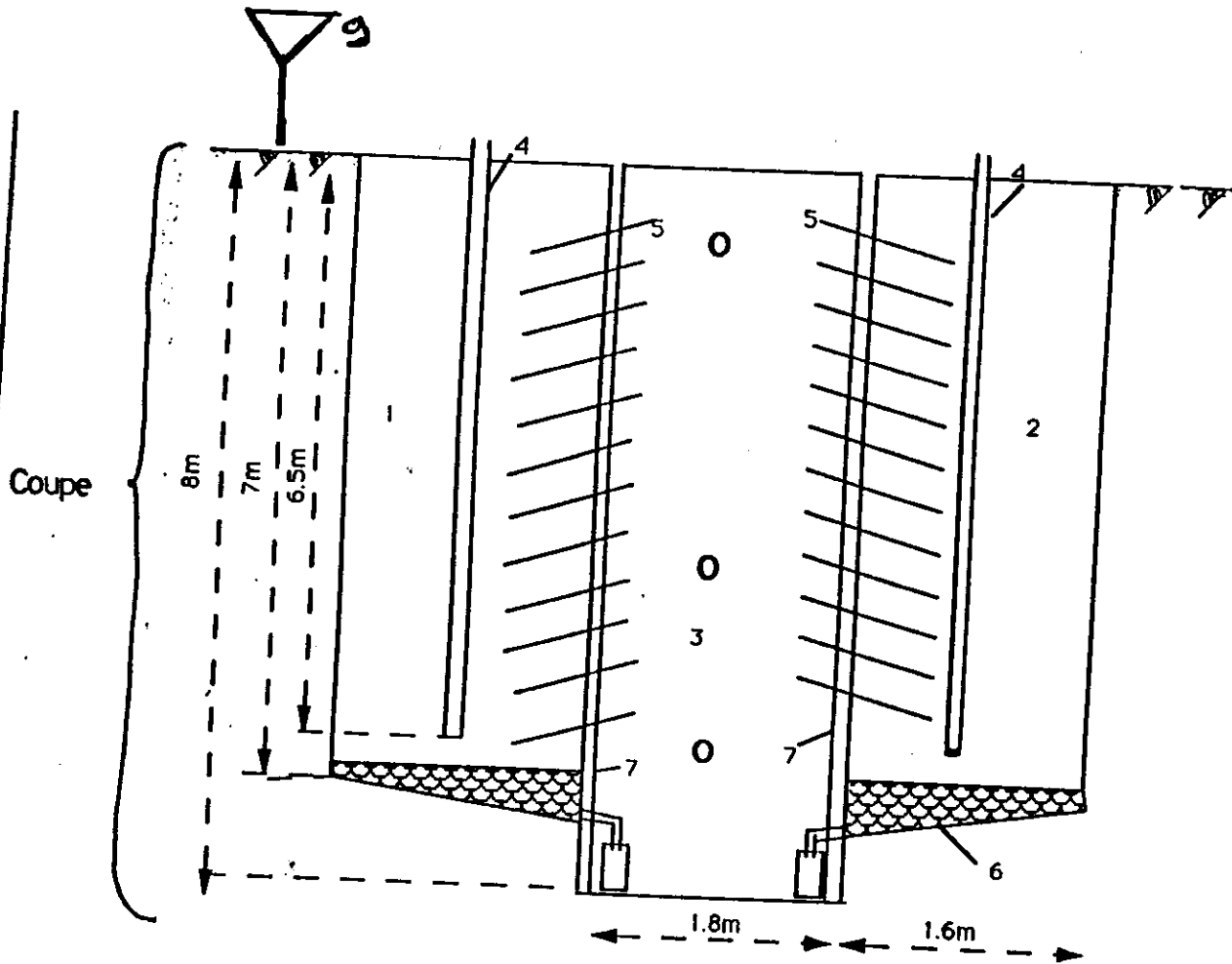
Le dispositif expérimental est constitué de deux fosses identiques baptisées "Lysimètres" munies chacun d'un système de drainage (Voir figure ci-dessous).

Les deux Lysimètres sont disposés sur les bords d'un puits central servant de puits de travail et sont équipés chacun d'un tube d'accès pour sonde à neutrons et de douze (12) tensiomètres. Le sol des lysimètres a été reconstitué et compacté couche par couche de manière à ce que la densité apparente soit la plus proche possible de celle du sol en place.

Une autre fosse profonde de 5,5 m et équipée d'un tube d'accès a été réalisée à une dizaine de mètres en vue d'étalonner la sonde. Un pluviomètre installé complète le dispositif expérimental.

qu'est-ce que vous voulez dire par ça?

6
SCHEMA DU DISPOSITIF
EXPERIMENTAL



LEGENDE

- 1 : Lysimètre 1
- 2 : lysimètre 2
- 3 : puits central
- 4 : tube de sonde
- 5 : tensiomètre
- 6 : système de drainage
- 7 : cuvelage
- 8 : limnigraphe
- 9 : pluviomètre

○ tensiomètre dans le sol
en place et les autres sont en ?

? où il est ?

3 Les mesures

Les mesures neutroniques ont débuté le 8 Juin 1990. Elles sont faites dans les tubes avec un pas d'espace vertical de 10 cm jusqu'à 650 cm, la première étant faite à 20 cm.

Ces mesures sont effectuées trois à six fois par semaine selon les circonstances de Juin à Octobre, puis en fonction de la cinétique d'assèchement du sol pendant le reste de l'année.

Les mesures tensiométriques ont débuté le 14 / 07 / 90 et sont faites en même temps que les mesures neutroniques.

Enfin, les relevés pluviométriques sont faits systématiquement après chaque épisode pluvieux depuis le 16 / 06 / 1990.

4 Interprétation des résultats

Remarque

Le site expérimental a été inondé le 28 Mai 1990 au moment du compactage du lysimètre 2. La tranche de sol déjà compactée a été raclée et reconstituée.

Le lysimètre 1 a été affecté par le biais des trous qui étaient prévus pour l'emplacement des tensiomètres.

C'est ce qui explique l'humidité élevée au début des mesures.

4 - 1 Etude qualitative des transferts

Les résultats expérimentaux sont présentés sous forme :

- de profils d'humidité pour le suivi des fronts d'humectation et d'évaporation. Ces profils sont représentés sur les figures 1 - a et 1 - b.

- de profils de charge hydraulique pour la détermination du sens de l'écoulement de l'eau dans le sol. (Figures 2 - a et 2 - b)

- d'évolution de l'humidité et de la charge hydraulique en fonction du temps pour l'identification des couches concernées par l'apport d'eau de pluie et la date à laquelle une tranche de sol donnée est affectée par l'évaporation (Figures 3-a , 3-b , 3-c et 3-d). (1)

- d'évolution du stock d'eau en fonction du temps (figure 4).

→ Comment faites vous pour le déterminer ?

l'expliquer à partir d'un exemple.

(1) expliquer à travers un exemple.

PROFILS D'HUMIDITE lysimètre 1

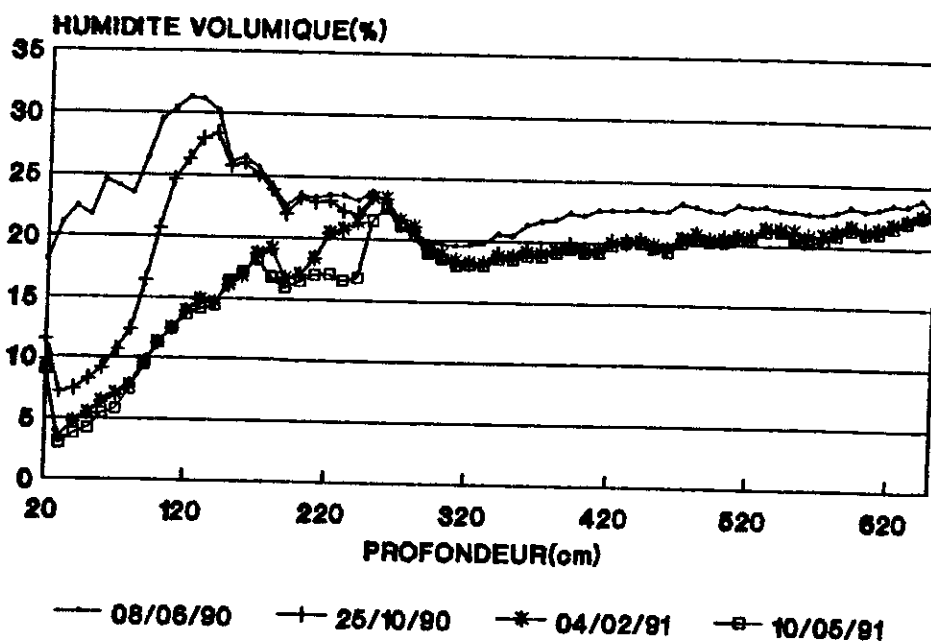


figure 1-a

PROFILS D'HUMIDITE lysimètre 2

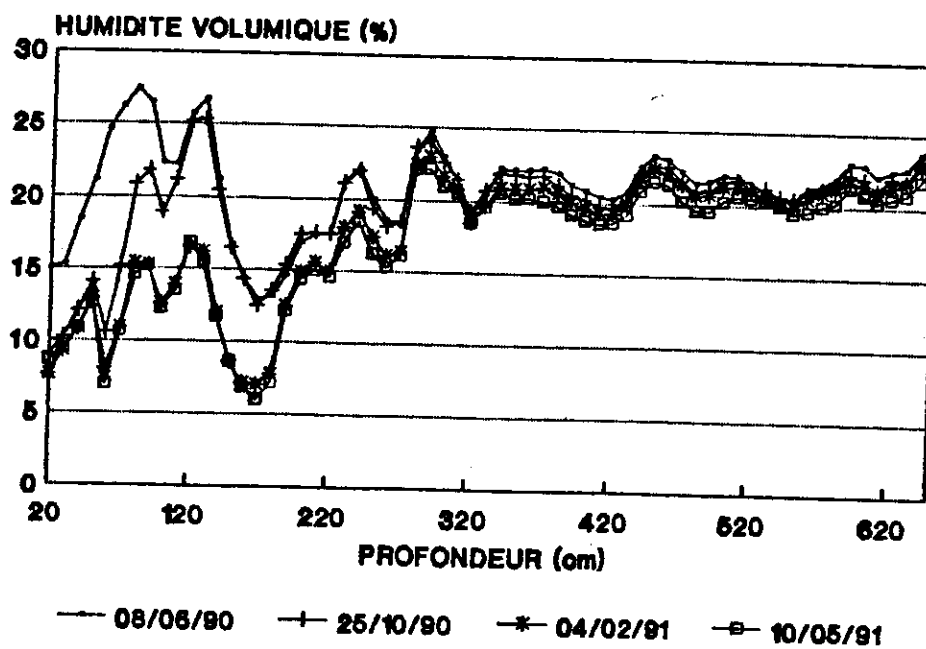


figure 1-b

PROFILS DE CHARGE HYDRAULIQUE lysimètre 1

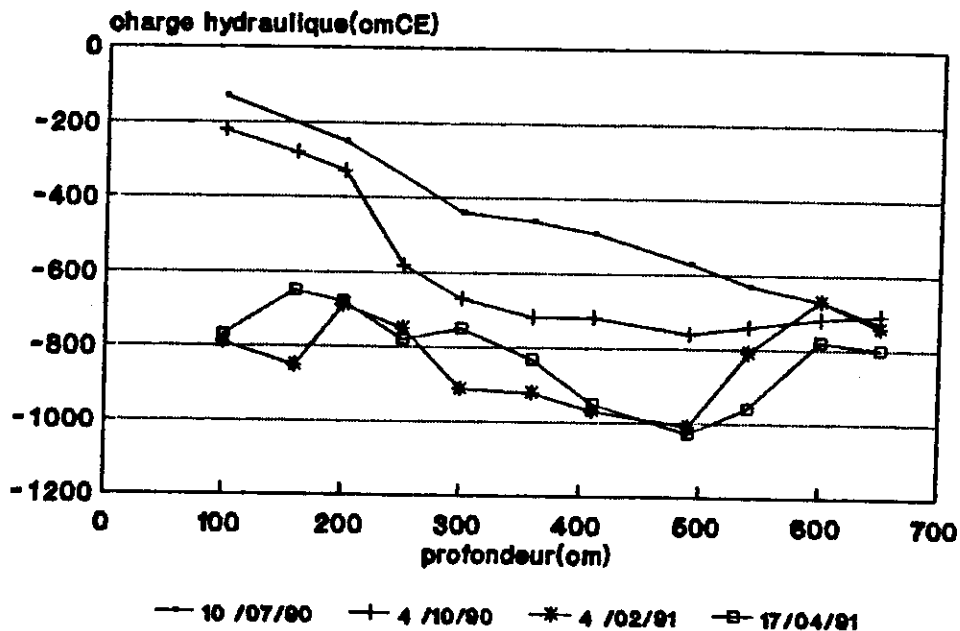


figure 2-a

PROFILS DE CHARGE HYDRAULIQUE lysimètre 2

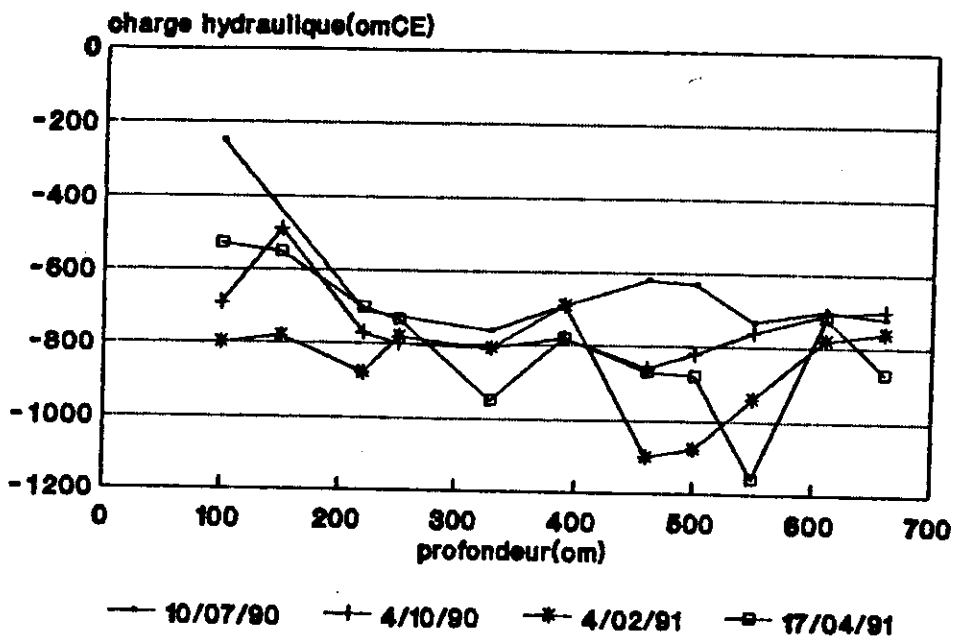


figure 2-b

EVOLUTION DE L'HUMIDITE AVEC LE TEMPS lysimètre 1

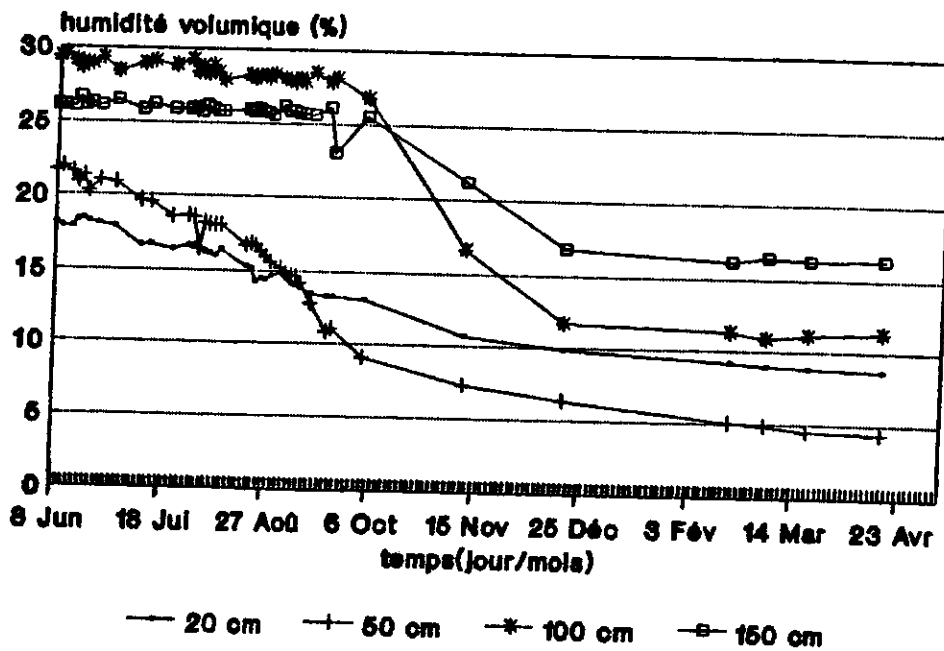


figure 3-a

EVOLUTION DE L'HUMIDITE AVEC LE TEMPS lysimètre 2

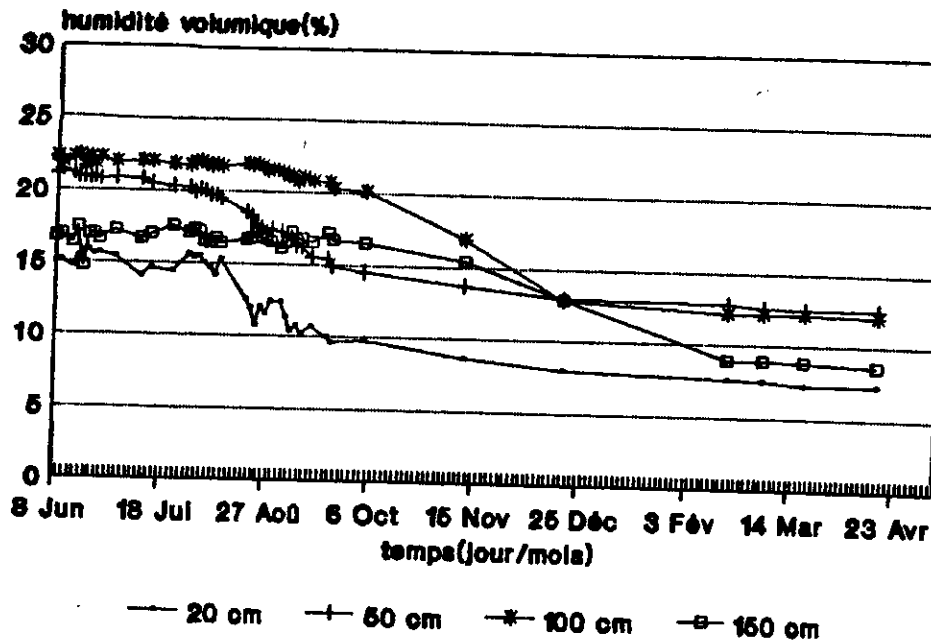


figure 3-b

EVOLUTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE lysimètre 1

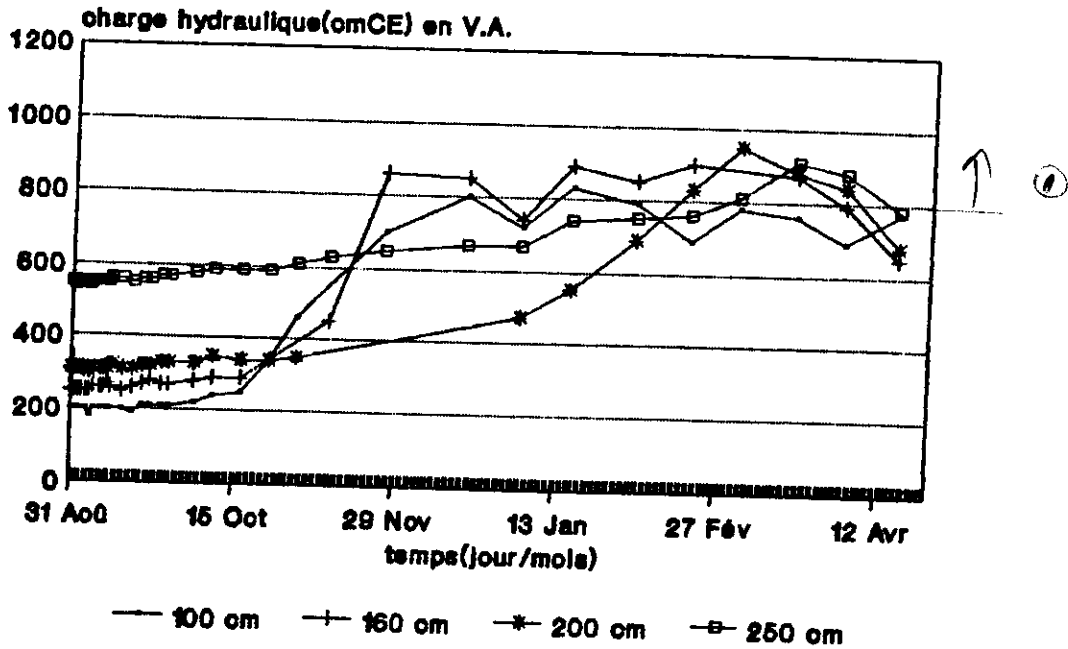


figure 3-c

EVOLUTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE lysimètre 2

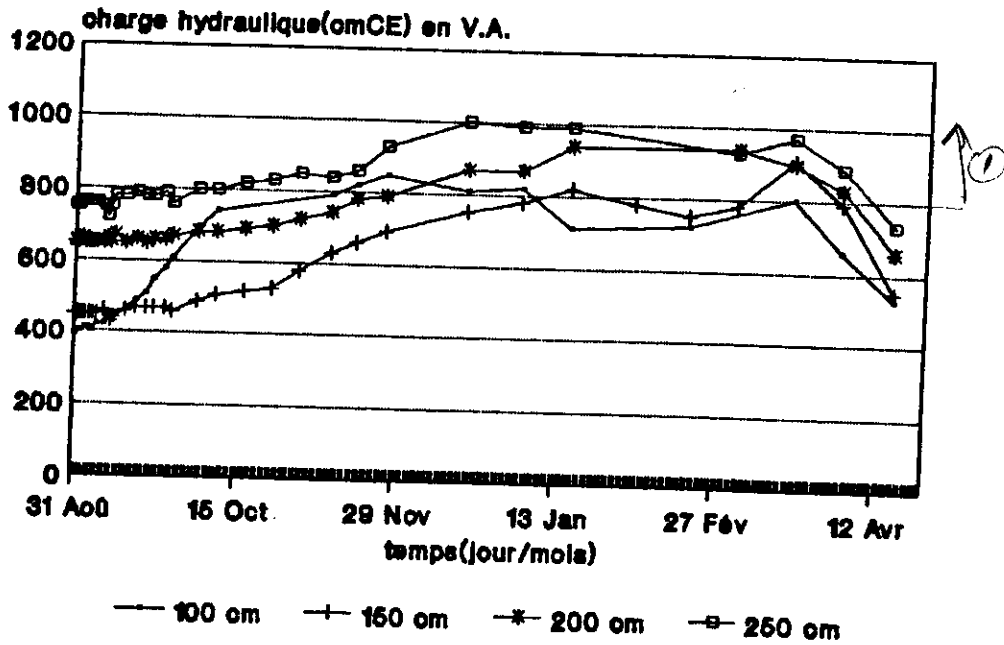
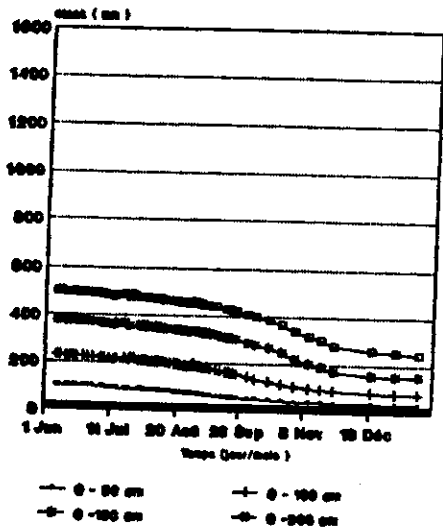


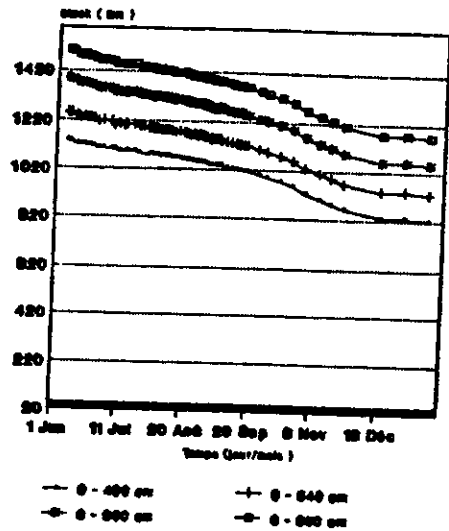
figure 3-d

① ATTEN à la valeurs limite de faibles
mat de lysimètres!

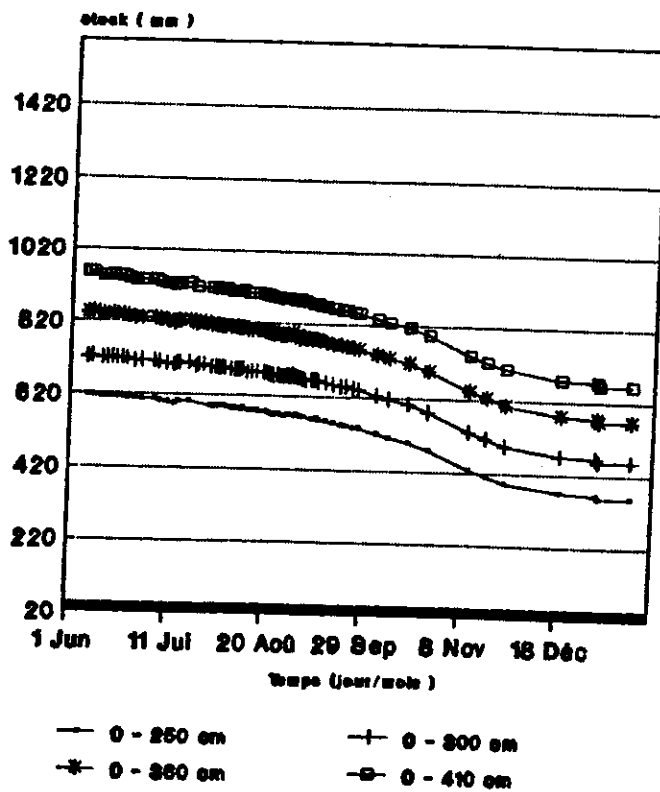
SITE EXPERIMENTAL DE L'E.I.E.R.
VARIATION DU STOCK D'EAU



SITE EXPERIMENTAL DE L'E.I.E.R.
VARIATION DU STOCK D'EAU



SITE EXPERIMENTAL DE L'E.I.E.R.
VARIATION DU STOCK D'EAU



LYSIMETRE 1

FIGURE 4

a) Les profils d'humidité

Dans un souci de clarté, nous avons représenté sur les figures (figures 1 - a et 1 - b) quatre profils correspondant à quatre dates différentes :

- début de saison de pluie
- fin de saison de pluie
- milieu de saison sèche
- fin de saison sèche

les variations d'humidité étant très faibles pendant la saison des pluies.

Comment ? Ces profils montrent clairement la progression du front d'évaporation aux différentes dates et font ressortir que la profondeur maximale de reprise de l'eau par évaporation repérée en fin de saison sèche (10 mai) se situe aux environs de 300 cm pour les deux lysimètres.

b) Les profils de charge hydraulique

Il ressort de profils de charge hydraulique illustrés par les figures 2 - a et 2 - b .

que la tranche du sol 0 - 700 cm est soumise à un drainage pendant toute la saison des pluies.

L'effet de l'évaporation dans les 100 à 150 cm commence à se faire ressentir premièrement sur le lysimètre 2 à la fin de la saison des pluies.

Outre ces aspects , ces profils font apparaître :

- l'assèchement progressif du sol qui se manifeste par le décalage des différents profils. - Un écoulement ascendant entre 600 - 500 cm qui pourrait être attribué à une ascension capillaire du fait de la saturation du fond des lysimètres après l'inondation.

c) Evolution de l'humidité et de la charge hydraulique

c-1 Evolution de l'humidité

Les courbes d'humidité en fonction du temps sont représentées

sur les figures 3-a et 3-b.

Elles font ressortir les points suivants :

- seuls les 100 à 150 centimètres sont affectés par l'eau de pluie ;
- il se produit un assèchement dès la fin de la saison des pluies pour les profondeurs inférieures à 300 cm .

Cet assèchement se fait avec un décalage dans le temps .Ceci est surtout visible sur le lysimètre 1;

- Au delà de la profondeur de 300 cm , l'humidité reste pratiquement constante durant toute la campagne. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces couches ne sont pas du tout touchées par l'évaporation. *si la percolation est nulle, oui!*

c-2 Evolution de la charge hydraulique

Elle permet de repérer les dates de début de reprises de l'eau par l'évaporation.

Ces dates sont repérées par le croisement des deux courbes correspondant à deux profondeurs successives.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après : *litre?*

| LYSIMETRE 1 | | LYSIMETRE 2 | |
|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Profondeur (cm) | Date | Profondeur (cm) | Date |
| 160 | 2 /11 /90 | 150 | 18 /11 /90 |
| 200 | 18 /11 /90 | 200 | 19 /12 /90 |
| 250 | 19 /02 /91 | 250 | 19 /02 /91 |
| 300 | 2 /02 /91 | 300 | 2 /04 /91 |

Evolution du stock d'eau en fonction du temps (figure 4)

Ces figures font ressortir un parallélisme entre les courbes à partir de 250 cm. Ce parallélisme pourrait s'expliquer par l'existence d'un régime permanent dans les dernières courbes des lysimètres.

① ATT. aux valeurs limites de fonctionnement des lysimètres. Que signifie une charge de 850 a devant celle de 300 cm par exemple?

Cette hypothèse est d'autant plus plausible que l'on a récupéré de l'eau dans les bidons reliés aux systèmes de drainage des deux lysimètres.

4 - 2 Quantification des transferts d'eau

La méthode de quantification adoptée est fondée d'une part sur l'étude qualitative et d'autre part sur la variation de stock d'eau .

Elle s'effectue en deux étapes :

- dans la première, on calcule la somme évaporation - percolation à partir de l'équation du bilan hydrologique.

- dans la deuxième étape, on quantifie la quantité d'eau reprise dans le sol par évaporation pendant la saison sèche où la percolation est supposée nulle à la profondeur considérée.

L'infiltration est donnée par la variation du stock d'eau en fonction du temps.

4 - 2 - 1 Essai de bilan

L'équation du bilan s'écrit :

$$PL = R + \Delta S + E + Per \quad (1) \text{ où}$$

PL est la hauteur de pluie en mm

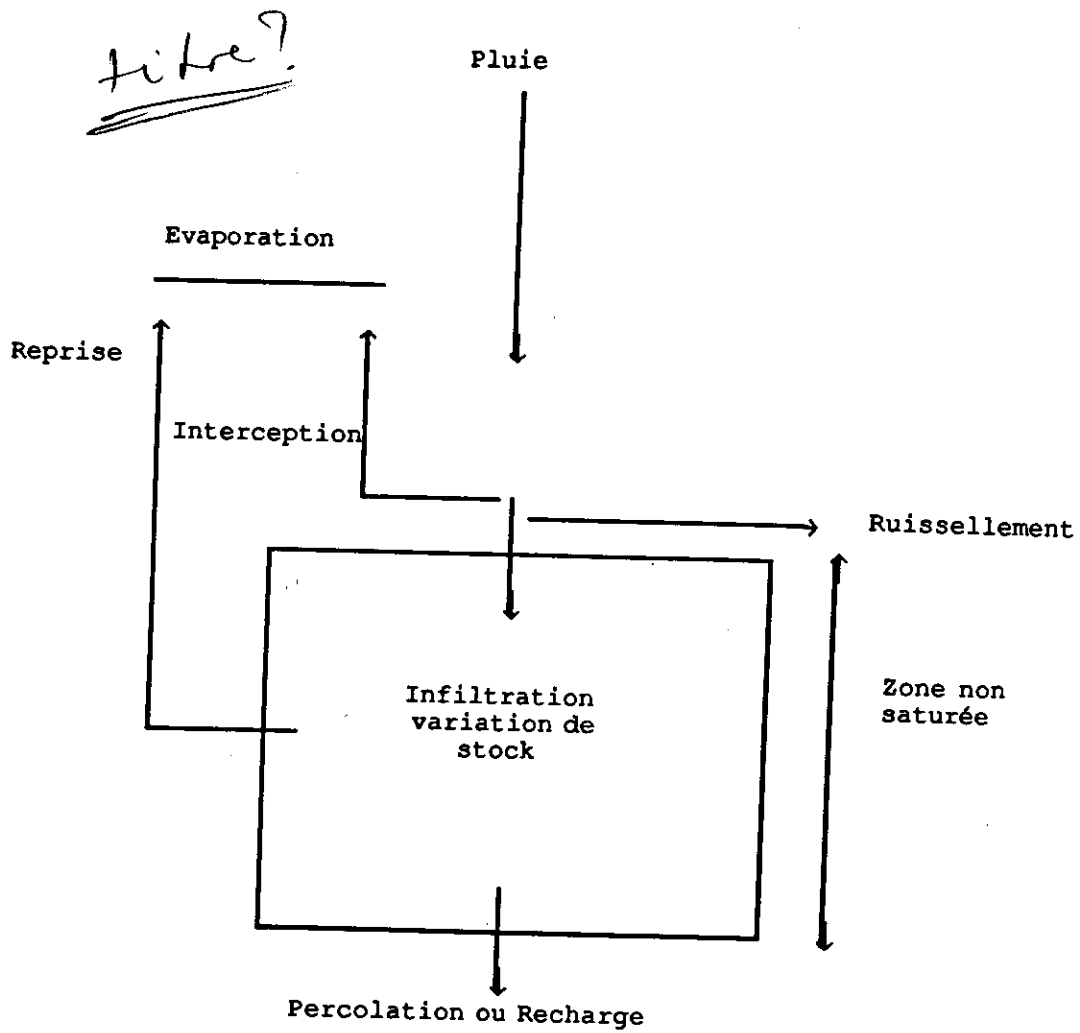
ΔS est la variation de stock en mm

E est l'évaporation en mm

Per est la quantité d'eau ayant percolée en mm.

R est le ruissellement en mm.

La figure ci-dessous schématise bien cette équation.



Dans notre étude, nous avons estimé R par les formules suivantes mises au point par F. Milville (1987) :

$$- R = 0,83 (PL - 8,4) \text{ pour un sol nu} \quad (1)$$

$$- R = 0,55 (PL - 8,9) \text{ pour un sol recouvert par de l'herbe.}$$

(2). PL étant la hauteur de pluie tombée.

L'équation (1) a été appliquée pour la période de juin à mi - juillet , et l'équation (2) pour la période de mi - juillet à octobre.

L'essai de bilan a été réalisé pour un certain nombre de tranches de sol. Les résultats sont consignés dans les tableaux (* Lysimètre 1 et 2) et en annexe. Dans ces tableaux :

$$P' = E + Per$$

$$p = R + P'$$

$$= E + Per + R$$

LYSIMETRE 1

titre ?

0 - ¹⁷50 cm

| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | (mm) |
|--------------|--------------------|------------|-----------|----------------------|-------|
| 08 / 06 / 90 | | | | | |
| au | 0,3 | 55 | 54,7 | 24,73 (1) | 29,97 |
| 20 / 06 / 90 | | | | 38,68 | |
| 20 / 06 / 90 | | | | | |
| au | -0,65 | 31,8 | 32,45 | 6,31 (1) | 26,14 |
| 30 / 06 / 90 | | | | 19,42 | |
| 30 / 06 / 90 | | | | | |
| au | -2,42 | 2,03 | 4,45 | 0 | 4,45 |
| 10 / 07 / 90 | | | | | |
| 10 / 07 / 90 | | | | | |
| au | -0,52 | 83,3 | 83,82 | 16,85 | 66,97 |
| 22 / 07 / 90 | | | | | |
| 22 / 07 / 90 | | | | | |
| au | 0,33 | 46,4 | 46,07 | 8,2 | 37,87 |
| 31 / 07 / 90 | | | | 20,63 | |
| 31 / 07 / 90 | | | | | |
| au | -0,18 | 80 | 80,18 | 32,50 | 47,68 |
| 10 / 08 / 90 | | | | 39,10 | |
| 10 / 08 / 90 | | | | | |
| au | -2,81 | 46,45 | 49,86 | 15,45 | 34,41 |
| 20 / 08 / 90 | | | | 20,65 | |
| 20 / 08 / 90 | | | | | |
| au | -0,57 | 87 | 87,57 | 33,50 | 54,07 |
| 30 / 08 / 90 | | | | 43,00 | |
| 30 / 08 / 90 | | | | | |
| au | -2,13 | 26,1 | 28,23 | 3,96 | 24,27 |
| 10 / 09 / 90 | | | | 9,46 | |
| 10 / 09 / 90 | | | | | |
| au | -3,55 | 106,1 | 109,65 | 32,42 | 77,23 |
| 17 / 10 / 90 | | | | 53,46 | |
| 17 / 10 / 90 | | | | | |
| au | -4,16 | 0 | 4,16 | 0 | 4,16 |
| 19 / 12 / 90 | | | | | |
| 19 / 12 / 90 | | | | | |
| au | -1,28 | 0 | 1,28 | 0 | 1,28 |
| 04 / 02 / 91 | | | | | |
| 04 / 02 / 91 | | | | | |
| au | -1,06 | 0 | 1,06 | 0 | 1,06 |
| 02 / 04 / 91 | | | | | |
| 02 / 04 / 91 | | | | | |
| au | 0,42 | 30,3 | 29,88 | 18,18 | 11,7 |
| 17 / 04 / 91 | | | | | |
| 17 / 04 / 91 | | | | | |
| au | 0,15 | 39,7 | 39,55 | 21,78 | 17,77 |
| 10 / 05 / 91 | | | | | |

LYSIMETRE 2

0 - ¹⁸50 cm

| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | P' (mm) |
|--------------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 08 / 06 / 90 au | 2,05 | 55 | 52,95 | 24,73 | 28,22 |
| 20 / 06 / 90 | | | | | |
| 20 / 06 / 90 au | -0,88 | 31,8 | 32,68 | 6,31 | 26,37 |
| 30 / 06 / 90 | | | | | |
| 30 / 06 / 90 au | -3,21 | 2,03 | 5,24 | 0 | 5,24 |
| 10 / 07 / 90 | | | | | |
| 10 / 07 / 90 au | -0,16 | 83,3 | 83,46 | 16,85 | 66,61 |
| 22 / 07 / 90 | | | | | |
| 22 / 07 / 90 au | 2,3 | 46,4 | 44,1 | 8,2 | 35,9 |
| 31 / 07 / 90 | | | | | |
| 31 / 07 / 90 au | -2,3 | 80 | 82,3 | 32,50 | 49,8 |
| 10 / 08 / 90 | | | | | |
| 10 / 08 / 90 au | -11,36 | 46,45 | 57,81 | 15,45 | 42,36 |
| 20 / 08 / 90 | | | | | |
| 20 / 08 / 90 au | -1,43 | 87 | 88,43 | 33,50 | 54,93 |
| 30 / 08 / 90 | | | | | |
| 30 / 08 / 90 au | -8,84 | 26,1 | 34,94 | 3,96 | 30,98 |
| 10 / 09 / 90 | | | | | |
| 10 / 09 / 90 au | -5,83 | 106,1 | 111,93 | 32,42 | 79,51 |
| 17 / 10 / 90 | | | | | |
| 17 / 10 / 90 au | -5,22 | 0 | 5,22 | 0 | 5,22 |
| 19 / 12 / 90 | | | | | |
| 19 / 12 / 90 au | 1,63 | 0 | 1,63 | 0 | 1,63 |
| 04 / 02 / 91 | | | | | |
| 04 / 02 / 91 au | -1,67 | 0 | 1,67 | 0 | 1,67 |
| 02 / 04 / 91 | | | | | |
| 02 / 04 / 91 au | 6,84 | 30,3 | 23,46 | 18,18 | 5,28 |
| 17 / 04 / 91 | | | | | |
| 17 / 04 / 9 au | -3,31 | 39,7 | 43,01 | 21,78 | 21,23 |
| 10 / 05 / 91 | | | | | |

Comme on le constate, les différents tableaux ne donnent qu'une valeur globale Evaporation + Percolation. En effet, on ne dispose pas de données sur la Percolation qui nous permettent de calculer l'évaporation sur toute l'année.

Nous avons donc déterminé ce dernier paramètre uniquement pendant la saison sèche.

4 - 2.2 Quantification de l'évaporation

L'analyse qualitative des transferts d'eau a montré que la profondeur maximale de reprise d'eau par évaporation se situait aux environs de 300 cm. La quantification de l'évaporation va donc concerner cette tranche de sol.

La méthode suivie se présente de la manière suivante :

On repère les dates de début de reprise d'eau par évaporation aux différentes profondeurs à partir de l'étude qualitative, puis la date de la dernière pluie de l'année hydrologique.

- On calcule les stocks d'eau, à ces différentes dates, notés respectivement S_i et S_{oi} .

La quantité d'eau reprise par évaporation E_i est alors :

$$E_i = /S_i - S_{oi}/$$

Remarque

les dates de début de reprise d'eau par évaporation ont été déterminées à partir des courbes d'évolution de la charge hydraulique pour les tranches du sol équipées de tensiomètres. Pour les tranches ne comportant pas de tensiomètres (0 - 100 cm), on a utilisé les courbes d'évolution de l'humidité.

La dernière pluie est survenue le 3 /10 / 90; nous avons retenu la date du 4 /10 / 90 qui correspond à la date de mesure pour le calcul de S_i . Les résultats de ces calculs sont consignés dans les tableaux (Lysimètre 1 et Lysimètre 2).

LYSIMETRE 1

litre?

| Tranches de sol | DATE DE DEBUT D'EVAPORATION | STOCK D'EAU Si | STOCK D'EAU SOi | EVAPORATION Ei |
|-----------------|-----------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 0 - 20 | 9 / 10 / 90 | 25,48 | 26,18 | 0,7 |
| 0 - 50 | 17 / 10 / 90 | 49,23 | 53,52 | 4,29 |
| 0 - 100 | 25 / 10 / 90 | 94,45 | 144,08 | 49,63 |
| 0 - 160 | 2 / 11 / 90 | 245,29 | 314,08 | 68,81 |
| 0 - 200 | 18 / 11 / 90 | 299,88 | 408,88 | 109 |
| 0 - 250 | 19 / 02 / 91 | 329,66 | 523,66 | 194 |
| 0 - 300 | 2 / 04 / 91 | 416,54 | 628,16 | 211,62 |

LYSIMETRE 2

litre?

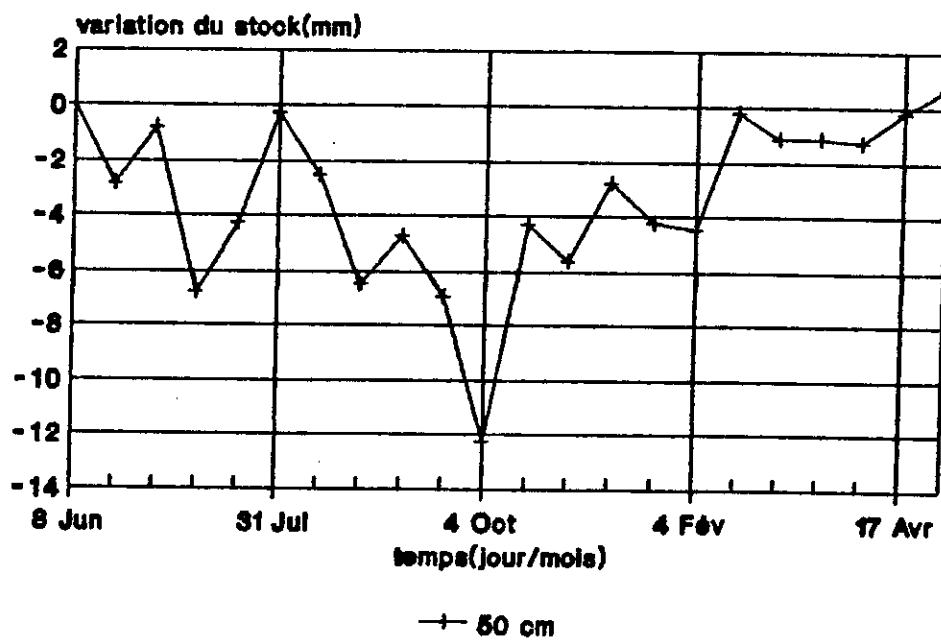
| Tranches de sol | DATE DE DEBUT D'EVAPORATION | STOCK D'EAU Si | STOCK D'EAU SOi | EVAPORATION Ei |
|-----------------|-----------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 0 - 20 | 9 / 10 / 90 | 19,23 | 19,58 | 0,29 |
| 0 - 50 | 17 / 10 / 90 | 55,13 | 57,23 | 2,1 |
| 0 - 100 | 2 / 11 / 90 | 137,38 | 154,92 | 17,54 |
| 0 - 150 | 18 / 11 / 90 | 224,55 | 266,28 | 41,63 |
| 0 - 200 | 19 / 12 / 91 | 261,43 | 340,25 | 78,82 |
| 0 - 250 | 4 / 02 / 91 | 311,82 | 438,46 | 126,64 |
| 0 - 300 | 4 / 03 / 91 | 406,30 | 543,15 | 136,85 |

N.B. Les dates de début de l'évaporation ne coïncident pas toujours avec les dates de mesure ; dans de telles situations nous avons considéré la date de mesure la plus proche.

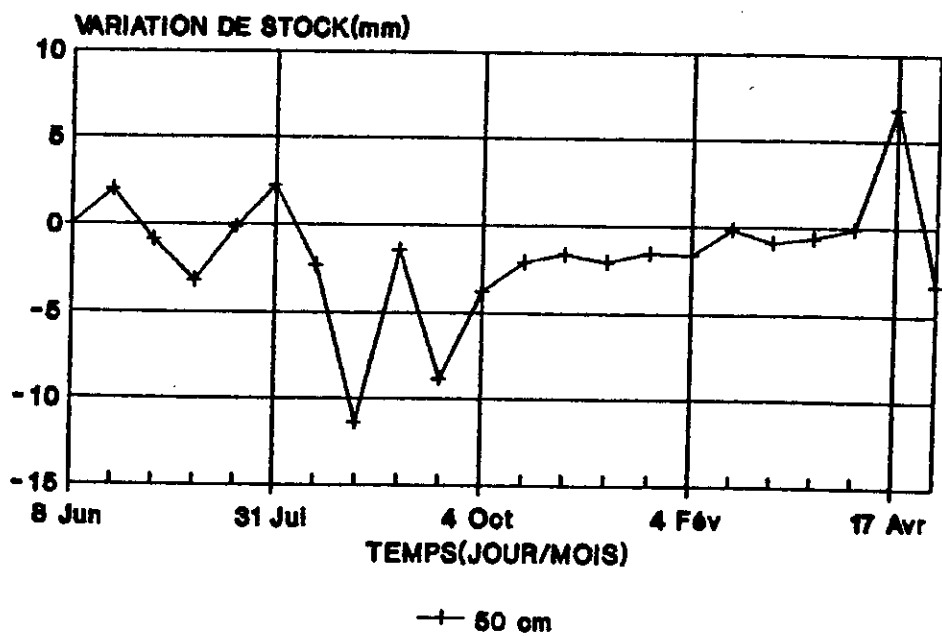
L'examen de ces tableaux montre que la cinétique d'évaporation est plus élevée dans le lysimètre 1 que dans le lysimètre 2. Il en est de même pour le niveau d'eau reprise par évaporation. Le pouvoir évaporant dans l'atmosphère étant le même au niveau des deux lysimètres, cette différence de comportement pourrait s'expliquer par le fait que le lysimètre 1 est plus humide et, par conséquent est plus apte à alimenter l'évaporation.

Nous avons représenté sur les figures ci-dessous et en annexe la variation du stock d'eau en fonction du temps. Les parties positives représentent la quantité d'eau emmagasinée dans la tranche de sol considérée et les parties négatives les quantités d'eau sorties de la même tranche ($E + Per$).

VARIATION DU STOCK D'EAU lysimètre 1



VARIATION DU STOCK D'EAU lysimètre 2



ERRATA

PAGE 10, 2ème Ligne

Au lieu de "Vendredi s'il pleut, suivra un
un long moment sans pluie"

Lire "Vendredi s'il pleut, il pleuvra
au moins une fois avant 3 jours"

PAGE 24, 7ème Ligne

Au lieu de "S'il pleut Vendredi, il pleuvra
au moins une fois avant"

Lire "S'il pleut Vendredi, il pleuvra
au moins une fois avant 3
jours"

III ESSAI D'INFILTRATION

1 - But de l'essai

Il a été effectué sur le site expérimental trois essais d'infiltration avec un infiltromètre à double anneaux dont les caractéristiques sont les suivantes :

- diamètre de l'anneau extérieur : 1 m ;
- diamètre de l'anneau intérieur 0,5 m .

La charge d'eau au dessus du sol est constante et est fixée à 10 cm.

Le but de ces essais est de trouver un modèle qui reproduise le mieux l'infiltration sur le site.

Pour ce faire, nous nous sommes intéressés à deux modèles :

- le modèle de PHILIP (1969)

(1) $I(t) = Bt + At$ ou $I(t)$ est la hauteur de la lame d'eau infiltrée à l'instant t , S la sorptivité caractérisant l'absorption d'eau par capillarité et A le paramètre de gravité.

- Le modèle de KOSTIAKOV - LEWIS

(2) $Li(t) = Bt^n$ où $Li(t)$ est la hauteur d'eau infiltrée à l'instant t , B et n des paramètres empiriques.

Les différents coefficients, ont été déterminés par la recherche classique de corrélation linéaire entre I/\sqrt{t} et \sqrt{t} résultant de l'écriture de l'équation (1) sous la forme $I/\sqrt{t} = S + A\sqrt{t}$ d'une part entre $\text{Log}Li(t)$ et $\text{Log}t$ résultant de l'écriture de l'équation (2) sous la forme $\text{Log}Li(t) = \text{Log}B + n\text{Log}t$.

2 - Résultats

Les résultats sont consignés dans les tableaux ci-dessous :

Modèle de PHILIP (1969) :

$$I = S\sqrt{t} + At$$

Quelles sont les conditions d'application de ces lois ? les avez-vous dans votre essai ?

MODELE DE PHILIP

litre?

| Coéfficients Essai | R^1 | S (mm / $\sqrt{\text{min}}$) | A (mm / min) |
|-----------------------|-------|----------------------------------|-----------------|
| 1 | 0,97 | 3,25 | 0,9 |
| 2 | 0,96 | 2,15 | 0,5 |
| 3 | 0,94 | 2,68 | 0,9 |

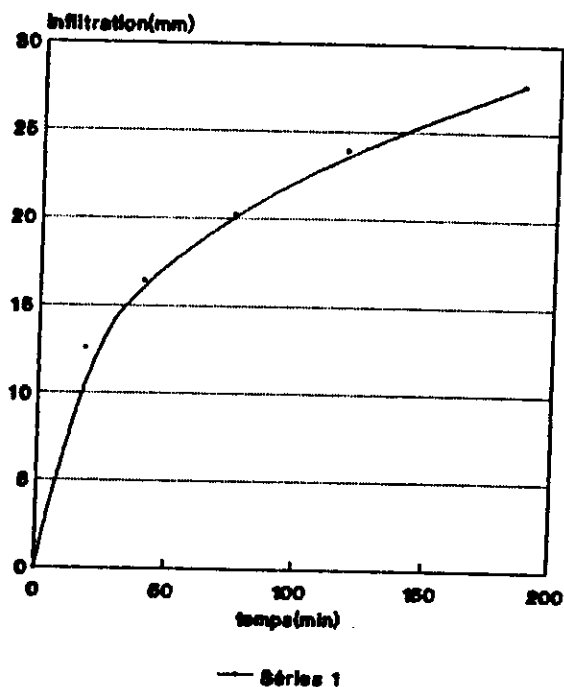
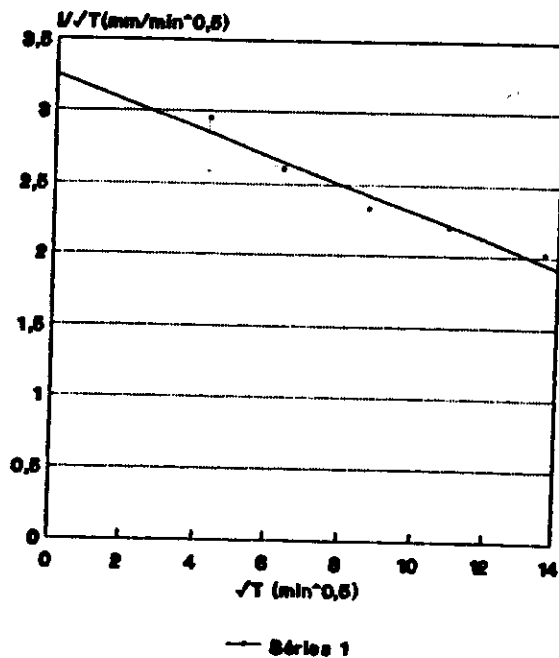
↓
donner R^2 c'est mieux -

MODELE DE KOSTIAKOV - LEWIS

litre?

| Coéfficients Essai | R^1 | B (mm/ min) | n |
|-----------------------|-------|-------------|------|
| 1 | 0,99 | 4,62 | 0,34 |
| 2 | 0,99 | 2,94 | 0,35 |
| 3 | 0,99 | 3,60 | 0,34 |

INFILTRATION CUMULEE

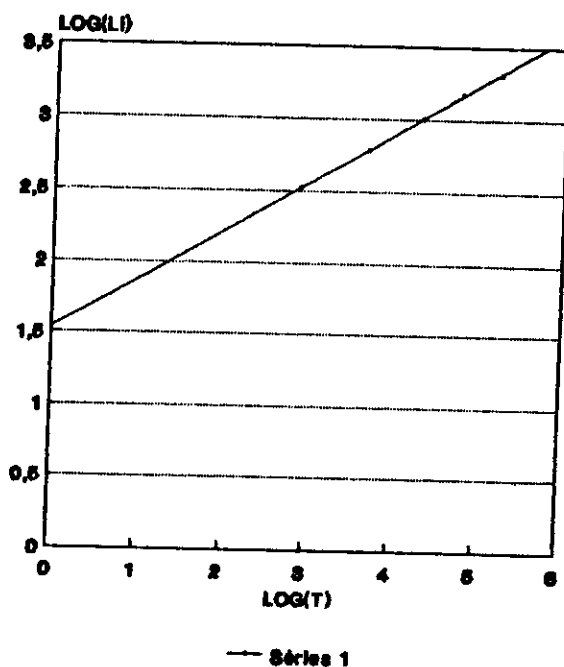
LOI DE PHILIP
 $I/\sqrt{t} = S + A\sqrt{t}$ 

$$\frac{I}{\sqrt{t}} = S + A\sqrt{t}$$

cette figure montre
que $A < 0$. Alors
que les valeurs
de la table page 24
donne $A > 0$.

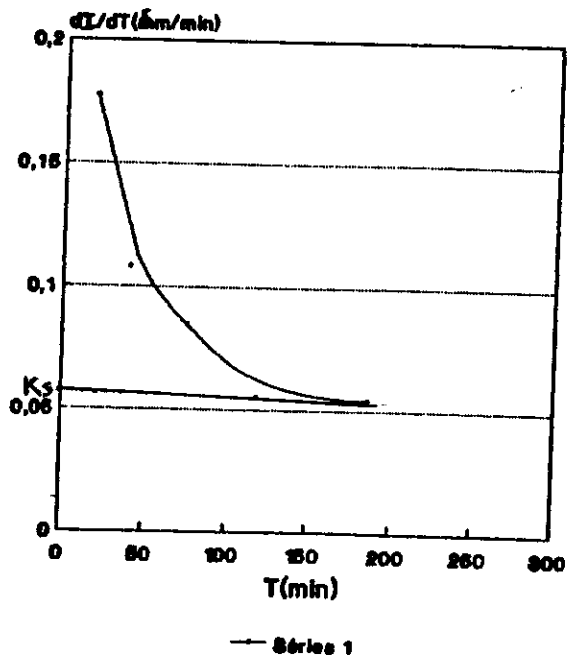
Comment l'expliquez-
vous ?

LA LOI DE KOSTIAKOV-LEWIS
 $\text{LOG}(L) = \text{LOG}(B) + N \cdot \text{LOG}(T)$



DETERMINATION DE K_s

(*)



On sait que l'ajustement d'une loi est meilleure loi
coefficient de corrélation tend vers 1

Pour la loi de KOSTIAKOV - LEWIS ce coefficient tend plus
vers 1 que pour la loi de PHILIP .

On peut donc dire que le modèle de KOSTIAKOV permet de mieux
reproduire l'infiltration .

Ceci est d'autant vrai que sur les figures on voit que pour
la loi de KOSTIAKOV les points sont bien alignés.

La loi d'infiltration sur le site est donc de la forme :

$$Li(t) = \bar{B}t^{\bar{n}} \quad \text{où } \bar{n} \text{ et } \bar{B} \text{ sont les moyennes}$$

$$Li(t) = 3,72t^{0,34}$$

- Détermination de la conductivité hydraulique à saturation K_s

en traçant le graphique dI / dt en fonction de t ; on
détermine K_s qui est égale à la limite de la fonction dI/dt
lorsque t tend vers l'infini (voir figure ci-dessus).

I est l'infiltration cumulée. ?

On obtient que $K_s = 0,054 \text{ cm / min}$ o

soit 780 mm / jour ?

$K_s = 780 \text{ mm / jour}$ *qu'en pensez-vous -*

→ croyez vous que 0,99 et 0,97 soient
vrais et différents ?

→ c'est normal puisque vous êtes en log-log !

⇒ A mon avis celle de PHILIP est meilleure !

CONCLUSION

Au cours de ce travail, nous avons analysé dans un premier temps un certain nombre d'études qui ont été faites sur les transferts d'eau en zone non saturée .

A la lumière de cette analyse, nous avons proposé une méthode de quantification de ces transferts .Celle-ci s'appuie, d'une part sur l'équation du bilan hydrologique et, d'autre part sur une analyse qualitative des résultats expérimentaux obtenus par la campagne de mesure (90 - 91) sur le site expérimental de l'E.I.E.R.

Les résultats obtenus montrent qu'une telle méthode permet de calculer ;

- la somme percolation - évaporation pendant la saison des pluies;
- l'évaporation pendant la saison sèche.
- la quantité d'eau emmagasinée dans une tranche de sol .

En outre, il ressort de cette étude que la profondeur de reprise de l'eau par l'évaporation peut atteindre 3 mètres au lieu d'un mètre comme il est généralement admis . Il serait donc indispensable de définir un " nouveau " stock optimum d'eau (stock d'eau à reconstituer dans le sol avant qu'il puisse avoir percolation vers la nappe)

qui prenne en compte cette nouvelle donnée.

D'autre part, la formule de calcul du ruissellement adoptée ne tient compte que de la hauteur de pluie tombée , or on sait que la lame d'eau ruissellée dépend de l'intensité et de la hauteur des averses, de la succession des pluies, de l'état d'humidité et de la structure de l'horizon superficiel du sol avant l'averse. Aussi il serait intéressant, dans les investigations futures de mettre au point une formule qui prenne en compte la plupart de ces facteurs

Il serait aussi judicieux de disposer de tensiomètres entre la surface du sol et les 100 premiers centimètres afin de pouvoir étudier plus finement ce qui se passe dans cette tranche du sol.

Enfin, il va falloir à l'avenir, mettre au point une méthode fiable de détermination du taux de percolation à une côte donnée pour le calcul de la quantité d'eau reprise par évaporation pendant la saison des pluies.

AB

Sur quel type de sol en place ?

à partir de

- 1°) BAZIE P 1988 - protocole d'étude de la dynamique du bulbe humide en microirrigation : Etude de la dose et de la fréquence .
DEA (CEMAGREF, Montpellier) , p.7 - 14.
- 2°) ERIC J. ROOSE; - dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne.
SARIA (Burkina Faso) . synthèse des campagnes 1971-1974
p. 21-29.
- 3°) GÉRALD HAMON, (1980) - Mise en Oeuvre critique de méthodes de caractérisation hydrodynamique de la zone non saturée du sol : Application aux sols de culture du Sénégal. Thèse (Grenoble).
- 4°) HILLEL D., 1974 _ l'EAU et le SOL : principe et processus physiques.
- 5°) MILVILLE . F ; 1985 - Méthodes d'évaluation de la recharge en zone Semi-Aride. D.E.A - Paris .
- 6°) MILVILLE . F; 1987 - Etude hydrodynamique et quantification de la recharge des aquifères en climat Soudano-sahélien: Application à un bassin expérimental au Burkina Faso. I.A.H.S Publication N° 199 P. 311-328.
- 7°) VACHAUD G. C-DANCETTE ; M-SONKO et J. TONY ; 1971 - Méthode de caractérisation hydrodynamique in-situ d'un sol non saturée : Application à deux types de sols au Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique.
- 8°) VACHAUD , VAUCLIN et COLOMBANI; 1981 - Bilan hydrique dans le Sud Tunisien : Caractérisation Expérimentale des transferts dans la zone non saturée . Journal of hydrology , vol. 49, P. 31-52.
- 9°) VACHAUD , VAUCLIN; 1984 - Transferts hydriques dans les sols non saturés non homogènes - Annales des mines , Mai - Juin, P.63 - 74.
- 10°) VACHAUD (G) et CISSE (L) , 1987 Effet d'un amendement organique sur l'infiltration , les coefficients de transferts hydriques, et l'évaporation d'un sol sableux dégradé du Nord- Sénégal
Hydrolog. Continent, vol 2 n°1 15-28.
- 11°) VIRTA J. et HELSINKI - The determination of soil moisture with the neutron scattering method in Finland - actes de symposium de Wageningen vol.1 P.105 - 108.

Biblio incomplète !

ANNEXES

ANNEXE 1

Plan du site expérimental

ANNEXE 2

- A - 2 - 1 Caractéristiques granulométriques du sol
- A - 2 - 2 Profils de densité apparente
- A - 2 - 3 Courbes d'étalonnage de la sonde à neutron

ANNEXE 3

- A - 3 - 1 Définition de certains termes et relations utilisés
- A - 3 - 2 Méthode du plan de flux nul
- A - 3 - 3 Méthode du drainage interne

ANNEXE 4

- A - 4 - 1 évolution de l'humidité en fonction du temps
- A - 4 - 2 évolution de la charge hydraulique en fonction du temps
- A - 4 - 3 tableaux d'ESSAI de bilan
- A - 4 - 4 variation de stock d'eau en fonction du temps

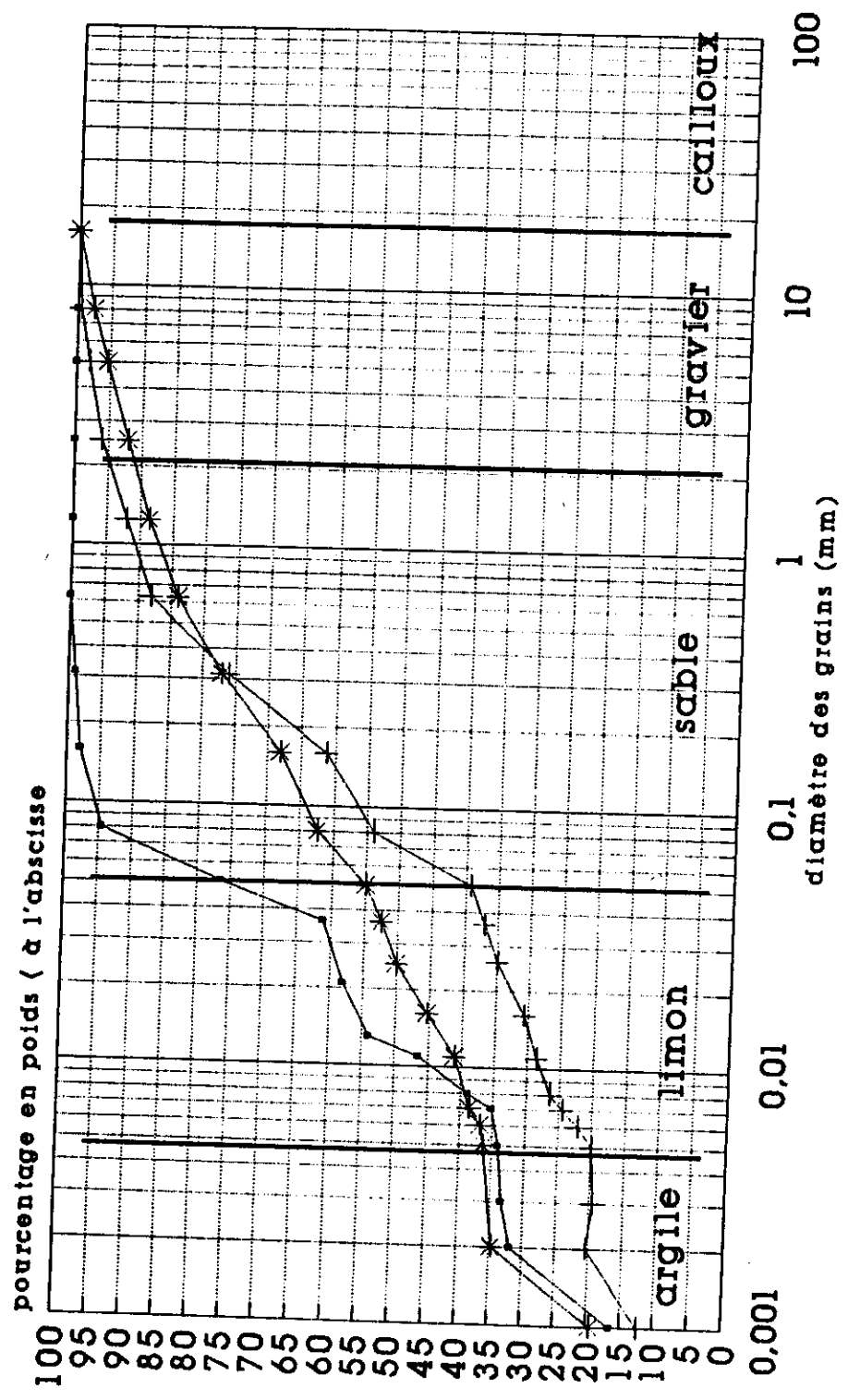
ANNEXE 2 A-2-1

Tableau 1

Caractéristiques granulométriques du sol
(en % de la masse totale sèche)

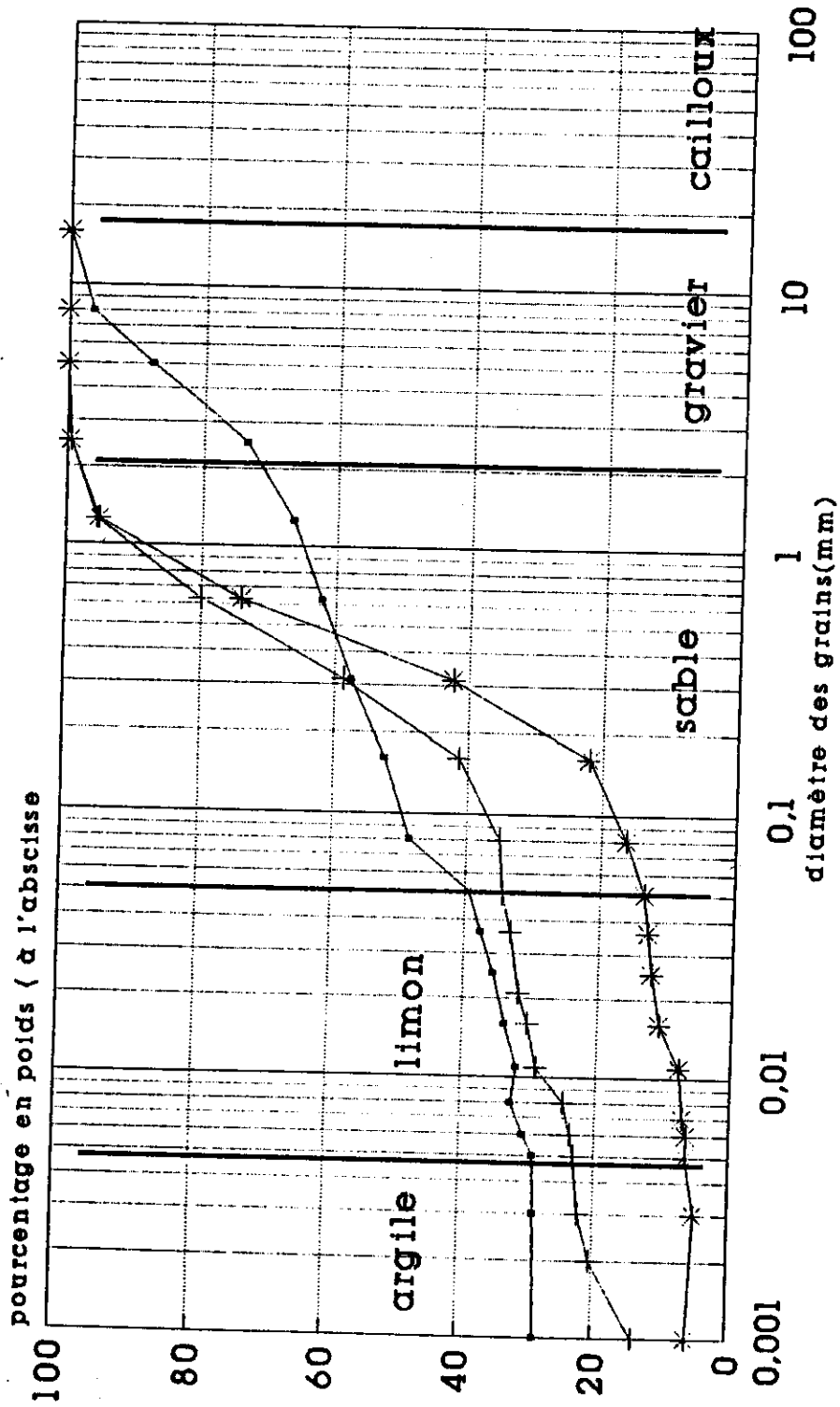
| Prof.(cm | Gravier | Sable | Limon | Argile |
|----------|---------|-------|-------|--------|
| 0 - 11 | | 46 | 28 | 26 |
| 25 - 33 | | 29 | 37 | 34 |
| 37 - 47 | | 32 | 24 | 44 |
| 64 - 74 | 4 | 59 | 11 | 26 |
| 80 - 90 | 6 | 55 | 19 | 20 |
| 102 -107 | 5 | 42 | 19 | 34 |
| 129 -138 | 10 | 35 | 19 | 36 |
| 197 -205 | 28 | 32 | 7 | 33 |
| 230 -238 | 30 | 32 | 8 | 30 |
| 282 -290 | 25 | 40 | 8 | 27 |
| 370 -380 | 2 | 64 | 11 | 23 |
| 520 -528 | 7 | 73 | 11 | 9 |
| 680 -688 | 3 | 84 | 7 | 6 |

SITE EXPERIMENTAL DE L'E.I.E.R.
COURBES GRANULOMETRIQUES



—●— PROF = 25-33cm —+— 80-90cm —*— 129-138

SITE EXPERIMENTAL DE L'E.I.E.R.
COURBES GRANULOMETRIQUES



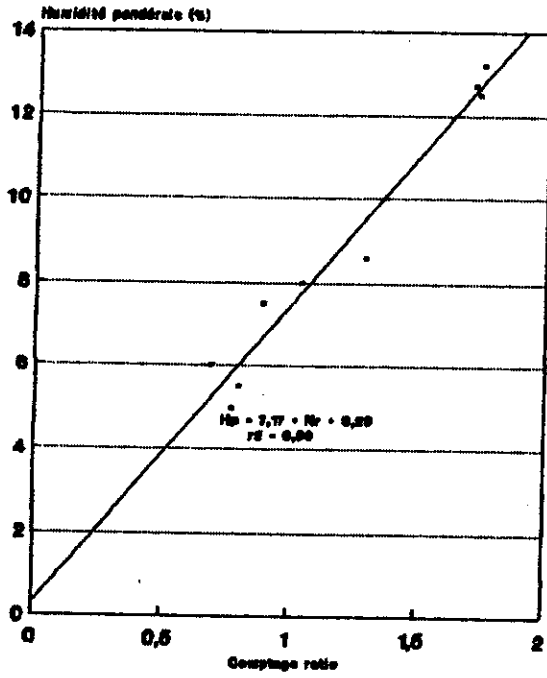
—•— PROF = 230 - 238 cm —*— 680 - 688

TABLEAU 2

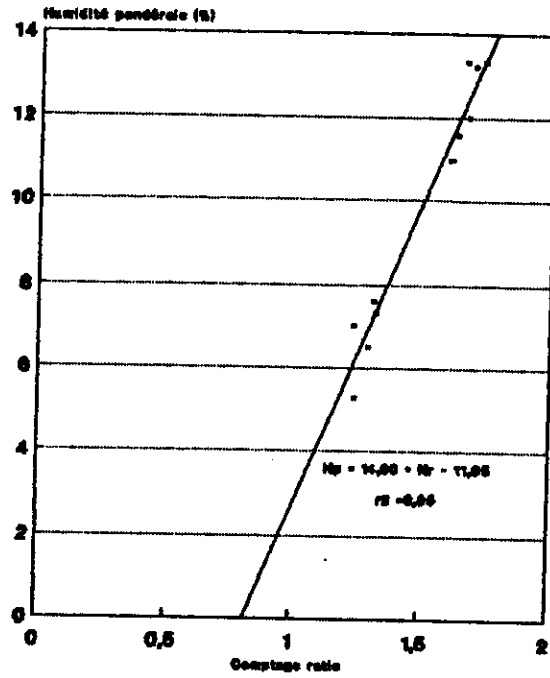
PROFILS DE DENSITE APPARENTE

| SOL EN PLACE | | LY.1 | | LY.2 | |
|--------------|------|----------|------|----------|------|
| prof.(m) | Da | prof.(m) | Da | prof.(m) | Da |
| 0,11 | 1,4 | 0,25 | 1,43 | 0,2 | 1,72 |
| 0,33 | 1,38 | 0,75 | 1,6 | 0,6 | 1,79 |
| 0,47 | 1,47 | 1,5 | 1,89 | 1,1 | 1,78 |
| 0,74 | 1,82 | 1,91 | 1,7 | 2,3 | 1,89 |
| 0,9 | 1,83 | 2,5 | 1,71 | 2,8 | 1,77 |
| 1,38 | 1,88 | 2,7 | 1,62 | 3,15 | 1,64 |
| 2,05 | 2,05 | 3,42 | 1,65 | 4,95 | 1,66 |
| 2,38 | 2 | 4 | 1,73 | 5,37 | 1,6 |
| 2,90 | 1,93 | 5,52 | 1,7 | 5,84 | 1,65 |
| 3,8 | 1,75 | 5 13 | 1,77 | 6,23 | 1,7 |
| 5,28 | 2,01 | 5,7 | 1,62 | | 1,71 |
| 6,88 | 1,55 | 6,15 | 1,74 | | |
| | | 6,5 | 1,6 | | |

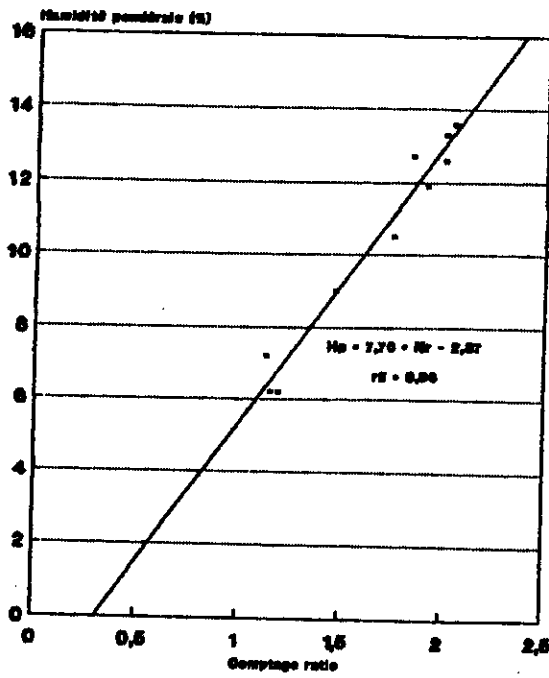
ETALONNAGE DE LA SONDE A NEUTRONS
COUCHE 1



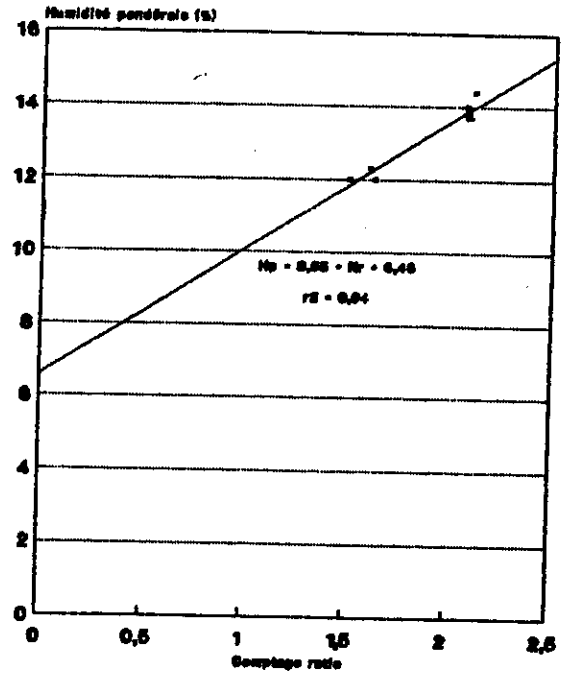
ETALONNAGE DE LA SONDE A NEUTRONS
COUCHE 2



ETALONNAGE DE LA SONDE A NEUTRONS
COUCHE 3



ETALONNAGE DE LA SONDE A NEUTRONS
COUCHE 4



ANNEXE 3

A-3-1 DEFINITION DE CERTAINS TERMES ET RELATIONS UTILISES

A - 3 - 1 - 1 DEFINITION DE θ , H

Les deux grandeurs intervenant dans le mécanisme de l'écoulement dans le sol:

- La teneur en eau (ou humidité) volumique θ

Elle est définie comme étant le volume d'eau présent dans un volume unitaire de sol.

La mesure des variations de θ détermine les quantités d'eau écoulées.

- Le potentiel de l'eau du sol : H

En fait ce potentiel est composé des termes potentiel gravitaire (z) et potentiel matriciel (h) .

• Le potentiel gravitaire de l'eau en chaque point du sol est déterminé par l'altitude Z. On le mesure en cm et est positif vers le bas .

• Le potentiel matriciel ou encore succion matricielle ou succion tout court , h (grandeur négative) représente l'action physique de la matrice solide sur l'eau du sol (absorption, capillarité) elle est liée à l'humidité volumique θ par une fonction $h(\theta)$ mesurée expérimentalement.

Elle définit l'énergie nécessaire pour amener un volume de sol à une certaine teneur en eau . Elle n'est pas univoque et dépend du sens de l'évolution des humidités, ce qui se traduit par une hystérèse. Elle s'exprime en cm comme Z d'où le potentiel de l'eau du sol ou potentiel total ou encore charge hydraulique totale H est égale à :

$$H = h - Z$$

Le potentiel H nous permet d'avoir une idée de la direction des flux hydriques.

En effet dans un sol en équilibre, H est partout le même. Toute variation de H entre deux points entraîne un écoulement de la zone où H est fort vers la zone où H est faible.

La force motrice de l'eau de l'écoulement est donc le gradient

de charge $\vec{\text{grad}} H$. La valeur des quantités s'écoulant entre deux points sous l'effet d'une différence de charge peut être connue à partir de la loi de DARCY généralisée aux écoulements non saturés :

$$q = -K(\vartheta) + \vec{\text{grad}} H \text{ où}$$

q est la vitesse de DARCY ou flux ($\text{mm} \times \text{j}^{-1}$)

$K(\vartheta)$ + la conductivité hydraulique (en $\text{mm} \text{ j}^{-1}$)

A - 3 - 1 - 2 Détermination de ϑ , S , h , H

Pour arriver à étudier les mécanismes de transferts, les mesures neutroniques ont été converties en humidité ϑ et les mesures tensiométriques en charge hydraulique totale H grâce aux relations suivantes.

a) Détermination de ϑ et de S

On sait que $H_p = ax \frac{N}{NS} + b$ où

NS

H_p = humidité pondérale

N = comptage lu

NS = comptage standard donné par l'étalonnage de la sonde

a et b sont les coefficients d'étalonnage.

$\vartheta = H_p \times d_a$ où d_a est la densité apparente du sol

à partir de ϑ on obtient S pour une profondeur Z_i par :

$$S_i = \sum \vartheta_i \times Z_i \quad i=0,1,2,\dots,n$$

b) Détermination de h et H

Lorsqu'on fait une lecture du tensiomètre en place, la valeur lue est $l = /h/ + C$ où C est la valeur lue quand le tensiomètre est verticale, plongée dans l'eau.

$$/h/ = l - C$$

$/H/ = /h/ + /Z/$ pour une profondeur Z en remplaçant $/h/$ par sa valeur on obtient :

$$/H/ = l - C + /Z/$$

$$H = l - C + Z$$

A- 3- 2 La méthode du plan de flux nul

Cette méthode détermine à partir des variations de stock d'eau dans la zone non saturée et de la position du plan de flux nul l'évaporation et l'infiltration .

Les mesures de teneur en eau permettent de déterminer le stock d'eau S de toute tranche de sol prise entre deux profondeurs Z_1 et Z_2

$$S = \int_{Z_1}^{Z_2} \theta dz$$

S a les dimensions d'une longueur, c'est à dire un volume par unité de surface.

Les mesures de tensiométrie permettent de suivre l'évolution du plan de flux nul (quand il existe) c'est-à-dire la cote où le potentiel est minimum. Soit $Z_0(t_1)$ et $Z_0(t_2)$ les cotes du plan de flux nul aux instants correspondants . On suppose qu'en moyenne le flux est nul durant l'intervalle de temps dt ($dt = t_2 - t_1$) à la cote Z_0 où

$$Z_0 = \frac{Z_0(t_1) - Z_0(t_2)}{2}$$

pendant cet intervalle de temps toute variation de stock entre Z_0 et la surface représente l'évaporation (flux ascendant) et toute variation de stocken dessous représente le drainage (flux descendant). On peut ainsi en discrétisant le temps choisir l'évaporation et les infiltrations cumulées .

soit $q(Z)$ le flux à la cote Z :

$$q(Z) = dS/dt$$

$K(\theta)$ est déterminée de la manière suivante:

$K(\theta)$ = conductivité hydraulique

Connaissant $q(Z)$, la valeur moyenne du gradient de potentiel dH/dZ pendant dt et la teneur en eau moyenne θ on détermine

$K(\theta)$ à partir de la loi de DARCY généralisée par :

$$q(z) = -K(\theta) \times dH/dz$$

$$K(\theta) = \frac{dS_z/dt}{dH/dt}$$

L'utilisation de cette procédure à différents instants et à différentes profondeurs abouti à la connaissance de la relation $K(\theta)$

pour l'ensemble du profil.

A - 3 - 3 La méthode du drainage interne

Un apport d'eau important (# 200 mm) précède la distribution de l'eau dans le profil .

Dès la disparition de la lame d'eau artificielle, la surface du sol est couverte pour éviter toute évaporation (et toute précipitation).

Les mesures de tensiométrie et neutrométrie permettent de suivre l'évolution des profils de charge et d'humidité.

entre deux instants t_1 et t_2 , le flux $q(z)$ passant à travers une section située à la profondeur Z s'écrit :

$$q(z) = (dS/dt) - q_0 \text{ avec}$$

$$q_0 = \text{flux à la surface}$$

dS = variation de stock entre t_1 et t_2 entre la profondeur Z et la surface.

$$dt = t_1 - t_2$$

comme on a $q_0 = 0$ (car évaporation nulle)

$$q(z) = dS / dt$$

$q(z)$ représente la vitesse de DARCY à $t = (t_1 - t_2)/2$

Pour éviter cette interpolation dans le temps, on peut calculer $q(z)$ à partir de la courbe de variation de stock entre la surface et Z .

La pente de cette courbe représentant directement le flux à cette profondeur : $q(z) = dS/dz$

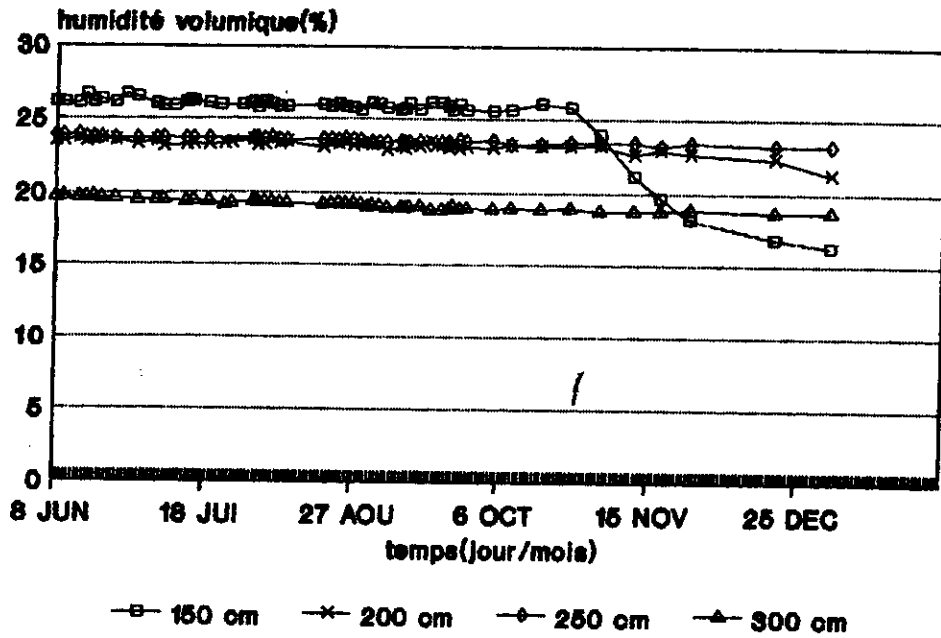
Si à cet instant , on connaît également le profil de charge $H(z, t)$, la pente donne dH/dz

La loi de DARCY généralisée permet d'en déduire la conductivité hydraulique K pour la profondeur Z et pour la teneur en eau mesurée à ce instant :

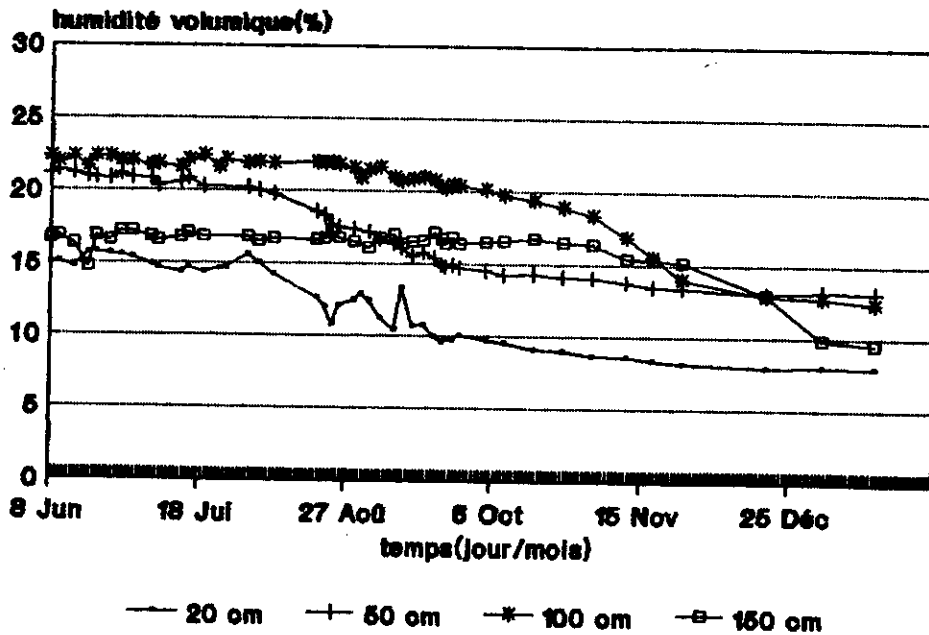
$$K(\theta) = - \frac{q(z)}{dH/d(z)}$$

En utilisant cette procédure à différents instants et à différentes profondeurs, on peut définir la relation pour l'ensemble du profil.

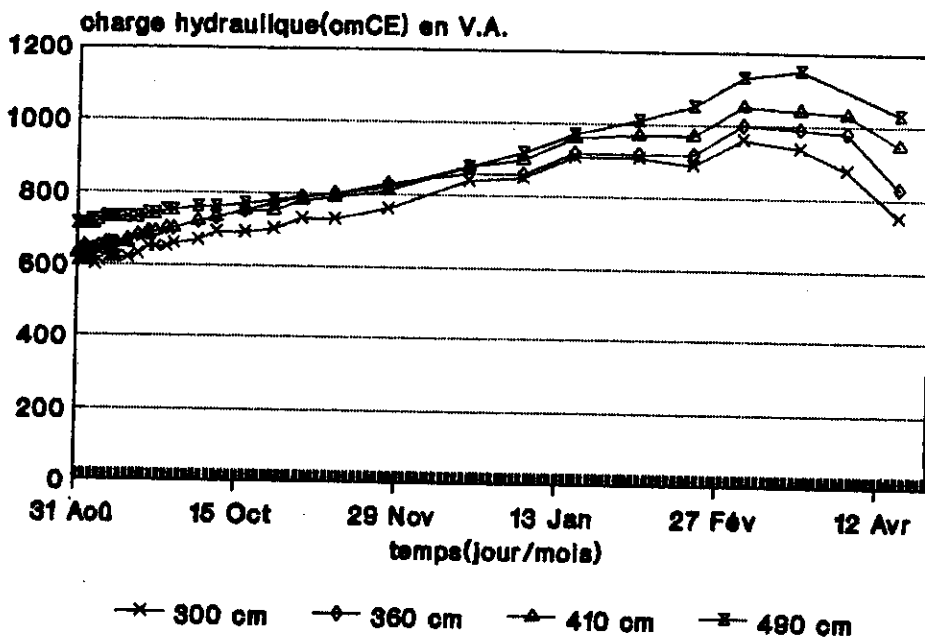
EVOLUTION DE L'HUMIDITE AVEC LE TEMPS
lysimètre 1



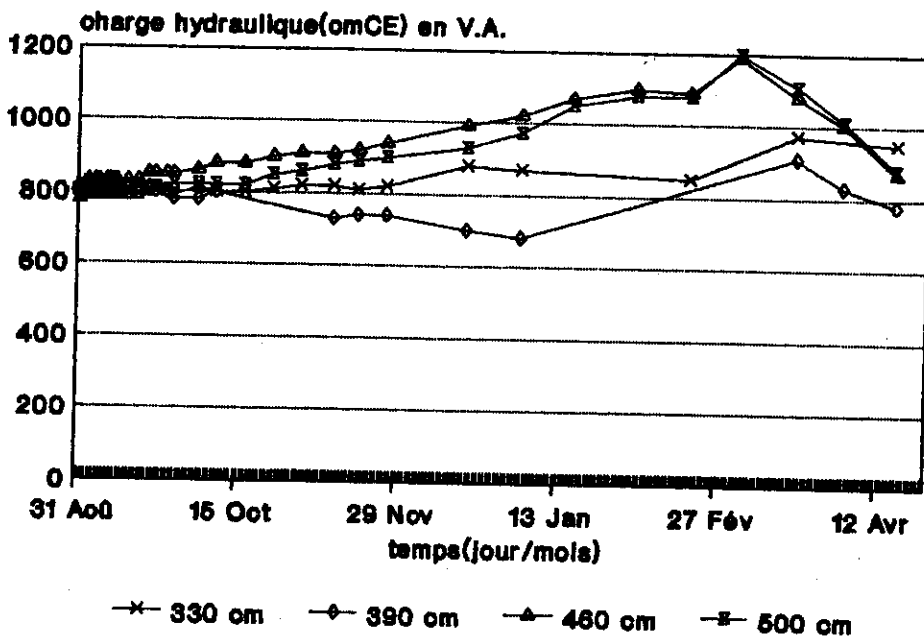
EVOLUTION DE L'HUMIDITE AVEC LE TEMPS
lysimètre 2



EVOLUTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE lysimètre 1



EVOLUTION DE LA CHARGE HYDRAULIQUE lysimètre 2



.YSIMETRE T A-3

0 - 20 cm

| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | P' (mm) |
|--------------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 08 / 06 / 90 au | -2,85 | 55 | 57,85 | 24,73 | 33,12 |
| 20 / 06 / 90 au | -0,78 | 31,8 | 32,58 | 6,31 | 26,27 |
| 30 / 06 / 90 au | -6,78 | 2,03 | 8,81 | 0 | 8,81 |
| 10 / 07 / 90 au | -4,26 | 83,3 | 87,56 | 16,85 | 70,71 |
| 22 / 07 / 90 au | -0,25 | 46,4 | 46,65 | 8,2 | 38,45 |
| 31 / 07 / 90 au | -2,49 | 80 | 82,49 | 32,50 | 49,99 |
| 10 / 08 / 90 au | -6,48 | 46,45 | 52,93 | 15,45 | 37,48 |
| 20 / 08 / 90 au | -4,71 | 87 | 91,71 | 33,50 | 58,21 |
| 30 / 08 / 90 au | -6,95 | 26,1 | 33,05 | 3,96 | 29,09 |
| 10 / 09 / 90 au | -16,54 | 106,1 | 122,64 | 32,42 | 90,22 |
| 17 / 10 / 90 au | -12,59 | 0 | 12,59 | 0 | 12,59 |
| 19 / 12 / 90 au | -4,44 | 0 | 4,44 | 0 | 4,44 |
| 04 / 02 / 91 au | -3,66 | 0 | 3,66 | 0 | 3,66 |
| 02 / 04 / 91 au | -0,19 | 30,3 | 30,49 | 18,18 | 12,31 |
| 17 / 04 / 91 au | -0,65 | 39,7 | 39,05 | 21,78 | 17,27 |

SIMETRE 2

0 - 20 cm

| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | P' (mm) |
|--------------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 08 / 06 / 90 au | 1,68 | 55 | 53,32 | 24,73 | 28,59 |
| 20 / 06 / 90 au | -0,82 | 31,8 | 32,62 | 6,31 | 26,31 |
| 30 / 06 / 90 au | -2,54 | 2,03 | 4,57 | 0 | 4,57 |
| 10 / 07 / 90 au | 0,61 | 83,3 | 82,69 | 16,85 | 65,84 |
| 22 / 07 / 90 au | 2,34 | 46,4 | 44,06 | 8,2 | 35,86 |
| 31 / 07 / 90 au | -0,35 | 80 | 80,35 | 32,50 | 47,85 |
| 10 / 08 / 90 au | -6,37 | 46,45 | 52,82 | 15,45 | 37,37 |
| 20 / 08 / 90 au | 1,96 | 87 | 85,04 | 33,50 | 51,54 |
| 30 / 08 / 90 au | -6,04 | 26,1 | 32,14 | 3,96 | 28,18 |
| 10 / 09 / 90 au | -2,12 | 106,1 | 108,22 | 32,42 | 75,8 |
| 17 / 10 / 90 au | -2,3 | 0 | 2,3 | 0 | 2,3 |
| 19 / 12 / 90 au | -0,93 | 0 | 0,93 | 0 | 0,93 |
| 04 / 02 / 91 au | -0,7 | 0 | 0,7 | 0 | 0,7 |
| 02 / 04 / 91 au | 2,66 | 30,3 | 27,64 | 18,18 | 9,46 |
| 17 / 04 / 91 au | -0,06 | 39,7 | 39,76 | 21,78 | 17,98 |

YSIMETRE 2

0 - 100 cm

| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | P' (mm) |
|--------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 08 / 06 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 20 / 06 / 90 | 0,88 | 55 | 54,12 | 24,73 | 29,39 |
| 20 / 06 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 30 / 06 / 90 | -1,8 | 31,8 | 33,6 | 6,31 | 27,29 |
| 30 / 06 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 07 / 90 | -3,43 | 2,03 | 5,46 | 0 | 5,46 |
| 10 / 07 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 22 / 07 / 90 | -2,08 | 83,3 | 85,38 | 16,85 | 68,53 |
| 22 / 07 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 31 / 07 / 90 | 2,29 | 46,4 | 44,11 | 8,2 | 35,91 |
| 31 / 07 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 08 / 90 | -3,74 | 80 | 83,74 | 32,50 | 51,24 |
| 10 / 08 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 20 / 08 / 90 | -14,33 | 46,45 | 60,78 | 15,45 | 45,33 |
| 20 / 08 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 30 / 08 / 90 | -6,86 | 87 | 93,86 | 33,50 | 60,36 |
| 30 / 08 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 09 / 90 | -12,54 | 26,1 | 38,64 | 3,96 | 34,68 |
| 10 / 09 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 17 / 10 / 90 | -23,83 | 106,1 | 129,93 | 32,42 | 97,51 |
| 17 / 10 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 19 / 12 / 90 | -31,6 | 0 | 31,6 | 0 | 31,6 |
| 19 / 12 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 04 / 02 / 91 | -4,54 | 0 | 4,54 | 0 | 4,54 |
| 04 / 02 / 91 | | | | | |
| au | | | | | |
| 02 / 04 / 91 | -4,1 | 0 | 4,1 | 0 | 4,1 |
| 02 / 04 / 91 | | | | | |
| au | | | | | |
| 17 / 04 / 91 | +7,65 | 30,3 | 22,65 | 18,18 | 4,47 |
| 17 / 04 / 9 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 05 / 91 | -4,07 | 39,7 | 43,77 | 21,78 | 21,99 |

LYSIMETRE 2

0 - 200 cm

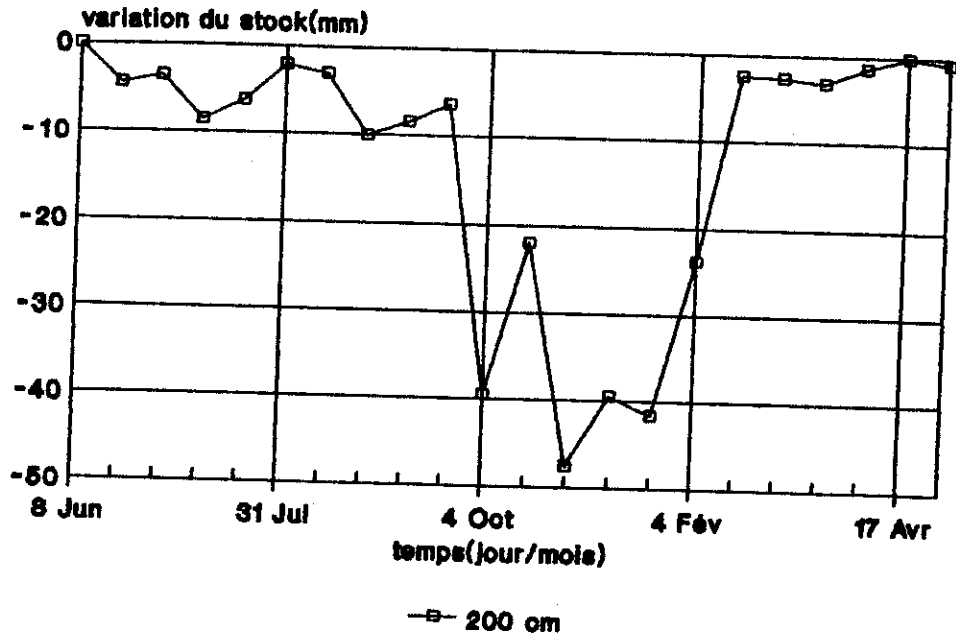
| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | P' (mm) |
|--------------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 08 / 06 / 90 au | 2,96 | 55 | 52,04 | 24,73 | 27,31 |
| 20 / 06 / 90 au | -1,31 | 31,8 | 33,11 | 6,31 | 26,8 |
| 30 / 06 / 90 au | -2,22 | 2,03 | 4,25 | 0 | 4,25 |
| 10 / 07 / 90 au | -2,40 | 83,3 | 85,7 | 16,85 | 68,85 |
| 22 / 07 / 90 au | 8,38 | 46,4 | 38,02 | 8,2 | 29,82 |
| 31 / 07 / 90 au | -10,44 | 80 | 90,44 | 32,50 | 57,94 |
| 10 / 08 / 90 au | -14,66 | 46,45 | 61,11 | 15,45 | 45,66 |
| 20 / 08 / 90 au | -6,53 | 87 | 93,59 | 33,50 | 60,03 |
| 30 / 08 / 90 au | -11,24 | 26,1 | 37,34 | 3,96 | 33,38 |
| 10 / 09 / 90 au | -29,41 | 106,1 | 135,51 | 32,42 | 103,09 |
| 17 / 10 / 90 au | -68,38 | 0 | 68,38 | 0 | 68,38 |
| 19 / 12 / 90 au | -34,63 | 0 | 34,63 | 0 | 34,63 |
| 04 / 02 / 91 au | -7,73 | 0 | 7,73 | 0 | 7,73 |
| 02 / 04 / 91 au | 8,45 | 30,3 | 21,85 | 18,18 | 3,67 |
| 17 / 04 / 91 au | -4,95 | 39,7 | 44,66 | 21,78 | 22,88 |
| 10 / 05 / 91 | | | | | |

LYSIMETRE 1

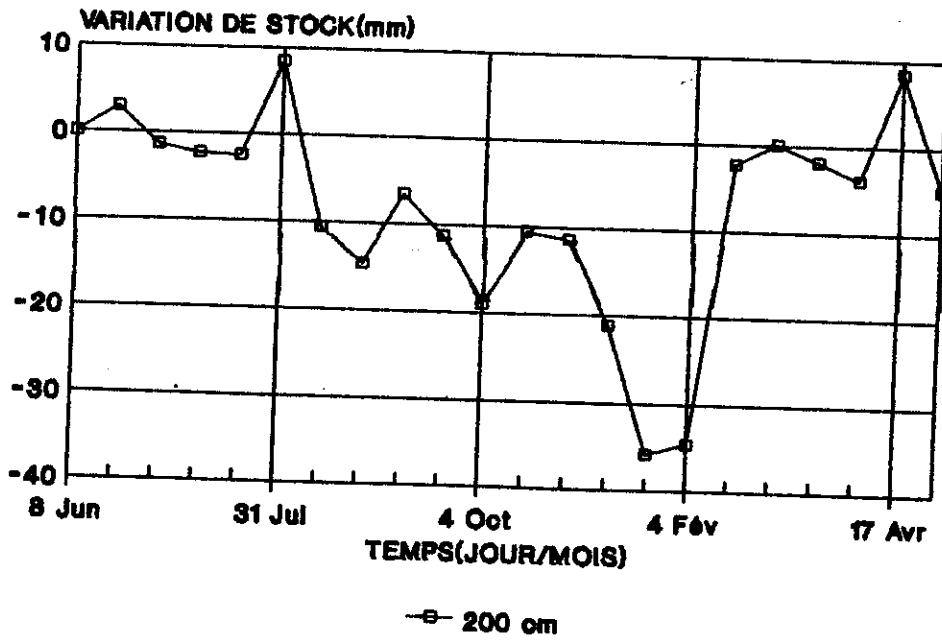
0 - 200 cm

| DATES | ΔS (mm) | PL (mm) | P (mm) | R (mm) | P' (mm) |
|--------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 08 / 06 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 20 / 06 / 90 | -4,37 | 55 | 59,37 | 24,73 | 34,64 |
| 20 / 06 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 30 / 06 / 90 | -3,59 | 31,8 | 35,39 | 6,31 | 29,08 |
| 30 / 06 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 07 / 90 | -8,54 | 2,03 | 10,57 | 0 | 10,57 |
| 10 / 07 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 22 / 07 / 90 | -6,23 | 83,3 | 89,53 | 16,85 | 72,68 |
| 22 / 07 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 31 / 07 / 90 | -2,06 | 46,4 | 48,46 | 8,2 | 40,26 |
| 31 / 07 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 08 / 90 | -3,03 | 80 | 83,03 | 32,50 | 50,53 |
| 10 / 08 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 20 / 08 / 90 | -10,07 | 46,45 | 56,52 | 15,45 | 41,07 |
| 20 / 08 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 30 / 08 / 90 | -8,43 | 87 | 95,43 | 33,50 | 61,93 |
| 30 / 08 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 09 / 90 | -6,34 | 26,1 | 32,64 | 3,96 | 28,68 |
| 10 / 09 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 17 / 10 / 90 | -61,43 | 106,1 | 167,53 | 32,42 | 135,11 |
| 17 / 10 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 19 / 12 / 90 | -128,71 | 0 | 128,71 | 0 | 128,71 |
| 19 / 12 / 90 | | | | | |
| au | | | | | |
| 04 / 02 / 91 | -23,79 | 0 | 23,79 | 0 | 23,79 |
| 04 / 02 / 91 | | | | | |
| au | | | | | |
| 02 / 04 / 91 | -9,53 | 0 | 9,53 | 0 | 9,53 |
| 02 / 04 / 91 | | | | | |
| au | | | | | |
| 17 / 04 / 91 | -0,15 | 30,3 | 30,45 | 18,18 | 12,27 |
| 17 / 04 / 91 | | | | | |
| au | | | | | |
| 17 / 04 / 91 | | | | | |
| au | | | | | |
| 10 / 05 / 91 | -0,79 | 39,7 | 40,49 | 21,78 | 18,71 |

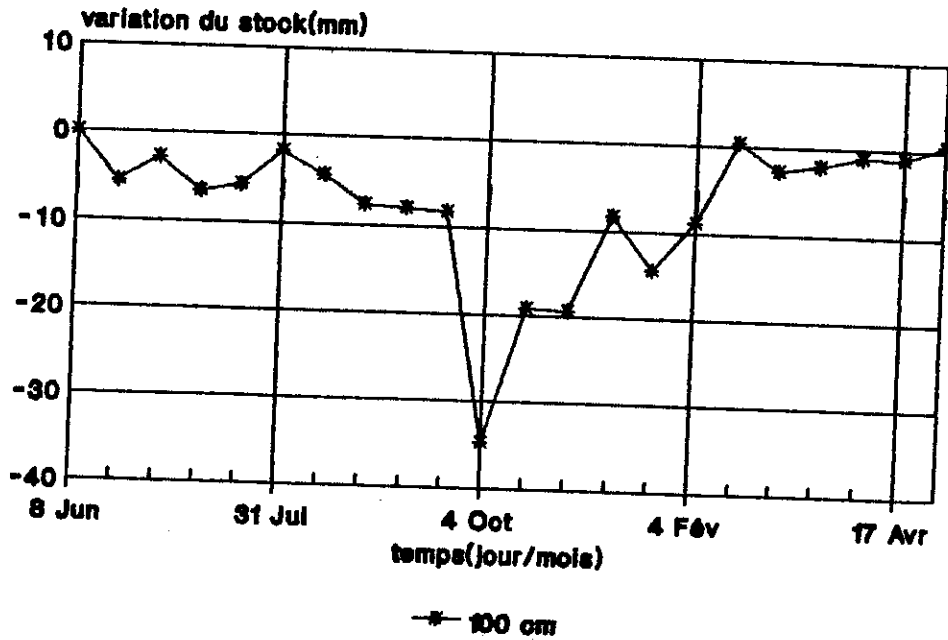
VARIATION DU STOCK D'EAU lysimètre 1



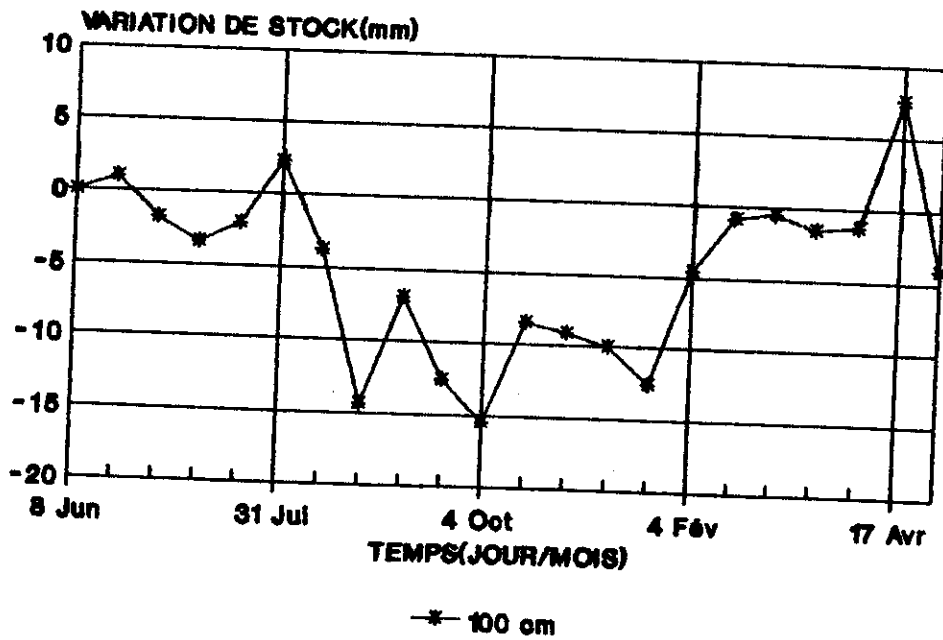
VARIATION DU STOCK D'EAU lysimètre 2



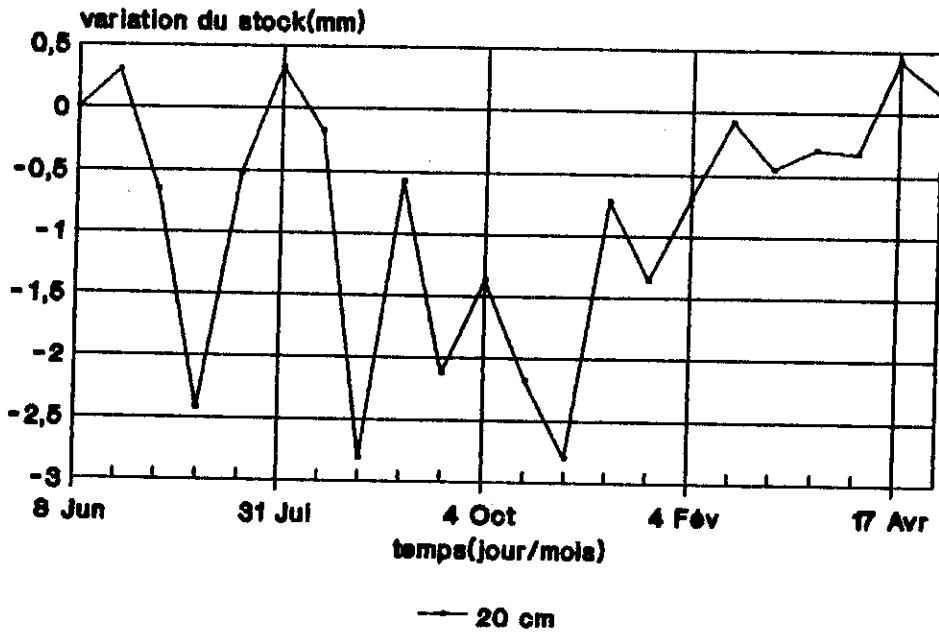
VARIATION DU STOCK D'EAU lysimètre 1



VARIATION DU STOCK D'EAU lysimètre 2



VARIATION DU STOCK D'EAU
lysimètre 1



VARIATION DU STOCK D'EAU
lysimètre 2

