

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
PROJET D'AMELIORATION DES TECHNIQUES
D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE
PROJET FONDS SPECIAL DES NATIONS UNIES
LABORATOIRE DE PHYSIQUE DU SOL
REMARQUES SUR LA CIRCULATION DE L'EAU
NON SATURANTE DANS LES SOLS DE CHERFECH

REMARQUES SUR LA CIRCULATION DE L'EAU NON SATURANTE DANS
LES SOLS DE CHERFECH

S O M M A I R E

- Introduction
- Matériel et Méthodes
- Résultats :
 - 1) Vitesse d'ascension capillaire
 - 2) Humidité au départ de l'expérience
 - 3) Dessiccation en l'absence de nappe
 - 4) Dessiccation en présence d'une "nappe phréatique"
 - 5) Vitesse d'évaporation
- Conclusion
- Annexes • 10 graphiques

Plusieurs faits d'observation ont conduit à avancer l'hypothèse d'une aptitude médiocre des sols de Cherfech à céder leur eau aux végétaux cultivés. Parmi les arguments étayant cette hypothèse, on peut citer les suivants :

- existence en période de pointe de la consommation d'eau des végétaux, d'une différence sensible de l'évapotranspiration réelle mesurée sur bacs lysimétriques et en plein champ. Cette différence est attribuée à une meilleure structure du sol remanié des lysimètres.
- profondeur faible de la zone de battement des profils hydriques : au-dessous de 60 à 80 cm de profondeur, l'amplitude des variations du taux d'humidité du sol demeure faible au cours d'un cycle complet d'irrigation.
- mise en évidence grâce aux courbes pF/Humidité d'une macroporosité extrêmement restreinte dans les horizons 40-80 cm.
- dessèchement poussé des cinq centimètres superficiels du sol, alors que le sol demeure humide au-dessous de 5 cm, au point de contrarier fréquemment l'exécution des façons aratoires.

Toutefois, aucun de ces arguments ne suffit à lui seul à justifier l'hypothèse proposée : l'amplitude négligeable des variations d'humidité en profondeur pourrait être imputée soit à un mauvais enracinement des cultures dû à un facteur physique ou chimique quelconque, soit à la fréquence des irrigations; la macroporosité faible de certains horizons profonds peut être entachée d'une erreur de mesure due aux techniques utilisées, car elle semble contredite par les observations de terrain sur la rapidité de déclanchement du drainage après irrigation; enfin l'existence d'une zone fortement desséchée sur 5 cm peut avoir d'autres causes qu'une faible conductibilité capillaire.

Il a donc paru intéressant de rechercher d'autres méthodes de mise en évidence de cette faible conductibilité. Ce rapport expose les résultats d'une expérience de laboratoire qui pourrait étayer l'hypothèse envisagée.

MATERIEL ET METHODES

Le principe de cette expérience était de tenter de préciser les modalités de dessèchement d'un échantillon de sol de Cherfech. Cet échantillon se présente sous la forme de colonnes de terre homogène et humide de 20 cm de hauteur et de 8 cm² de section.

Pour réaliser de telles colonnes de terre, on disposait de tubes cylindriques en matière plastique transparente, de 32 mm de diamètre intérieur, longs de 20 cm, sciés dans le sens de la longueur selon 2 génératrices diamétralement opposées du cylindre, les 2 moitiés de tube étant ensuite réajustées et maintenues par du ruban adhésif. La base du tube est garnie d'un fragment de tissu à mailles de 1 mm. Ces colonnes sont remplies de terre sèche, tamisée à 2 mm. Pour assurer un remplissage aussi homogène que possible, on effectue des apports successifs de 5 à 10 grammes, en tassant la terre par percussion du tube entre 2 apports successifs.

L'échantillon de terre utilisé provient d'un horizon de surface 0-20 cm prélevé sur la station. Le processus de remplissage a permis d'utiliser pour chaque tube un poids de terre de 220 grammes, ce qui correspond à une densité apparente de 1,45, voisine de celle observée sur le terrain. 16 tubes identiques ont été ainsi réalisés. L'échantillon de terre de départ (4 Kg) avait été préalablement divisé en 16 fractions identiques grâce à un partiteur.

L'humidification de la terre a été réalisée par trempage de l'extrémité inférieure des tubes dans un récipient contenant de l'eau, jusqu'à ce que l'humidification du sol (visible grâce à la transparence des tubes) atteigne la surface des échantillons. La durée de cette imbibition a été de 4 semaines. Une expérience antérieure sur colonne de 40 cm avait permis de déterminer au préalable cette durée d'humectation.

Les tubes ainsi imbibés sont alors laissés à l'atmosphère du laboratoire, où ils se dessèchent progressivement. On a réalisé 2 traitements différents :

- 1) Sur les 8 premières colonnes, dessèchement en maintenant la base de la colonne (sur 1 cm) dans l'eau (traitement avec "nappe").
- 2) Sur les 8 autres colonnes, dessèchement de celles-ci retirées de l'eau, leur base étant obturée hermétiquement par une feuille de caoutchouc (sans "nappe").

Pour chacun de ces 2 traitements, les colonnes ont été ouvertes successivement à des temps croissants, en dissociant les 2 moitiés de tube, et les colonnes fractionnées par tranche de 1 cm pour en dresser le profil hydrique par points. Les temps d'ouverture, correspondant donc aux durées de dessiccation des colonnes, ont été les suivants pour les 2 traitements : 0, 1, 2, 4, 6, 14, 21 et 29 jours.

On dispose donc en définitive de 8 profils hydriques successifs en cours de dessèchement (par tranche de 1 cm sur 20 cm de hauteur), et ceci en absence ou en présence d'une "nappe" artificielle maintenue à 19 cm de la surface évaporante.

En cours d'expérience, les colonnes de terre ont été pesées régulièrement. Ceci ne posait pas de problème dans le cas du traitement "sans nappe phréatique". Par contre, dans le cas du traitement "avec nappe phréatique", chaque colonne plongeait sur 1 cm dans un béccher contenant de l'eau recouverte d'une pellicule d'huile pour éviter l'évaporation de la surface d'eau libre. Après chaque pesée, le niveau de l'eau dans le béccher était rétabli par apport d'eau à la seringue sous la pellicule d'huile.

Pour avoir un terme de comparaison, une expérience identique a été réalisée sur un sol témoin : on a choisi arbitrairement un horizon de surface (sablo-argileux) d'un sol brun calcaire de la région parisienne, de structure moyennement stable. La seule différence dans l'expérimentation a porté sur la longueur de la colonne de terre (30 cm pour le sol témoin, au lieu de 20 cm sur le sol de Cherfech).

RESULTATS

1) Vitesse d'humectation des colonnes de terre

Pour les 2 sols étudiés, l'évolution de la remontée, plus rapide au début de l'expérience, diminue par la suite; mais la figure 1 met en évidence une différence fondamentale de comportement entre les 2 sols étudiés : dans les premières 24 heures, la hauteur d'ascension capillaire, qui atteint 23 cm dans le sol témoin, ne dépasse pas 3 cm dans le sol de Cherfech. Par la suite, les différences s'atténuent puisque, après une quinzaine de jours, les vitesses d'ascension capillaires sont dans les 2 cas de l'ordre de 0,5 cm/jour.

Il s'avère donc que, dans le dispositif ainsi réalisé, la macroporosité de l'échantillon de Cherfech est faible, alors qu'elle est élevée dans le sol témoin, puisque la rapidité de l'ascension capillaire aux premiers stades d'humectation est directement fonction de cette macroporosité, les pores les plus gros s'emplantant les premiers.

A titre d'exemple, figure également sur le graphique la courbe d'ascension capillaire d'un sol très différent des 2 précédents, puisqu'il s'agit d'un sol ferrallitique de République Centrafricaine, dont la vitesse d'humectation est plus rapide encore que celle du sol témoin.

On peut toutefois déduire de conclusions certaines de cette expérience, dont les résultats peuvent être entachés d'une erreur due à l'utilisation de terre tamisée dans les échantillons étudiés.

2) Humidité du sol au départ de l'expérience

Après trempage de 4 semaines environ, le profil hydrique des colonnes de terre est assez caractéristique.

a) Cherfech

Sur les 7 à 8 cm supérieurs de la colonne de terre, l'humidité est pratiquement constante, et très proche de 30 % en poids ($\pm 0,5$ %). Elle s'accroît ensuite sur 3 à 4 cm pour atteindre 34 %, valeur à laquelle elle se stabilise jusqu'à la base de la colonne. On notera que, sur le terrain, la capacité au champ mesurée en période hivernale sur l'horizon étudié se situait à 29 % environ, la saturation en eau au voisinage de 31 %, et le taux d'humidité à pF 4,2 à 18-19 %.

b) Sol témoin

Sur une colonne de 30 cm de haut, le taux d'humidité s'établit après trempage entre 20 et 22 % dans les 5 à 6 cm supérieurs de la colonne, puis il augmente régulièrement pour atteindre environ 44 % à la base de la colonne. La capacité au champ mesurée sur le terrain s'établit à 18-19 %, alors que la teneur en eau à pF 4,2 est de 9-10 %.

Les 2 sols présentent donc des caractéristiques hydriques différentes, mais on observe que le dispositif réalisé conduit dans les 2 cas à l'obtention, dans la partie supérieure de la colonne de terre, d'un taux d'humidité très voisin de la capacité au champ.

3) Dessiccation en l'absence de nappe

a) Cherfech

Le graphique 2 représente les divers profils hydriques obtenus après des temps croissants de dessèchement des colonnes de terre. On observe un dessèchement progressif qui, pendant les 2 premiers jours, n'affecte pratiquement que la partie supérieure de la colonne de terre, puis s'étend ensuite à la totalité de cette colonne. Les profils se décalent alors plus ou moins parallèlement à eux mêmes, comme il était prévisible. Mais on peut faire les observations suivantes :

- il suffit de 36 heures environ pour que la couche 0-1 cm atteigne le point de flétrissement. Après 14 jours d'expérience, le taux d'humidité de cette couche n'est plus que de 5 %, et il ne varie plus de façon sensible pendant la seconde quinzaine.

- à la fin de l'expérience, le sol se trouve à une humidité inférieure au point de flétrissement sur les 7 cm supérieurs de la colonne de terre.

- 7 jours après le début de l'expérience, les 8 centimètres inférieurs de la colonne sont encore à une humidité égale ou supérieure à la capacité au champ et pratiquement uniforme. Après 29 jours de dessiccation, la base de la colonne de terre est encore à 26 % d'humidité, soit 2 % seulement au-dessous de la capacité au champ.

- le gradient d'humidité dans la colonne de terre entre 7 et 19 cm de profondeur est assez constant entre le 4^o et le 29^o jour. Ce gradient est voisin de 0,66 % d'eau par cm.

- ces observations se résument dans le graphique 3, qui fait apparaître le dessèchement initial très rapide des 3 premiers centimètres de la colonne de terre, suivi d'un ressuyage lent, alors que, plus profondément, seul apparaît le ressuyage lent. Le fort gradient d'humidité consécutif à ce phénomène se traduit sur ce graphique par l'étalement de la gamme des humidités au 29^e jour de l'expérience.

b) Sol témoin

Les résultats obtenus figurent sur le graphique 4. Par comparaison avec le sol de Cherfech, on peut faire les observations suivantes :

- Pendant les premières 48 heures de l'expérience, on note non seulement un dessèchement des 2 à 3 cm supérieurs de la colonne de terre, mais aussi un net abaissement du taux d'humidité sur toute la hauteur de la colonne de terre. En valeur absolue, l'abaissement du taux d'humidité est maximum vers la base de la colonne de terre.

- Par la suite, au-dessous de la profondeur 6 cm environ, les profils hydriques se décalent progressivement vers les faibles humidités, mais l'amplitude du décalage augmente avec la profondeur, de sorte que la partie basse de ces profils (entre 6 et 28 cm de profondeur) se rapproche de plus en plus de la verticale.

- Comme pour le sol de Cherfech, le point de flétrissement dans la couche 0-1 cm est atteint en 36 heures environ, alors que le taux d'humidité final est voisin de 2 %.

- A la fin de l'expérience, le point de flétrissement est atteint sur 5 cm d'épaisseur environ.

- Après 7 jours d'expérience, la quasi totalité de la colonne de terre, exception faite des 4 cm supérieurs, se situe encore au voisinage de la capacité au champ.

- A la fin de l'expérience, la base de la colonne de terre contient encore 17 % d'eau, soit 1 à 2 % de moins que la capacité au champ. En outre, vers 6-7 cm de profondeur, le taux d'humidité est encore de 14 %, donc inférieur de 4 à 5 % seulement à cette capacité au champ.

- Comme conséquence de ces remarques, le gradient d'humidité dans la colonne de terre, au-dessous de 6 cm de profondeur, et pendant la 2^o quinzaine de l'expérience, atteint des valeurs très faibles, de l'ordre de 0,1 % d'eau par centimètre.

- Ces observations se résument dans le graphique 5, qui fait apparaître l'existence d'un stade de dessèchement initial rapide à toutes les profondeurs, et non plus seulement dans les quelques centimètres supérieurs, et un faible gradient d'humidité au-dessous de 8-10 cm, concrétisé par le resserrement de la gamme des humidités à partir du 7^o jour de l'expérience.

En conclusion, les mesures de dessiccation en l'absence de "nappe phréatique" ont mis en évidence :

- d'une part, une absence du stade de dessèchement initial rapide des couches profondes de la colonne de terre de Cherfech
- d'autre part, et corrélativement, l'existence au second stade de l'expérience d'un fort gradient, non observé dans le sol témoin. Le contact entre zone profonde encore humide et couche desséchée se situe au voisinage du point de flétrissement dans le sol de Cherfech, alors que le raccordement entre couche sèche et couche humide du sol témoin se situe à un taux d'humidité intermédiaire entre pF 4,2 et la capacité au champ.

Ces remarques militent en faveur de l'hypothèse envisagée : l'eau présente à la base de la colonne de sol témoin en début d'expérience est facilement mobilisée sous l'effet de l'évaporation, ceci d'autant plus que le taux d'humidité est plus élevé, et quelle que soit la distance à la surface évaporante (dans la gamme 0-30 cm). Par contre dans le sol de Cherfech, tout se passe comme si l'eau retenue en profondeur entre la capacité au champ et la saturation ne pouvait migrer que sous l'effet d'un fort gradient d'humidité et trop lentement pour alimenter les couches sub-superficielles. La conductibilité serait donc nettement plus faible.

4) Dessiccation en présence d'une "nappe phréatique"

a) Cherfech

La comparaison des graphiques 2 et 6 fait apparaître immédiatement les différences d'évolution des profils hydriques liées au maintien d'un plan d'eau à la base de la colonne de terre. Le graphique 6 peut se résumer ainsi :

- Le phénomène de dessèchement n'intéresse pratiquement que les 7 à 8 cm supérieurs de la colonne de terre, tous les profils hydriques étant pratiquement confondus, aux erreurs d'expérience près, au-dessous de cette profondeur pendant toute la durée de l'expérience.

- Par ailleurs, les modifications qui interviennent dans les 7 à 8 cm supérieurs de la colonne de terre, se situent au cours de la première moitié de l'expérience : les profils obtenus à partir du 14^o jour sont pratiquement confondus sur toute la hauteur de la colonne. Un régime d'équilibre est donc établi à ce moment entre la vitesse d'évaporation en surface de la colonne et les remontées capillaires.

- On remarque au passage que le point "charnière" autour duquel pivote la partie supérieure des profils hydrique pendant les 14 premiers jours de la dessiccation correspond à une teneur en eau de 29-30 %, très voisine de la capacité au champ, mais aussi au point à partir duquel le profil hydrique initial commence à s'écarter de la capacité au champ pour se rapprocher de la saturation.

- Enfin, le taux d'humidité obtenu au maximum de dessèchement du niveau superficiel 0-1 cm se situe à 7-8 %.

- Nous signalerons encore que l'étude du gradient d'humidité dans le cas du traitement avec "nappe phréatique" ne semblait pas possible, compte tenu des conditions de l'expérience. Pour tenter de le préciser et de le comparer à celui obtenu dans le traitement sans "nappe", nous avons réalisé une expérience particulière, conçue selon le même principe, mais au moyen d'une colonne de 80 cm de terre, avec "nappe phréatique" à 75 cm ce qui ménageait une hauteur de terre suffisante pour définir ce gradient. A l'issue d'une période d'évaporation de 3 mois, la colonne de terre a été ouverte pour établir le profil hydrique sur toute la hauteur par tranches de 2 cm. On obtient alors un profil pratiquement rectiligne entre 0 et 50 cm de profondeur, le taux d'humidité croissant régulièrement de 4 % en surface à 31 % à 50 cm : le gradient est donc dans ce cas de 0,54 % d'eau par centimètre, donc comparable à celui obtenu dans l'expérience de dessiccation sans "nappe".

b) Sol témoin

Les résultats figurent sur le graphique 7. La comparaison avec le sol de Cherfech (graphique 6) permet de faire les remarques suivantes :

- Seuls les 3 centimètres supérieurs de la colonne de terre sont l'objet d'un assèchement appréciable :

- L'amplitude de cet assèchement ne prend une certaine importance que dans la couche 0-1 cm.

- Dans cette couche, le taux d'humidité minimum, atteint après 13 jours d'expérience est de 8-9 %, donc à peine inférieur au point de flétrissement.

Il ressort de ces observations que les remarques faites à propos de la dessiccation en absence de "nappe phréatique" sont confirmées : la grande mobilité de l'eau des couches profondes de la colonne de terre témoin est telle que la dessiccation se limite à une pellicule d'un centimètre d'épaisseur, le reste de cette colonne demeurant à un taux d'humidité égal ou supérieur à la capacité au champ. Par contre, dans les sols de Cherfech, la disponibilité de l'eau de profondeur est insuffisante, et les couches supérieures se dessèchent, bien au-dessous du point de flétrissement, jusqu'à ce qu'un point d'équilibre soit atteint entre la conductibilité du sol et l'évaporation.

5) Vitesse d'évaporation

La connaissance du poids des colonnes de terre en présence d'une "nappe" pendant toute la durée de l'expérience permet d'établir la courbe de la perte d'eau cumulée en fonction du temps (graphique 8). Cette courbe présente l'allure d'une branche d'hyperbole, qui traduit la décroissance progressive de l'évaporation journalière dans un premier stade, suivie d'une période à débit pratiquement constant dans la seconde moitié de l'expérience). Cette courbe permet donc de calculer le débit d'évaporation et son évolution dans le temps.

Ce calcul appliqué aux différents tubes, conduit aux résultats suivants :

Evaporation moyenne journalière (en mm d'eau par 24 heures)	
Pendant la 1ère journée d'expérience	6,3 à 7,5 mm
" 2ème " "	3,1 à 4,0 mm
Entre le 2ème et le 7ème jour	2,6 à 3,2 mm
" 14ème et le 29ème "	1,8 à 2,0 mm

Ces chiffres peuvent être rapprochés des taux d'humidité moyens de la surface du sol pendant la période considérée. On obtient alors le graphique 9, qui met bien en évidence la relation entre l'intensité de l'évaporation (dans des conditions expérimentales déterminées) et le degré de dessèchement de la pellicule superficielle du sol. Cet effet de mulch naturel paraît très important.

A titre de comparaison, le même calcul, appliqué au sol témoin a conduit à des résultats différents :

Evaporation moyenne journalière (en mm d'eau par 24 heures)	
Pendant la 1ère journée d'expérience	7,5 à 12,5 mm
" 2ème " "	7 à 13 mm
Du 2ème au 6ème jour	6,1 à 7,8 mm
" 8ème au 13ème "	3,9 mm

Ces chiffres sont nettement plus élevés que ceux du sol de Cherfech, encore que, rappelons-le, la profondeur de la nappe artificielle soit plus grande (28 cm contre 19).

Une colonne de sol réalisée avec le sol sableux de Ksar Ghériss dans laquelle on maintenait une nappe à 25 cm a conduit à trouver une évaporation de 4,1 mm/jour entre le 14ème et le 60ème jour de l'expérience.

Compte tenu des conditions expérimentales particulières, il semble difficile d'aller plus loin dans les conclusions. Les chiffres obtenus ne peuvent être transposés aux expériences de terrain : la surface d'évaporation est faible (8 cm²) l'intensité d'évaporation est celle réalisée dans les conditions naturelles d'un laboratoire, la colonne de terre est reconstituée à partir de terre fine séchée à l'air, la nappe artificielle était maintenue à 19 cm pour le sol de Cherfech, à 29 cm pour le sol témoin. On constate cependant que les résultats paraissent cohérents et qu'ils vont dans le sens de l'hypothèse de départ.

CONCLUSIONS

Dans des conditions expérimentales bien déterminées, et qui s'écartent très sensiblement de celles rencontrées dans la nature, il a été possible de mettre en évidence un comportement particulier de l'échantillon de sol de Cherfech. Par comparaison avec un sol témoin arbitraire, on a pu montrer la difficulté de circulation de l'eau des zones humides vers les zones sèches : faible vitesse d'ascension capillaire, fort gradient d'humidité après une période de dessèchement de l'ordre de 7 jours, forte réduction de l'évaporation parallèlement à la dessiccation de la pellicule superficielle du sol. Tous ces éléments, qui n'ont pas valeur de preuve, concourent cependant à mettre en évidence une très faible vitesse de circulation de l'eau non saturante, même sous l'action d'un gradient élevé de teneur en eau et de potentiel capillaire.

A titre de comparaison avec ce qui se passe réellement sur le terrain, nous avons représenté sur le graphique 10 un profil hydrique déterminé sur le sol en place, en été (Août 1967) et dans une parcelle non irriguée qui traduit donc un état de dessiccation poussé des sols de Cherfech. Comme éléments de référence figurent sur le même graphique :

- a) le profil hydrique correspondant à la capacité au champ (prélèvement d'hiver lorsque les drains cessent de couler).
- b) un profil hydrique relevé immédiatement avant une irrigation (Juin 1966).
- c) le profil des teneurs en eau à pF 4,2.

Sur la parcelle en question, le niveau de la nappe se situe entre 160 et 200 cm. On observe bien le fort dessèchement du sol sur les 50 cm supérieurs du sol et le très fort gradient d'humidité à ce niveau, alors que, vers 140 cm de profondeur, au plus fort de la période sèche, le taux d'humidité demeure voisin de la capacité au champ.

Pour amener d'autres éléments de preuve expérimentale des phénomènes envisagés, il conviendrait d'étudier les comportements comparés de colonnes de terre réalisées, les unes avec de la terre tamisée à 2 mm comme nous l'avons fait ici, les autres avec des unités structurales de plus grande dimension, calibrées entre 2 diamètres déterminés, pour tenter de retrouver les effets signalés dans les études en lysimètres. Par ailleurs, le dispositif réalisé avait pour objet d'assurer une réserve d'eau libre à la base de la colonne. Il conviendrait aussi de reprendre l'expérience sur des colonnes de sol amenées, par arrosage lent, à un taux d'humidité homogène sur toute la hauteur et voisin de la capacité au champ.

On peut penser que de telles expériences contribueront encore à la compréhension du phénomène.

Vitesse d'humectation des colonnes de terre

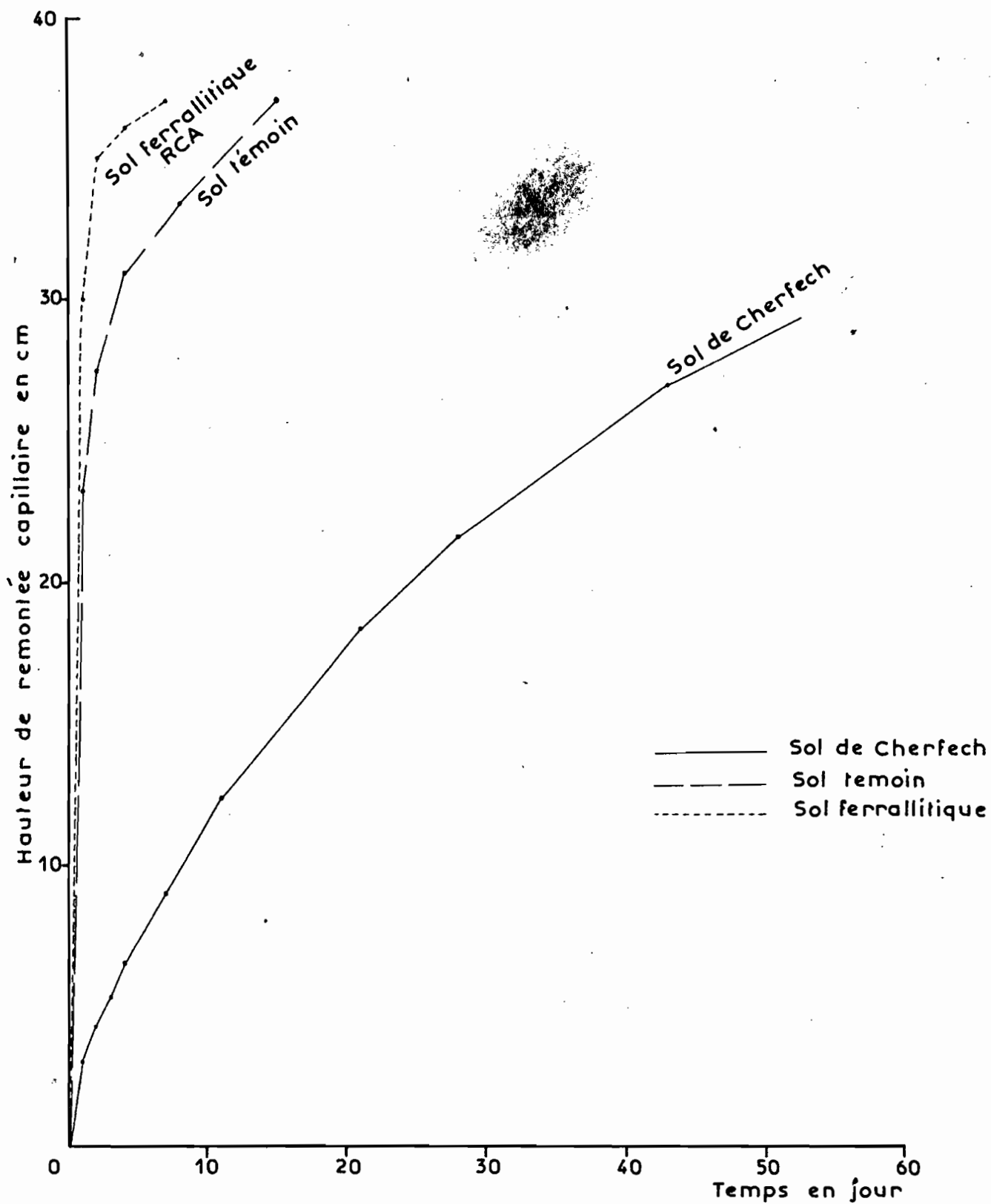
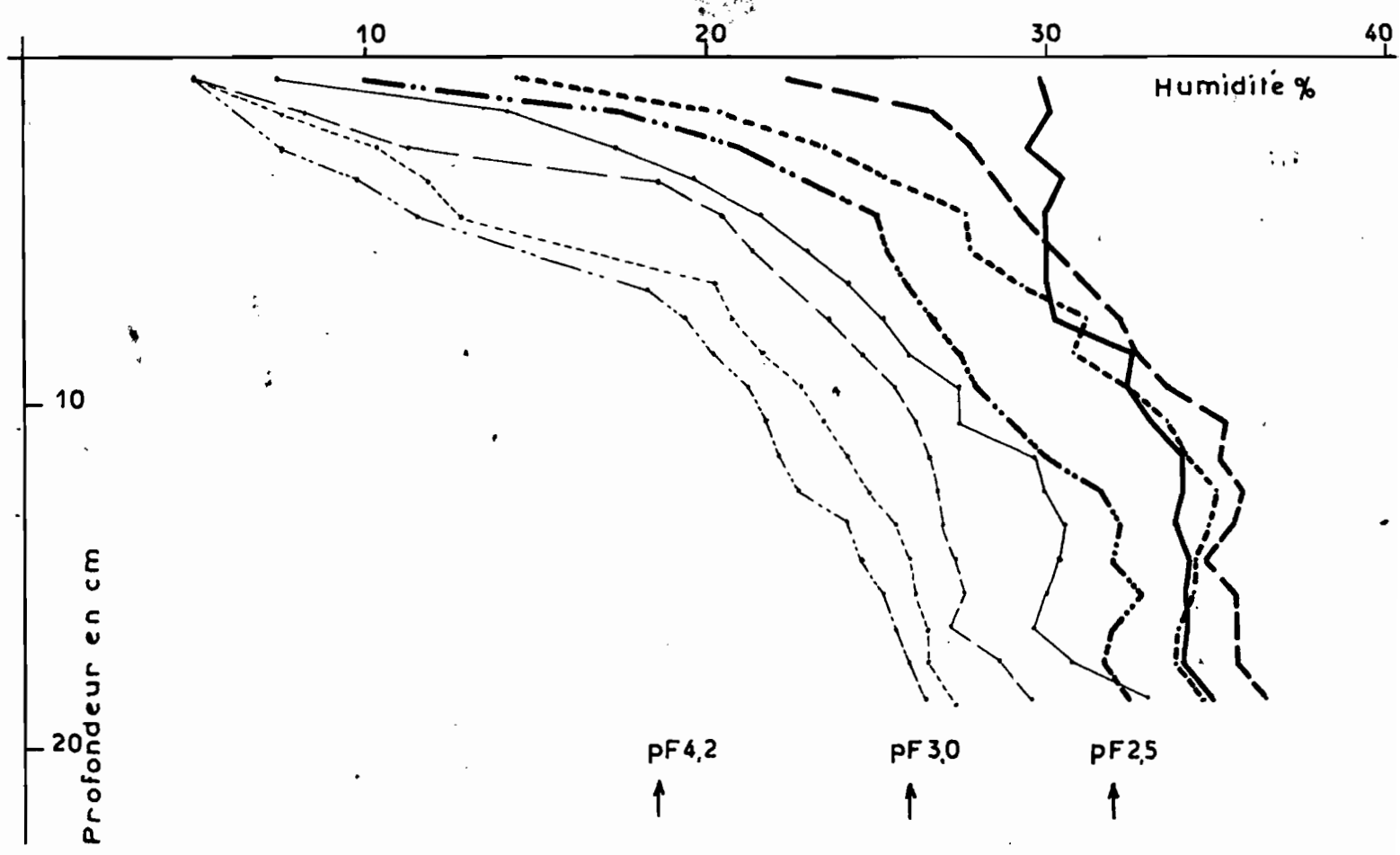


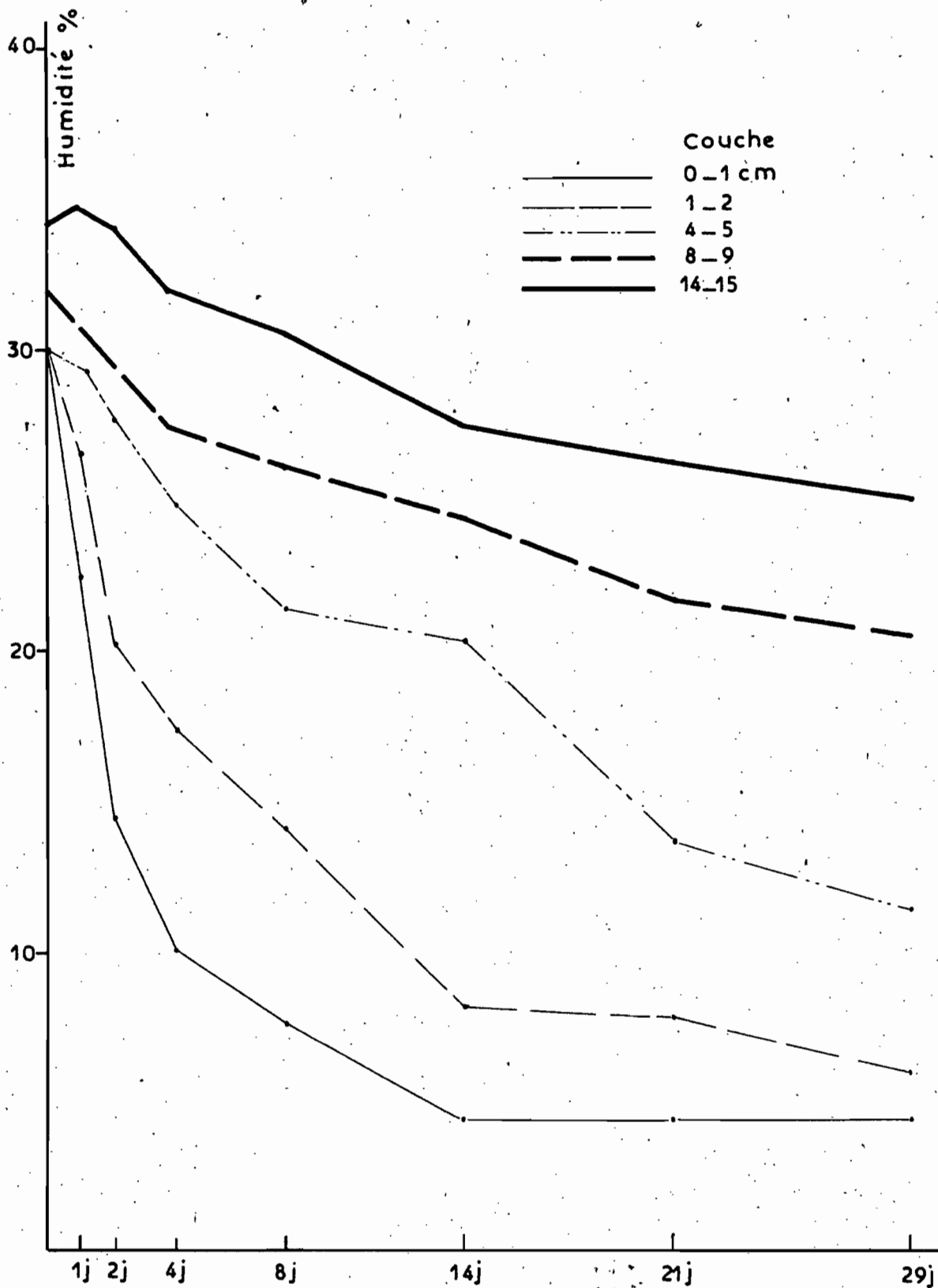
Figure 2

Sol de Cherfech - Evaporation sans "nappe"



- Humidité %
- Départ
 - - - 1 jour
 - · · 2 jours
 - · - 4 jours
 - 7 jours
 - - - 14 jours
 - · · 21 jours
 - · - 29 jours

Sol de Cherfech - Evaporation sans "nappe"
Evolution de l'humidité en fonction du temps et par profondeur



Sol témoin - Evaporation sans "nappe"

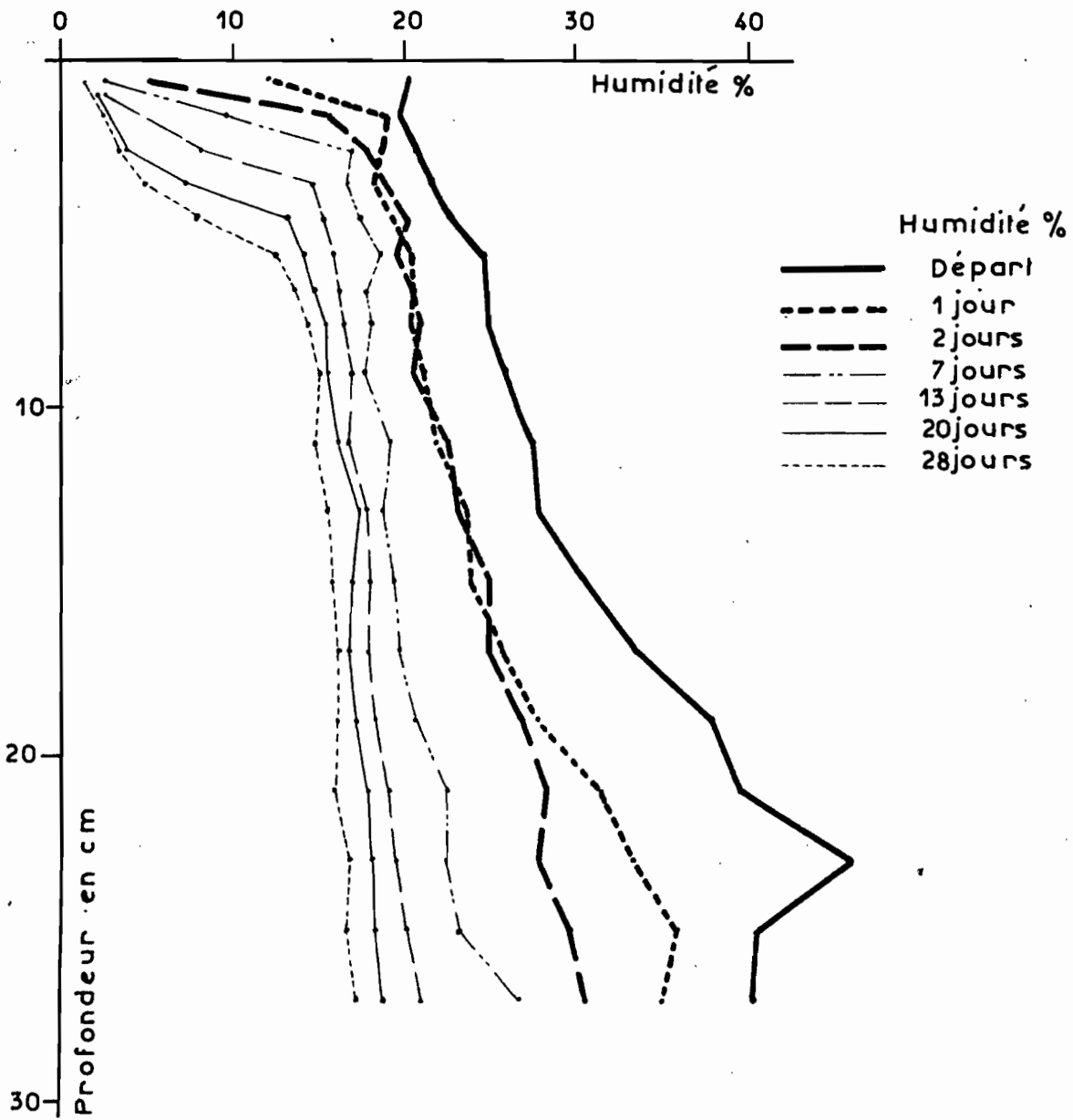
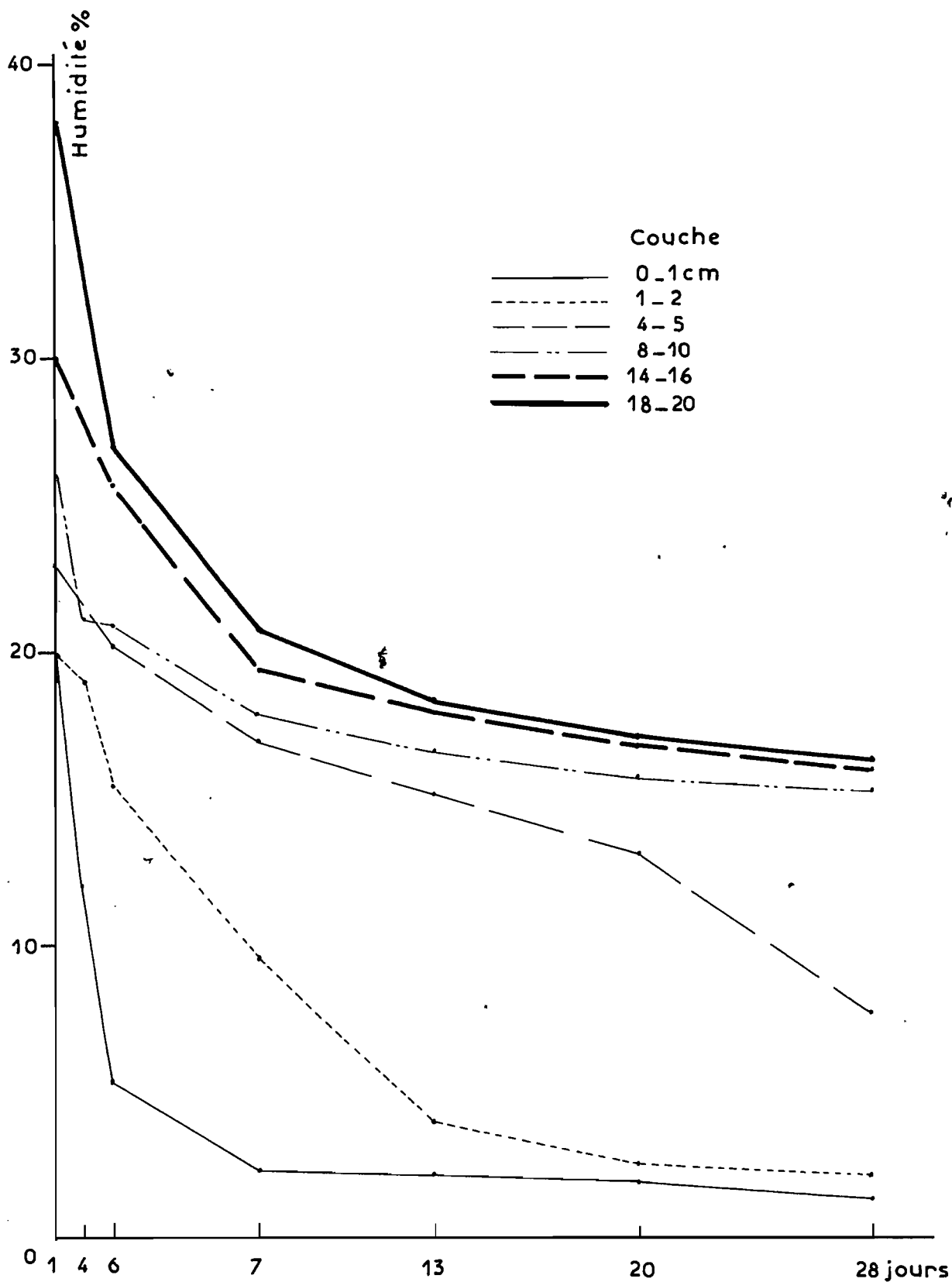


Figure 5

Sol témoin — Evaporation sans "nappe"
Evolution de l'humidité en fonction du temps et par profondeur



Sol de Cherfech - Evaporation avec "nappe"

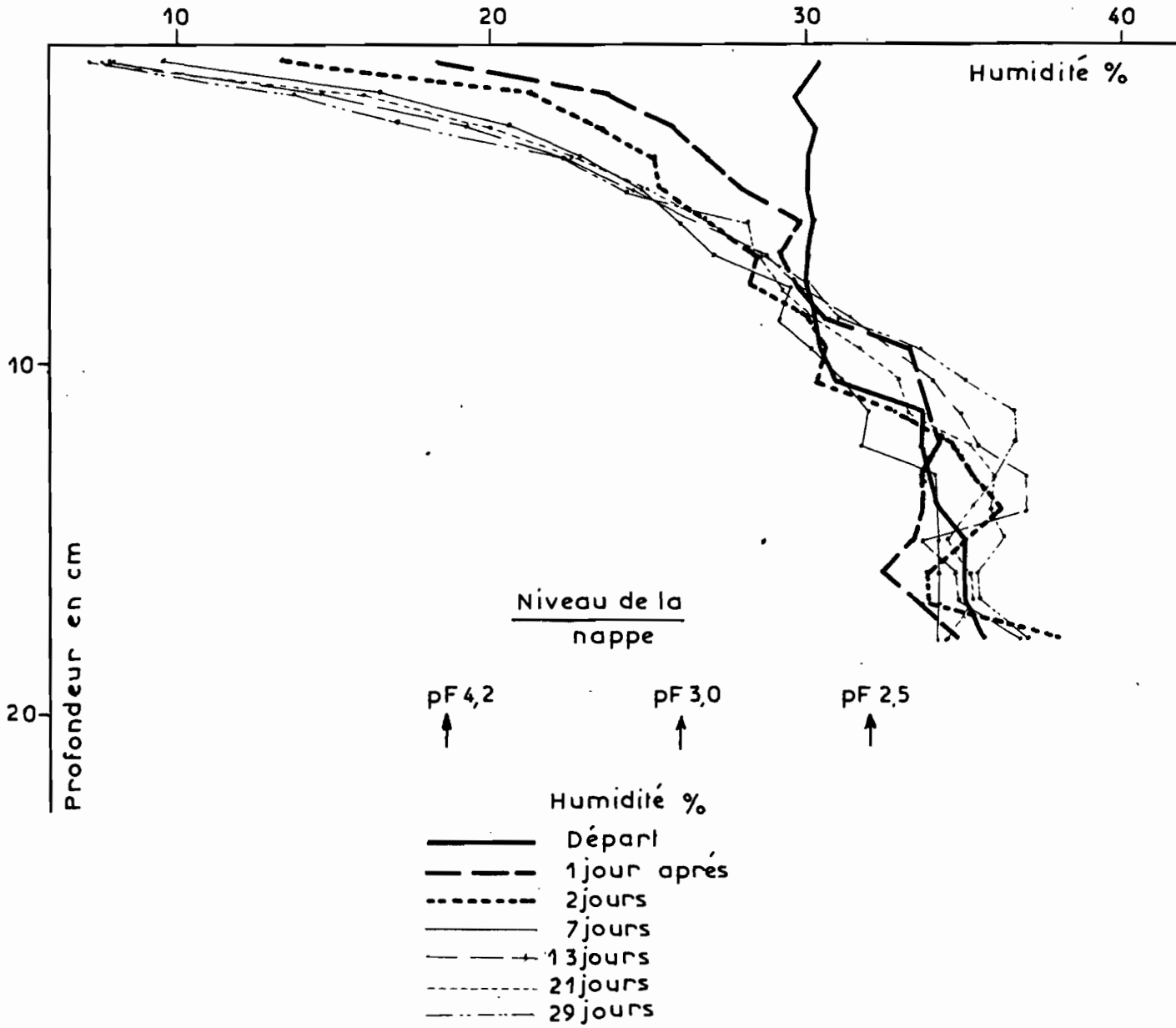
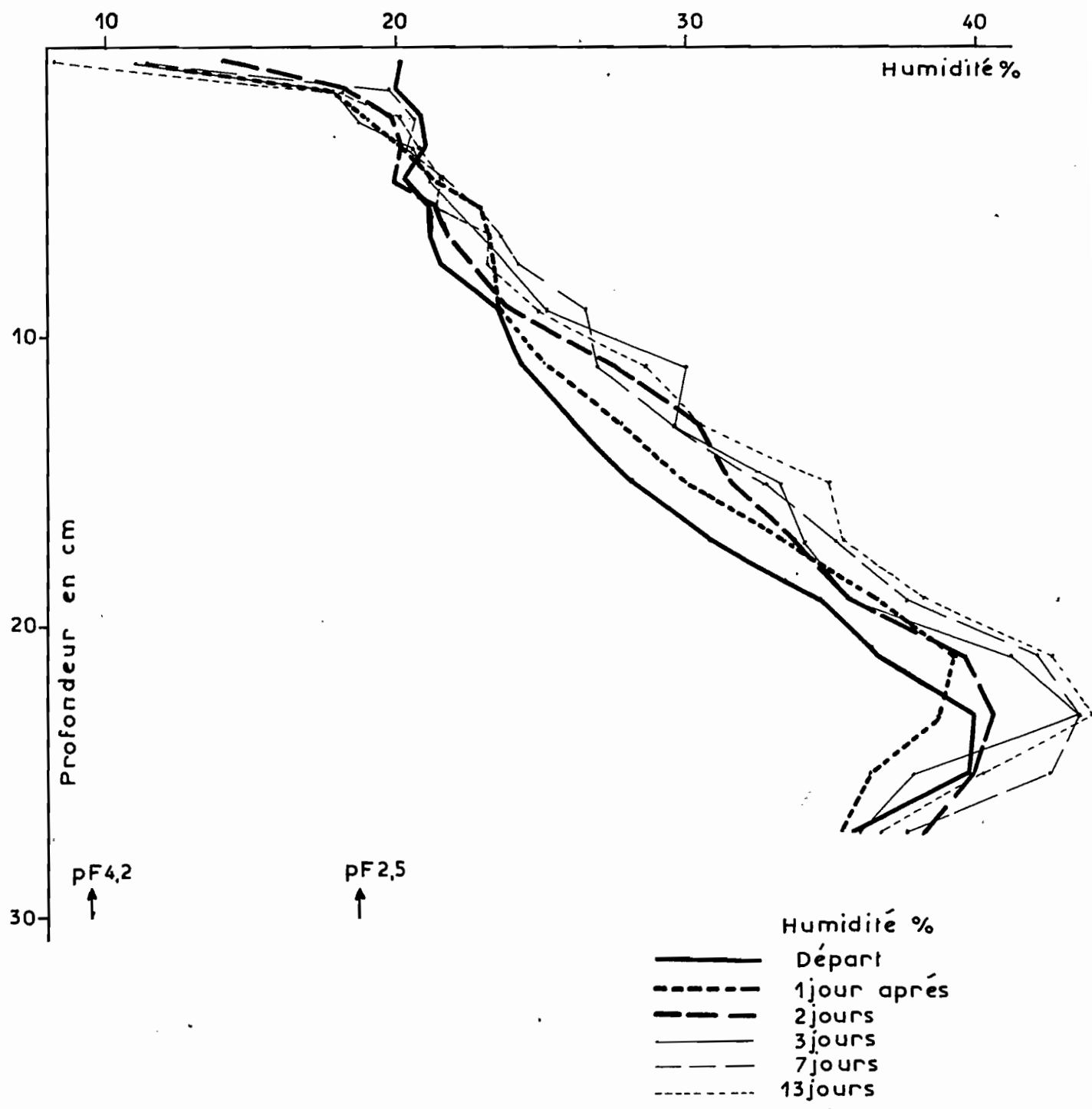


Figure 7

Sol témoin — Evaporation avec "nappe"



Sol de Cherfech – Evaporation avec "nappe"
 Perte de poids cumulée des colonnes en fonction (Mesures sur 4 colonnes)

Figure 8

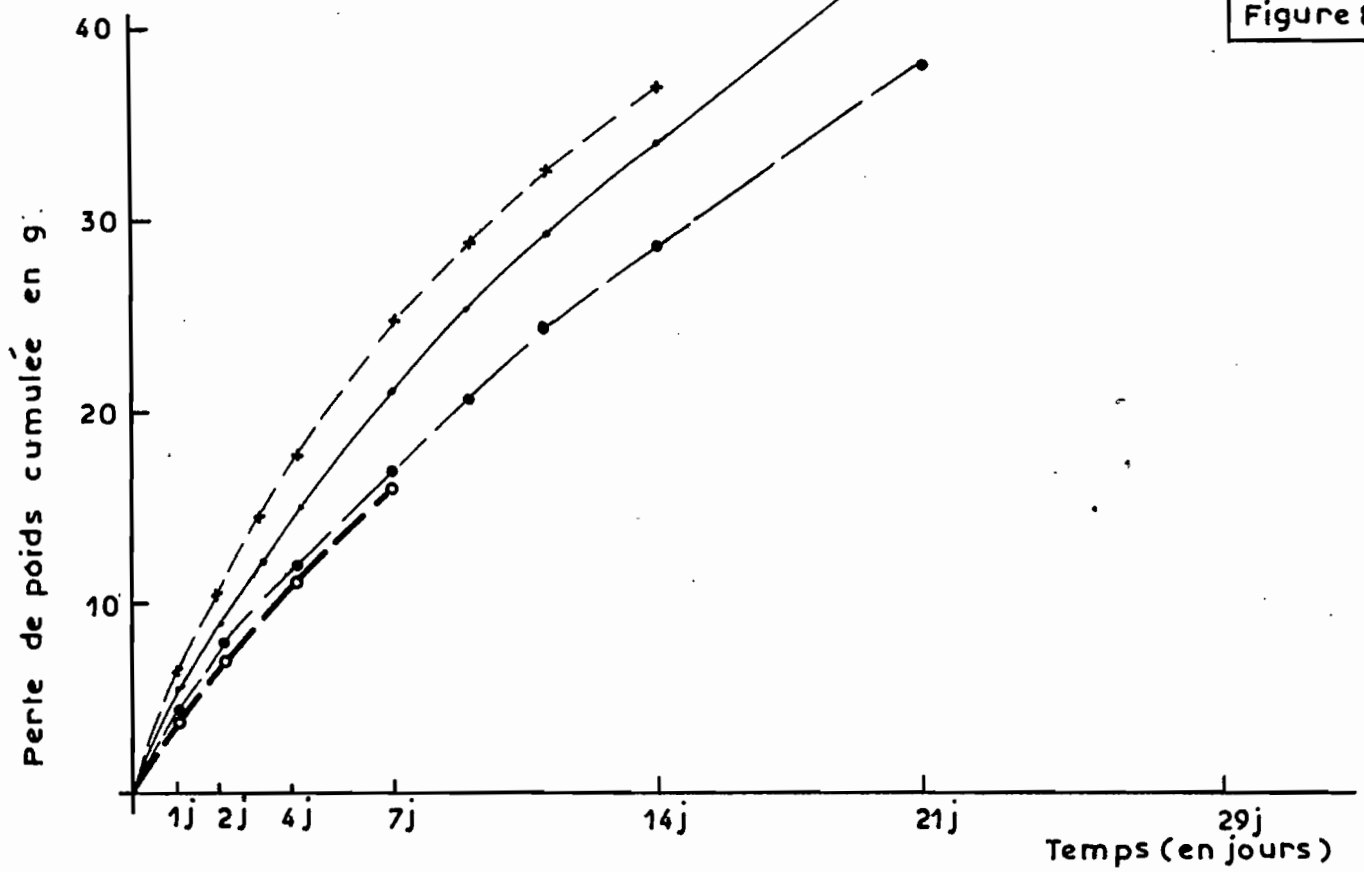
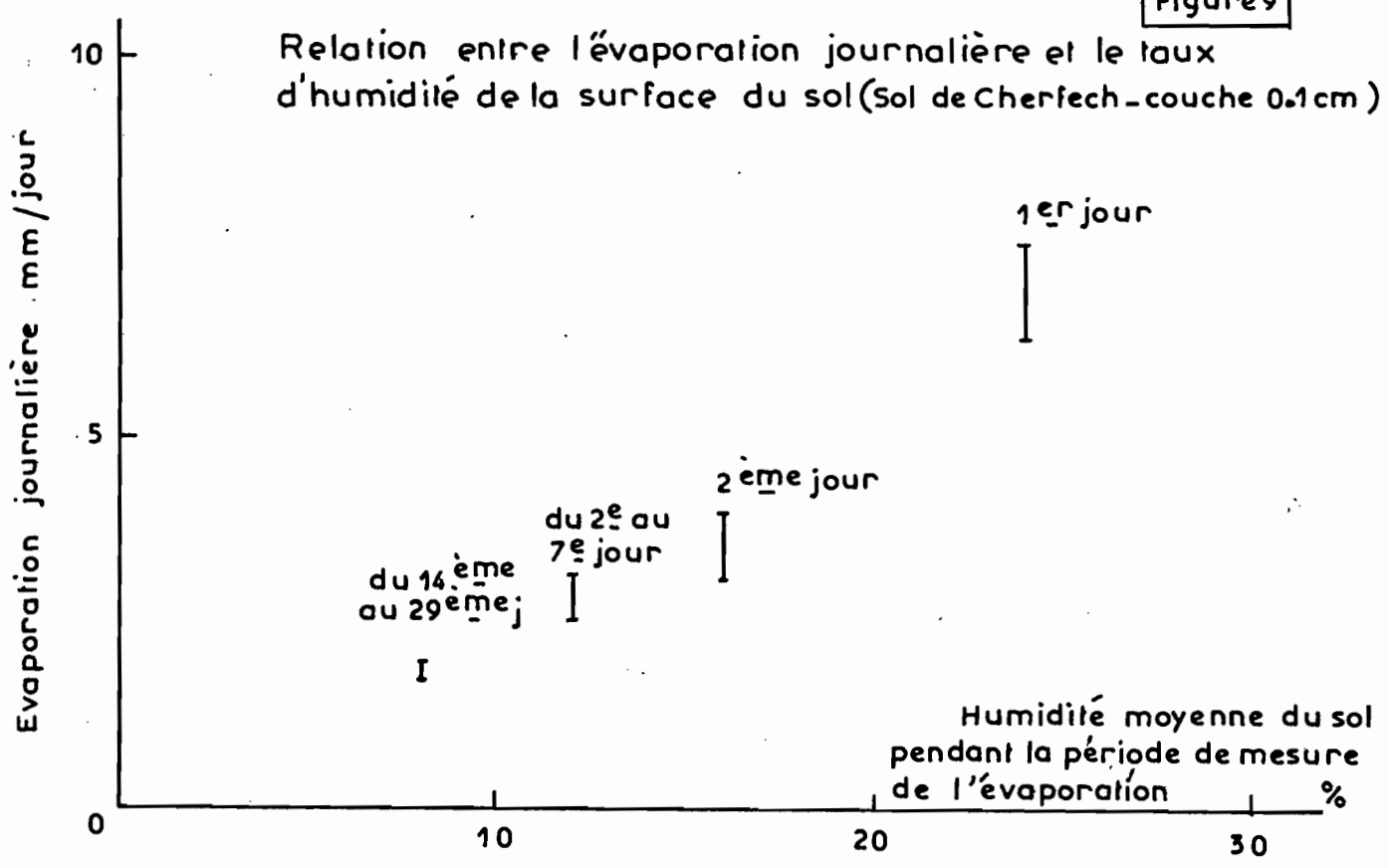


Figure 9

Relation entre l'évaporation journalière et le taux d'humidité de la surface du sol (Sol de Cherfech - couche 0.1cm)



Cherfech - Profils hydriques

