

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

(ORSTOM)

CENTRE D'ADIOPODOUME

BP. V-51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

MODÉLISATION DU BILAN D'ÉNERGIE À LA SURFACE D'UN SOL NU AU
COURS D'UN CYCLE DE DESSÈCHEMENT

Première partie : VARIABILITE SPATIALE DE L'HUMIDITE DE SURFACE

B. GOUE
Laboratoire
d'Agronomie

B. ZELLER
Laboratoire de
Bioclimatologie

N.R. YAO
Laboratoire de
Bioclimatologie

MODÉLISATION DU BILAN D'ÉNERGIE À LA SURFACE D'UN SOL NU
AU COURS D'UN CYCLE DE DESSÈCHEMENT

Première partie : VARIABILITE SPATIALE DE L'HUMIDITE DE SURFACE

SOMMAIRE

- I. INTRODUCTION
- II. BUT
- III. METHODE
- a) Fréquence des mesures
 - b) Echantillonnage spatial de la parcelle de mesure
- IV. RESULTATS ET DISCUSSION
- a) Données initiales
 - b) Courbes de dessèchement
 - c) Echantillonnage spatial de la parcelle de mesure
- V. CONCLUSION

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

I. INTRODUCTION

En l'absence de végétation, lorsque la surface du sol est soumise aux effets de la radiation solaire et du vent, l'évaporation a lieu directement et uniquement à partir du sol. Dans le cas de cultures annuelles, la surface du sol demeure souvent à nu pendant longtemps : pendant les périodes de préparation, de semis, de germination et d'émergence. Au cours de ces périodes, l'évaporation peut assécher la surface du sol et, par conséquent, influencer la croissance des jeunes plantes au moment où elles sont les plus vulnérables ; se pose alors souvent le problème de la validité des coefficients culturaux obtenus dans ces conditions.

II. BUT

Il s'agit de compléter les résultats de mesures d'évapotranspiration réelle (ETR) d'un couvert de manioc effectuées à Adiopodoumé (Basse Côte d'Ivoire) par deux méthodes : une méthode aérienne mixte (la méthode du rapport de Bowen couplée au bilan d'énergie) et une méthode d'établissement du bilan hydrique du sol ; en effet les écarts entre les valeurs obtenues par ces deux méthodes (tableau 1) en début de cycle végétatif, au moment où la végétation n'est pas entièrement couvrante, suggèrent de connaître l'importance des pertes par évaporation.

PERIODE APRES PLANTATION	ETR _S (mm/jour)	ETR _B (mm/Jour)
8e à 9e semaines	3.6	2.2
9e à 10e semaines	3.6	1.7
10e à 11e semaines	3.6	1.7
11e à 12e semaines	3.6	2.2

Tableau 1 : Valeurs d'évapotranspiration réelle (ETR) d'un couvert de manioc mesurées par deux méthodes :

ETR_S : Evapotranspiration réelle mesurée par la méthode de la variation des stocks hydriques du sol

ETR_B : Evapotranspiration réelle mesurée par la méthode du rapport de Bowen couplée au bilan d'énergie.

D'autre part, pour établir le bilan d'énergie à la surface d'un sol nu, il faut savoir que l'albédo du sol varie en fonction de son humidité de surface ; dans la relation

$$R_n = (1 - \alpha) R_g + R_a - \epsilon \sigma T_s^4 \quad (1)$$

où R_n est le rayonnement net,
 R_g , le rayonnement global,
 R_a , le rayonnement atmosphérique,
 T_s , la température du sol,
 σ , la constante de STEPHAN-BOLTZMANN,
l'albédo du sol, α , varie en fonction de l'humidité de surface (θ).

Van BAVEL et HILLEL (1976) montrent que :

- l'albédo du sol $\alpha = 0.10$ pour $\theta_v > 25 \%$
- $\alpha = 0.25$ pour $\theta_v < 10 \%$ 2
- $\alpha = 0.10 + (0.25 - \theta_v)$ pour $10\% < \theta_v < 25 \%$

(θ_v : humidité volumique du sol)

- et que l'émissivité du sol, ϵ , varie également en fonction de l'humidité de surface selon la relation suivante :

$$\epsilon = 0.90 + 0.18 \theta_v \quad (3)$$

III. MATERIELS ET METHODES

Une parcelle de sol nu est irriguée et l'humidité de surface est mesurée par gravimétrie au cours du temps (en phase de dessèchement) :

a) Fréquence des mesures (pas de temps) :

Après un apport de 20 mm d'eau (8 mm/h pendant 2 h 30) des échantillons de sol sont prélevés en surface (0-3 cm) sur une placette de un hectare de la manière suivante :

- A l'instant $t = 0$, correspondant à la fin de l'irrigation, 3 échantillons sont prélevés toutes les 6 mn pendant 1 heure,
- A l'instant $t = 1$ heure, 3 échantillons sont prélevés toutes les 12 mn pendant 2 heures,
- A l'instant $t = 3$ heures, 3 échantillons sont prélevés toutes les 30 mn pendant 4 heures,
- Enfin à l'instant $t = 7$ heures, 3 échantillons sont prélevés toutes les 60 mn pendant 41 heures, soit, au total, 70 mesures (correspondant à 210 échantillons de sol) faites pendant 48 heures, en surface, au cours du dessèchement.

b) Echantillonnage spatial de la parcelle de mesure

Quarante huit heures après l'irrigation ($t = 48$ heures) commence l'échantillonnage spatial sur une autre placette de 1 ha, voisine de la précédente et ayant reçu la même dose d'irrigation, au même instant et dans les mêmes conditions. Cet échantillonnage a pour but de définir la variabilité spatiale de l'humidité de surface. Le plan d'échantillonnage occupe l'ensemble de la parcelle de 1 ha, selon des grilles carrées de 10 m de côté.

A partir du centre de chaque grille, les prélèvements sont effectués tous les 5 m. Au total, 164 échantillons de sol de 150 à 230 grammes, prélevés au même instant ($t = 48$ heures) en surface, sont analysés ; la variabilité spatiale de l'humidité est étudiée en utilisant la méthode géostatistique.

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

a) Données initiales

Des profils secs, hydriques et tensiométriques, sont mesurés avant l'apport d'eau (Fig. 1a et 1b) sous sol nu.

A cette période le "front d'humidité" se situe à un mètre environ et correspond à $\theta_v = 12 \%$; la variation de stock hydrique à cette côte est de 4.6 mm, pendant six jours, soit environ 0.8 mm/jour. Pendant cette même période, le plan de flux nul se situe à 30 cm, la variation de stock correspondante est de 3.4 mm en six jours soit 0.6 mm/jour.

A partir de ces deux observations, on peut estimer que le maximum d'évaporation s'est effectuée, à cette période de l'année dans l'horizon 0-30 cm à raison de 0.6 à 0.8 mm/jour.

b) Courbes de dessèchement

Les courbes de dessèchement de la parcelle sont représentées à la figure 2 :

- 2a : mesures pendant 48 heures (du 9 au 11.12.85) sur une placette de 1 ha, la fréquence des prélèvements est de 6, 12, 30 et 60 minutes comme indiqué au chapitre précédent,
- 2b : mesures pendant 56 heures (du 18 au 20.12.85) sur une placette de 1 ha, à la fréquence de 30 et 60 minutes,
- 2c : mesures pendant 83 heures (du 30.12.85 au 03.01.86) sur 3 placettes de 0.5 ha chacune ou pas de temps de 60 minutes.

Les valeurs d'humidité aux pF 4.2 et pF 2.2 ont été déterminées au laboratoire.

Les profils hydriques ont été mesurés à la sonde à neutrons (Fig. 3 et annexes) ainsi que les profils tensiométriques (Fig. 4 et annexes) pour suivre les flux en profondeur.

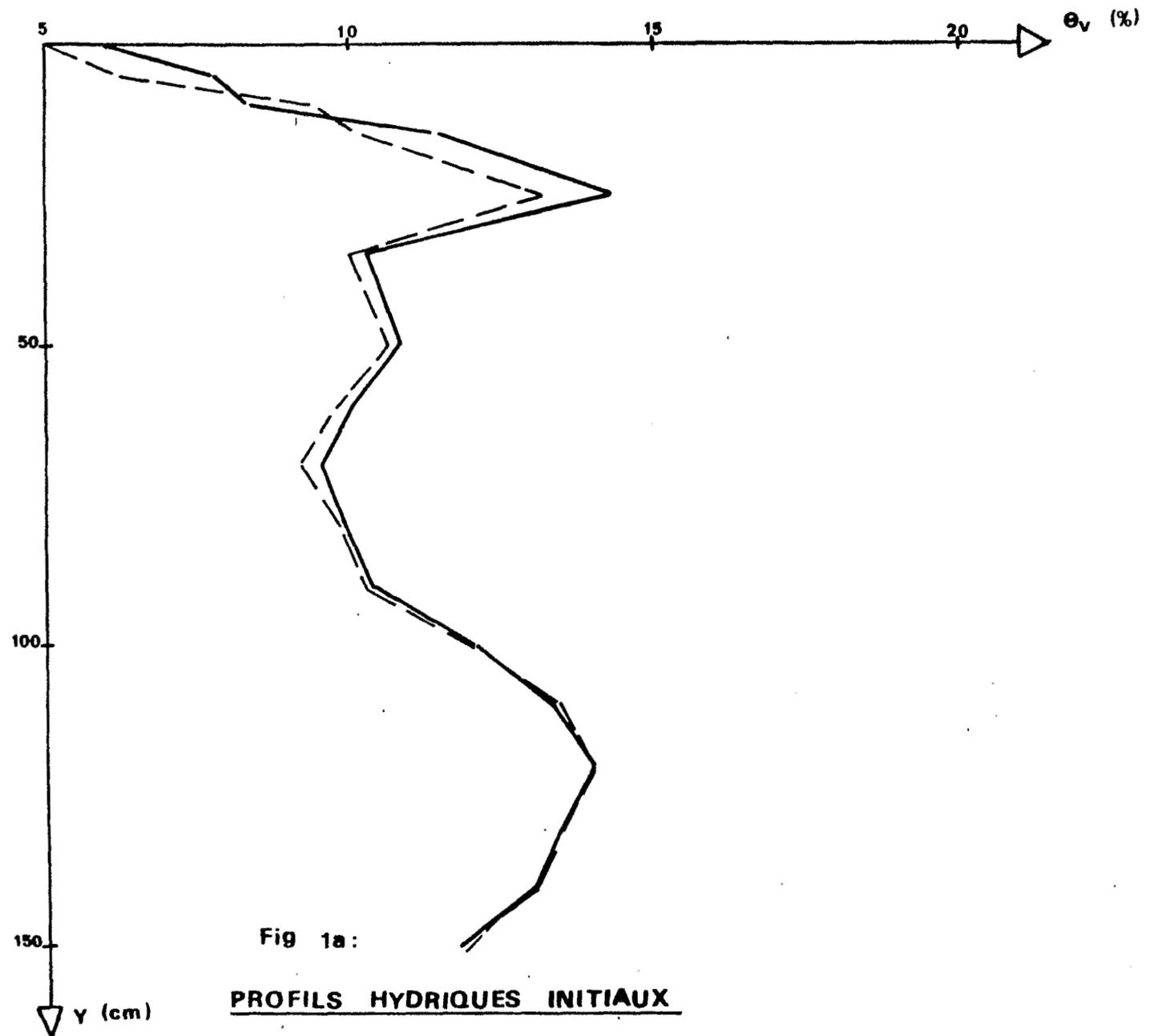
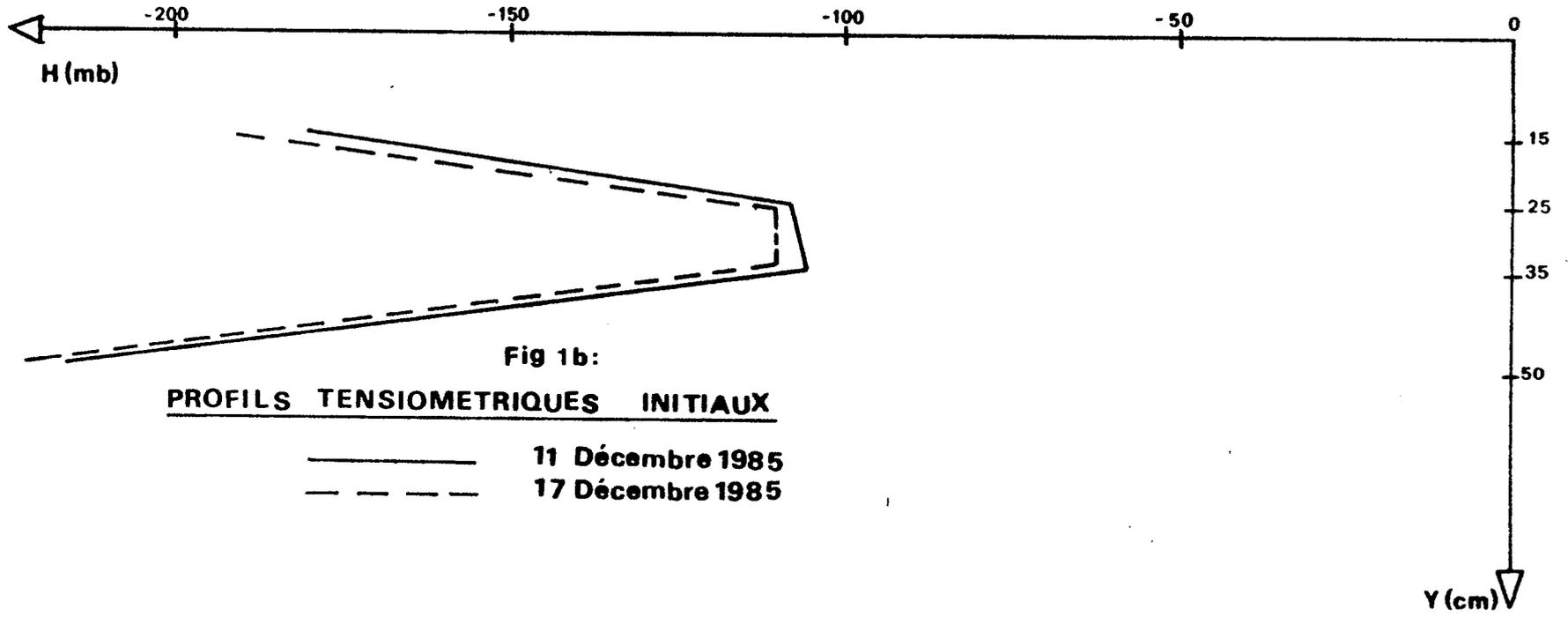


Fig 1a:
PROFILS HYDRIQUES INITIAUX

————— 11 Décembre 1985
- - - - - 17 Décembre 1985



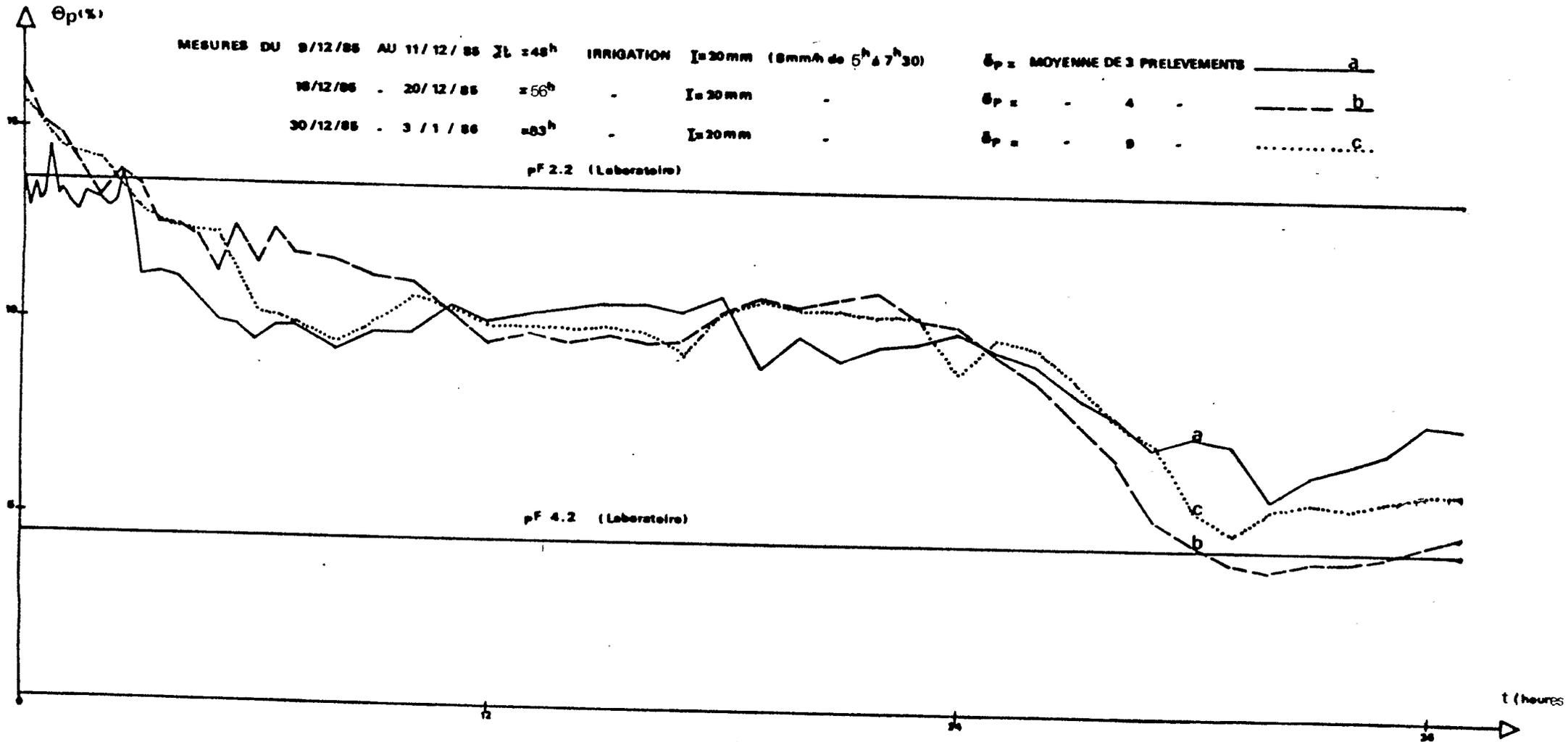


Fig. 2 : Courbes de dessèchement d'un sol sableux de Basse Côte d'Ivoire

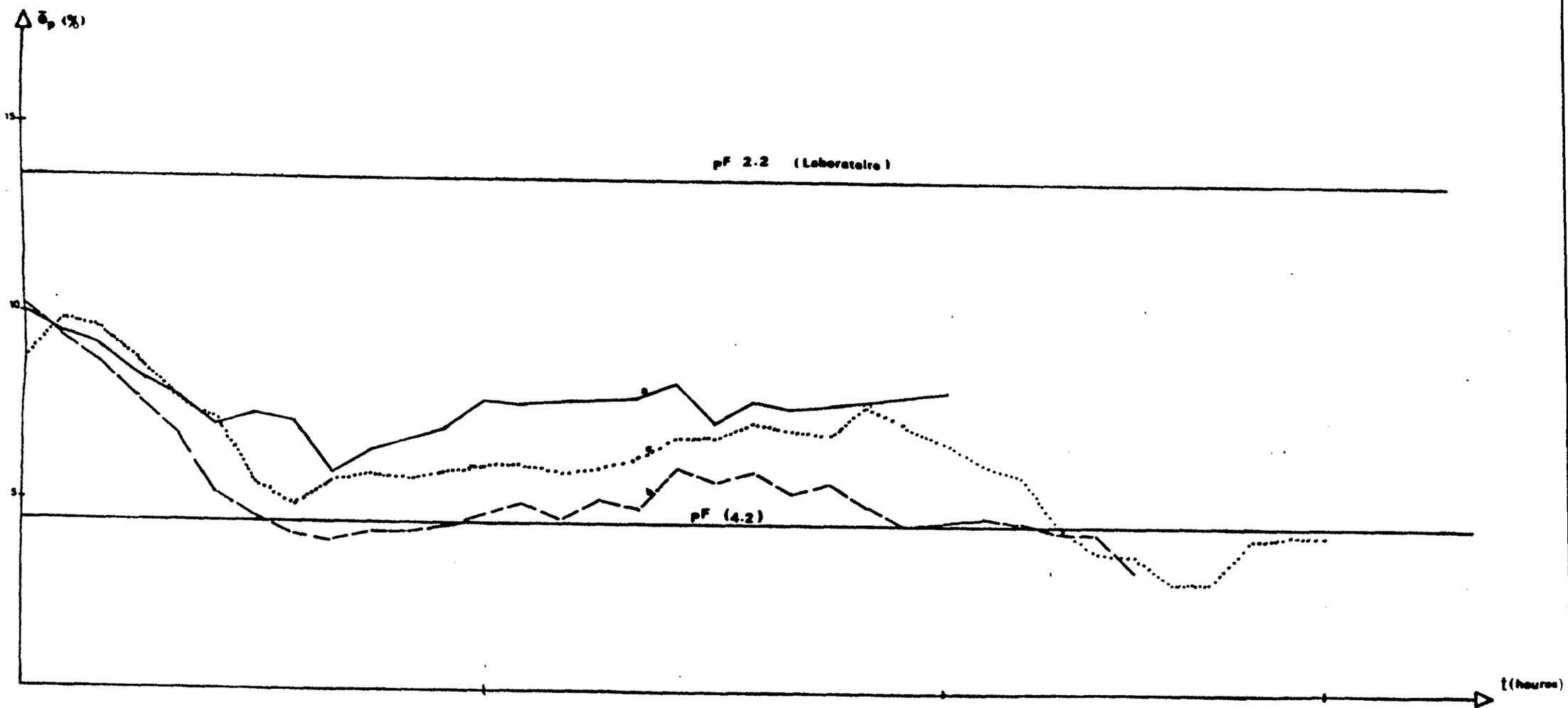


Fig. 2 : Courbes de dessèchement d'un sol sableux de Basse Côte d'Ivoire (suite)

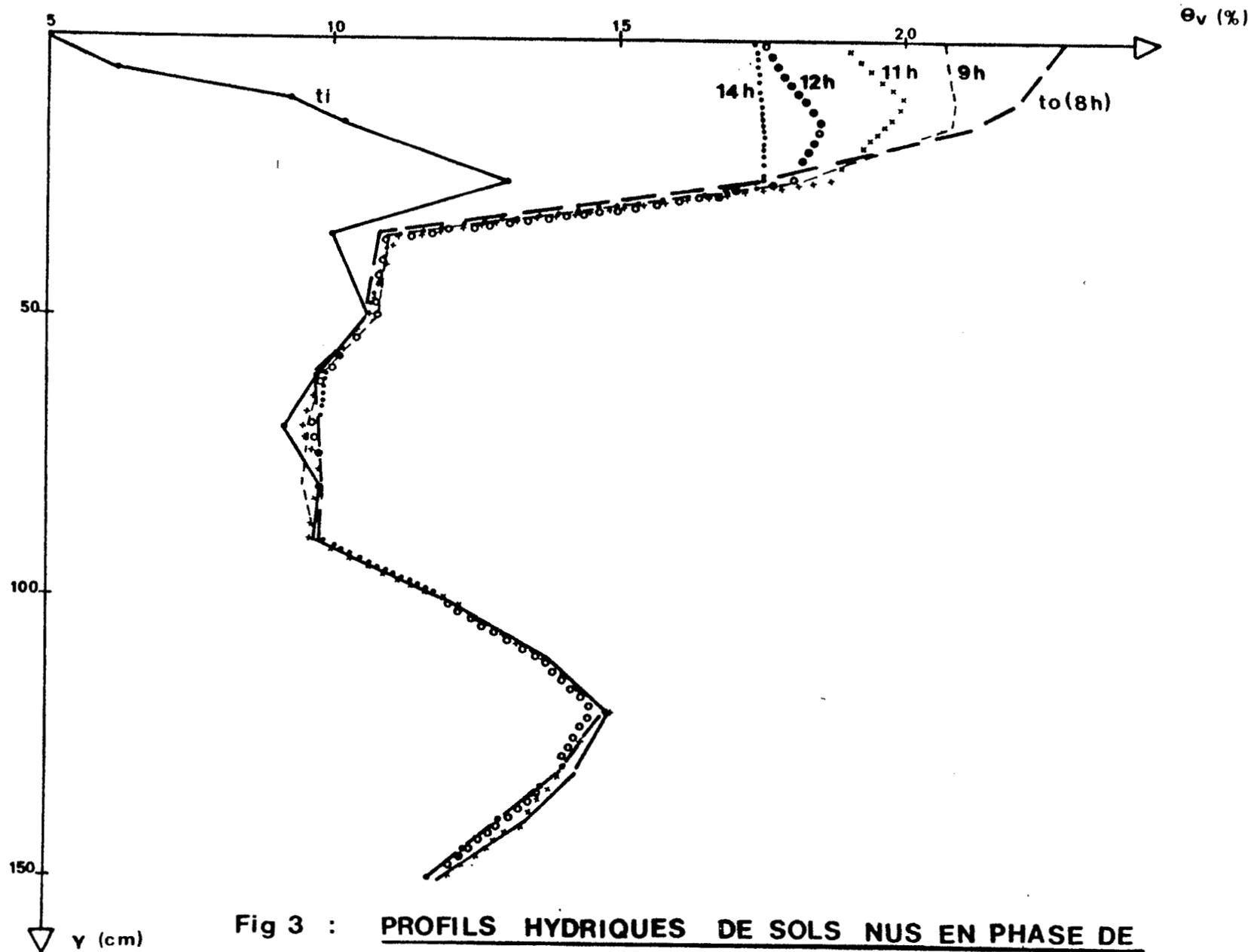


Fig 3 : PROFILS HYDRIQUES DE SOLS NUS EN PHASE DE DESSECHEMENT

ti : Profil sec
to : Profil saturé

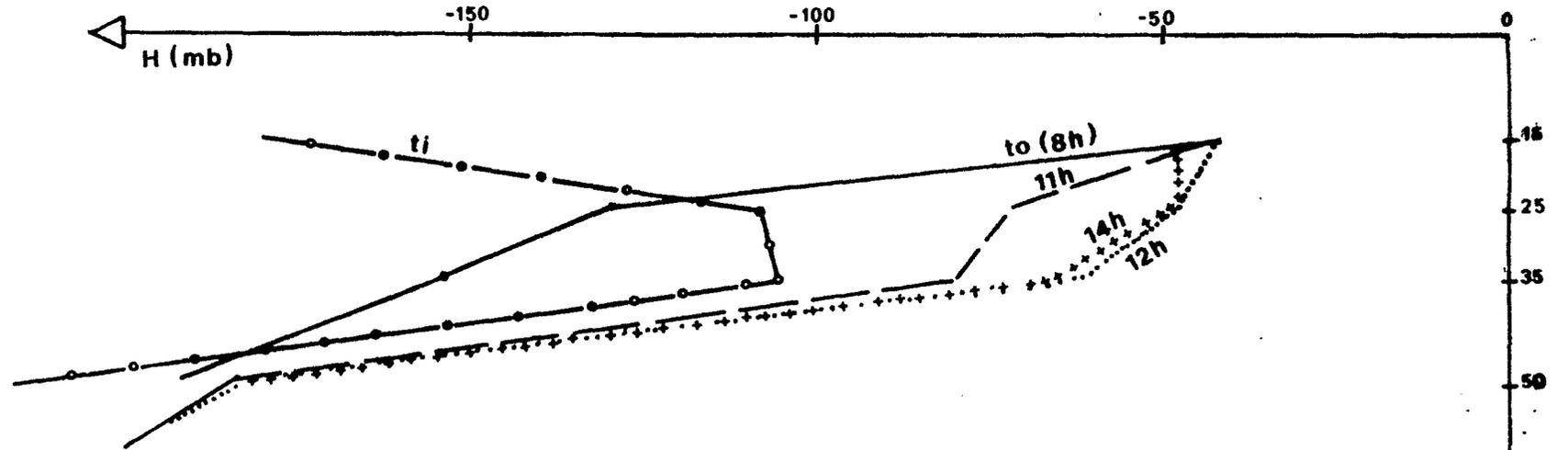


Fig 4: PROFILS DE CHARGES HYDRAULIQUES .

sols nus en Phase de dessèchement

ti : Profil sec (Plan de flux nul à \approx 30 cm)

to: Profil saturé (drainage)

Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes des humidités de surface au cours de ces essais :

t (mn)	0	6	12	30	60	2 x 60	4 x 60	6 x 60	12x60	18x60	1 Jour	36x60	2 Jours	3 jours
$\bar{\theta}_p$ (%)	15.0	13.1	13.0	14.1	13.8	13.6	11.8	10.1	9.9	10.5	9.7	6.2	6.7	3.7

Tableau 2 : Valeurs moyennes des humidités pondérales de surface au cours d'un cycle de dessèchement d'un sol sableux de Basse Côte d'Ivoire.

t = 0 mn : correspond à 08 heures GMT, à la fin de l'irrigation et à la première mesure sur chacune des trois placettes expérimentales.

$\bar{\theta}_p$: humidité pondérale, il s'agit de la moyenne des mesures effectuées sur les trois placettes, aux mêmes moments.

Exemple : $\bar{\theta}_p = 13.8$ % pour t = 60 mn est la moyenne des mesures effectuées 1 heure après la fin de l'irrigation le 9 décembre (13.4 % sur la première placette), le 18 décembre (14.8 % sur la deuxième placette) et le 30 décembre (13.3 % sur la troisième placette).

Pour avoir les valeurs d'humidité volumique (θ_v) des relations 2 et 3 il suffit de multiplier θ_p par $\rho = 1.50$ qui est la valeur moyenne de la densité apparente sèche mesurée dans l'horizon de surface par différents procédés (cylindre, gamma-densimètre).

L'observation des courbes 2 et du tableau 2 fait ressortir que le dessèchement présente plusieurs hétérogénéités au cours du temps.

Pour choisir une fréquence de mesure susceptible de refléter l'état hydrique de la parcelle, il s'avère nécessaire de prendre en considération l'hétérogénéité spatiale de la parcelle qui est liée au choix des points expérimentaux dans chaque placette. En d'autres termes, le dessèchement est non seulement fonction du temps mais aussi et surtout, dans le cas présent, du sol.

Un facteur complémentaire à prendre en compte pour analyser la dynamique du dessèchement et ses conséquences est le gradient de charge hydraulique au cours du temps $(dH/dx)_t$. A défaut de valeurs tensiométriques en surface (pour les cinq premiers centimètres de sol), on observe néanmoins que le régime de drainage prévaut pendant huit heures environ, après s'installe un régime d'évaporation continue en surface, le plan de flux nul se situant aux alentours de 30 cm de profondeur.

c) Echantillonnage spatial de la parcelle

La distribution des humidités de surface, analysée par la méthode géostatistique sur 164 échantillons, est lognormale, de moyenne $m_{\theta_p} = 7.8$ % (Fig. 5) et de variance

$$\sigma_{\theta_p}^2 = 3.2 * 10^{-4}; (\sigma_{\theta_p} = \pm 1.8 \%)$$

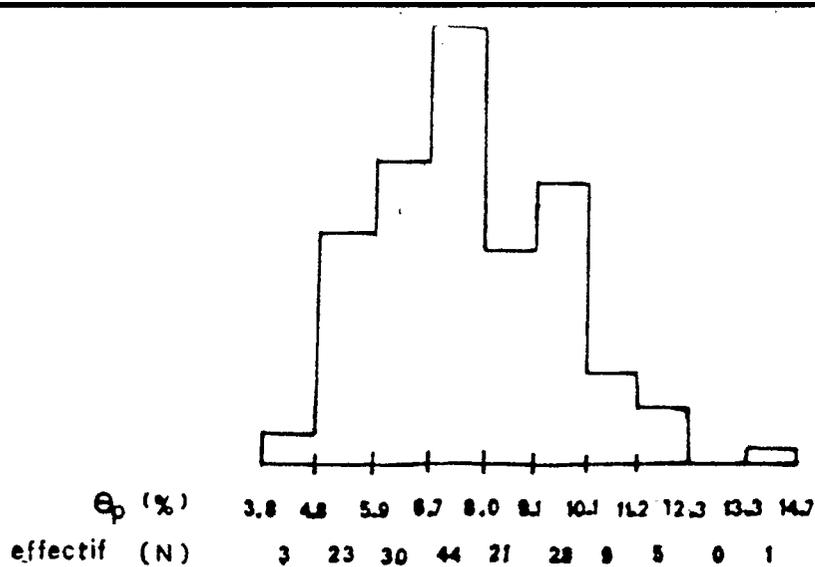


Fig.5: Distribution des humidités de surface

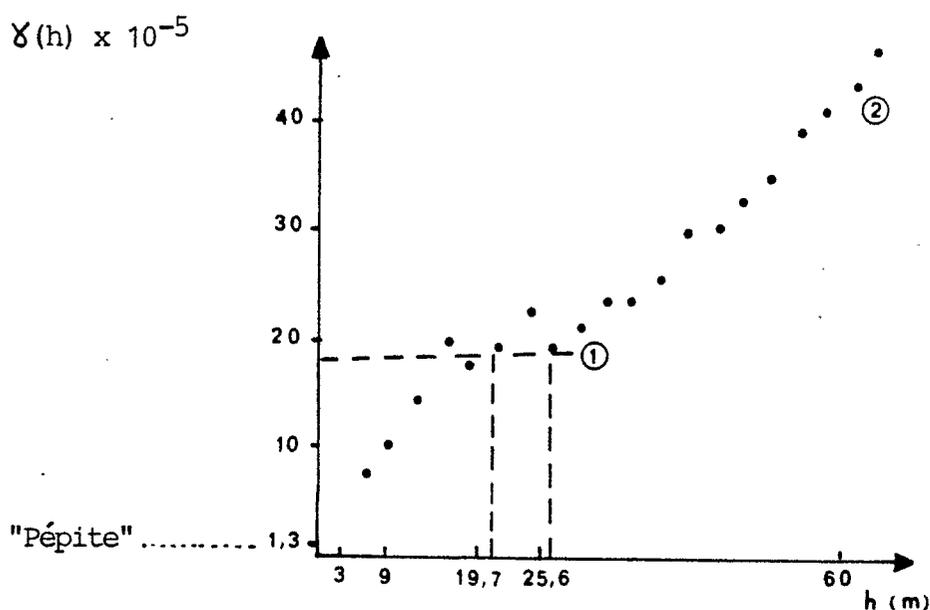


Fig.6: Variogramme des humidités de surface

$\gamma(h)$: fonction aléatoire

h : distance entre les points de mesure
(équidistance des prélèvements)

Structure ① : variogramme sphérique : $\gamma(h) = 1.7 \times 10^{-4}$

$$\frac{1}{3} \left(\frac{h}{19.7} \right) - \frac{3}{2} \left(\frac{h}{19.7} \right)^3 + 1.3 \times 10^{-5}$$

Structure ② : variogramme linéaire : $\gamma(h) = 10^{-6} h + 7 \times 10^{-7}$

Remarque : Sur les courbes de la figure 2, l'humidité, 48 heures après l'apport d'eau est de :

$$\theta_p = 8.1 \% \pm 0.1 \text{ (courbe 2a)}$$

$$\theta_p = 4.6 \% \pm 0.3 \text{ (courbe 2b)} \quad \bar{\theta}_p = 6.5 \% \pm 1.4 \%$$

$$\theta_p = 6.7 \% \pm 0.8 \text{ (courbe 2c)}$$

L'amplitude des mesures est de 9.6 % ; ceci confirme ce qui a été dit plus haut, à savoir qu'il y a d'autres sources d'hétérogénéité que le processus de dessèchement, le mode d'aspersion et les incertitudes sur les pesées.

Pour mettre en évidence ces autres facteurs, on mesure les gradients d'humidité $d\theta/dx$ sur la parcelle. Le variogramme des humidités (Figure 6) présente deux structures emboîtées induites par deux sources de variabilité spatiale.

La structure observable aux distances les plus faibles (inférieures à 25 m) caractérise un phénomène de transition : le variogramme croît rapidement à partir de l'effet de pépité jusqu'au palier ($1,8 \cdot 10^{-4}$) atteint à 20 m.

Le phénomène décrit présente des plages de différenciations brutales et limitées sur des distances faibles. A l'inverse la seconde branche du variogramme décrit un phénomène régulier non borné et provoquant, sur des distances plus grandes, une forte variabilité malgré un gradient plus faible.

Dans les deux cas, l'essentiel de la variabilité observée présente un déterminisme spatial, les effets de "pépité" restant faibles.

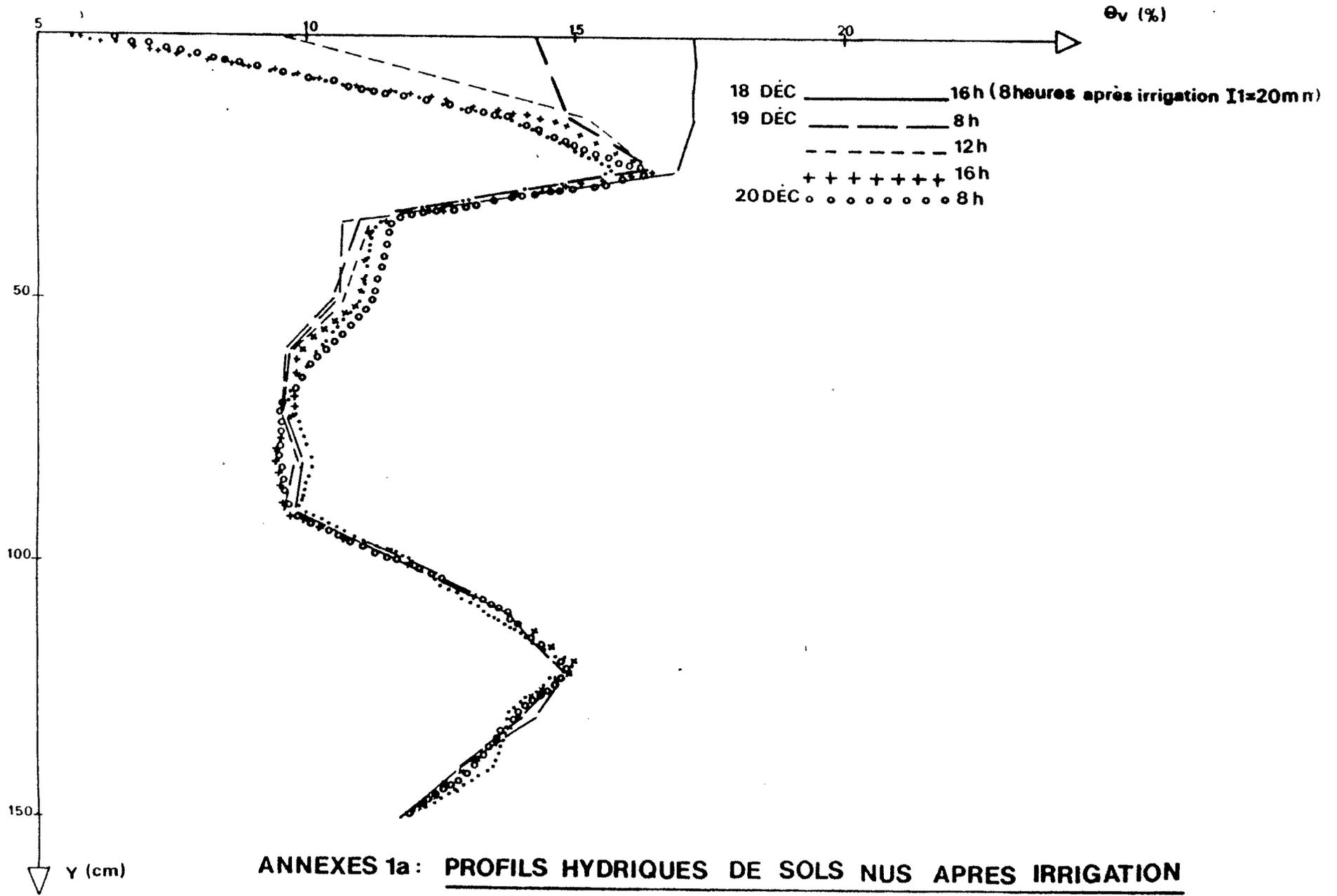
V. CONCLUSION

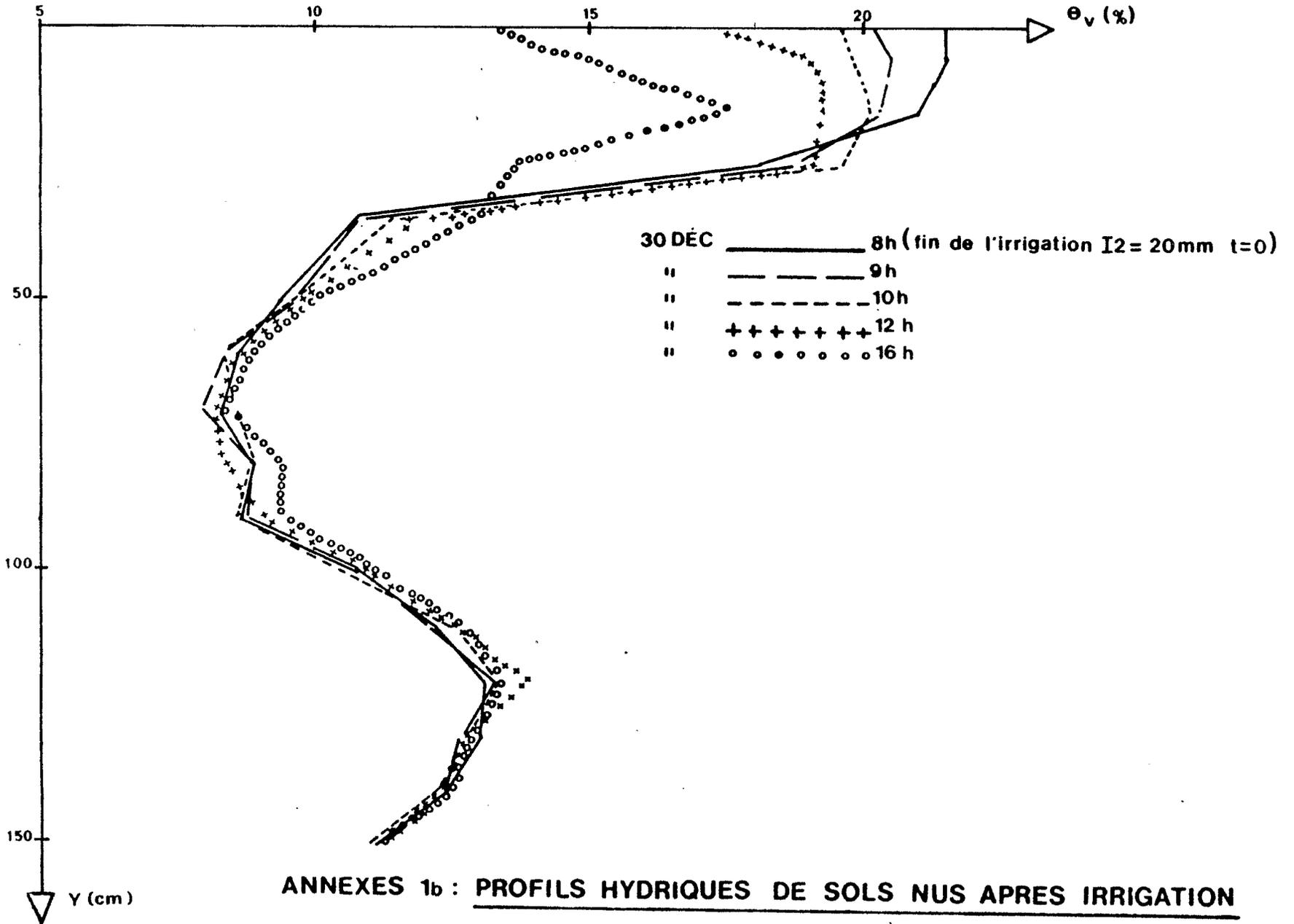
La forte hétérogénéité des mesures d'humidité sur la parcelle est induite surtout par la variabilité spatiale des propriétés du sol, en particulier de sa structure et par l'hétérogénéité des phénomènes de dessèchement. Les modes d'aspersion et de mesure ainsi que leur précision en sont une autre cause.

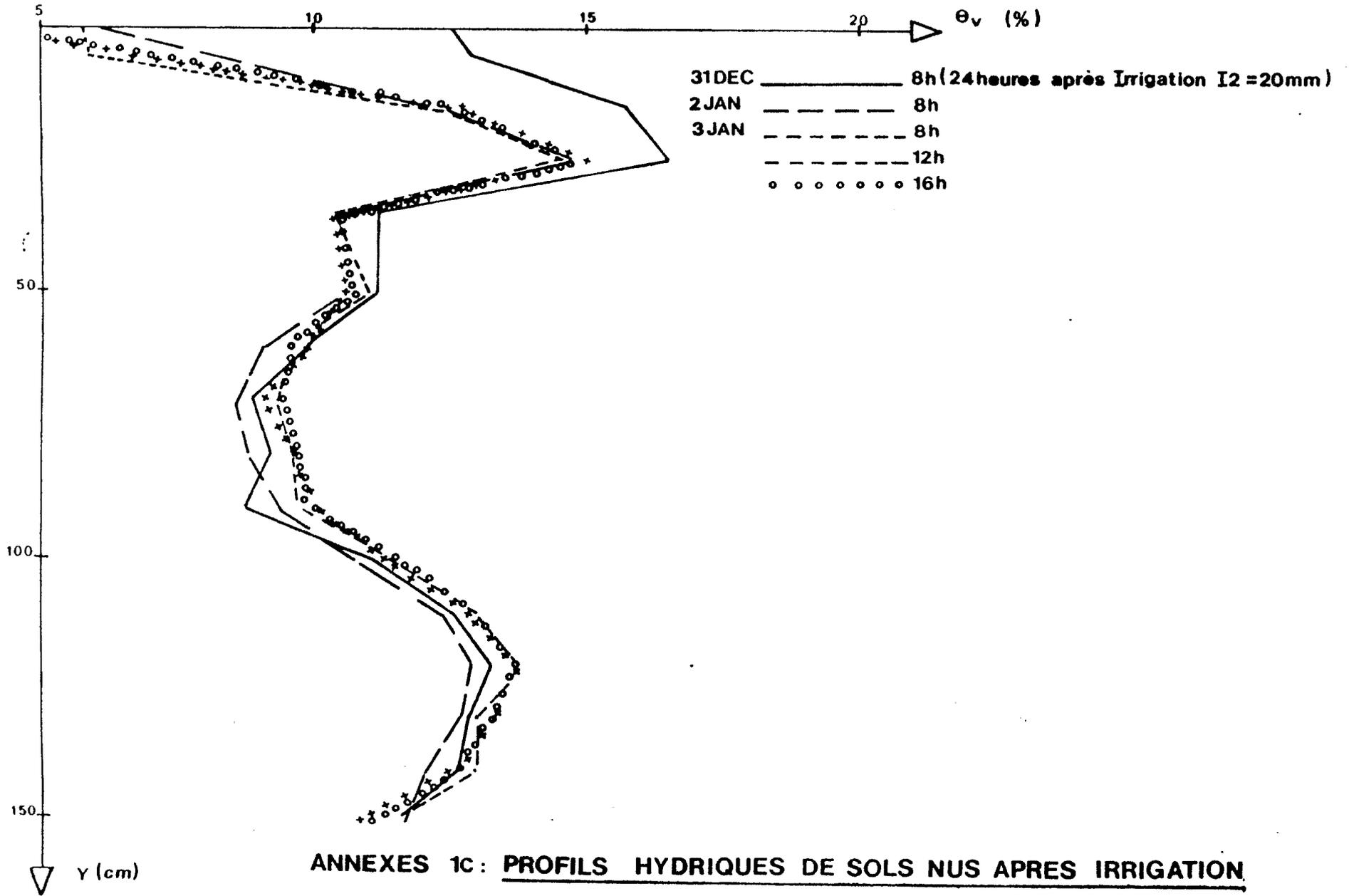
La variabilité spatiale décroît avec le dessèchement du sol mais l'effet "sol" devient de plus important dans le temps.

Pour suivre par gravimétrie la décroissance de l'humidité dans le temps au cours d'un cycle de dessèchement sur les sols sableux d'Adiopodoumé, des mesures horaires sur des placettes de 1 ha semblent suffisantes.

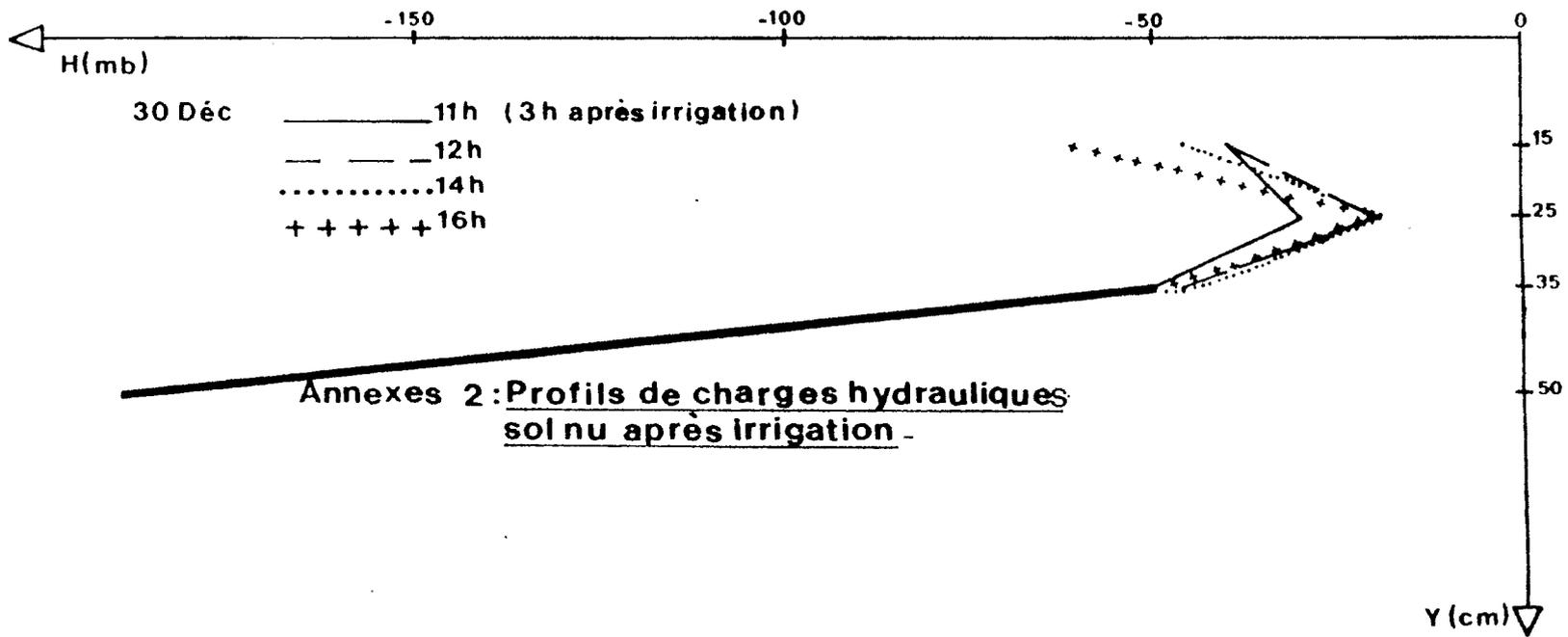
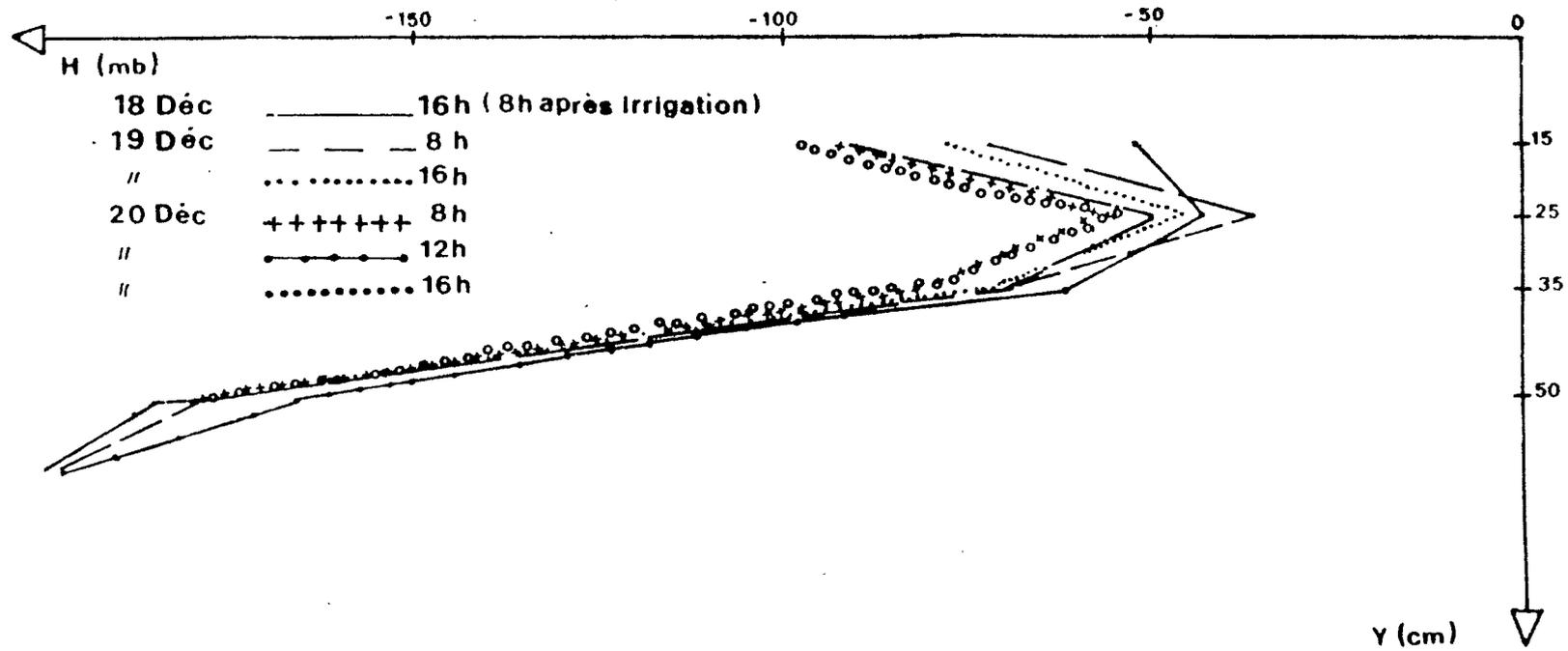
A N N E X E S



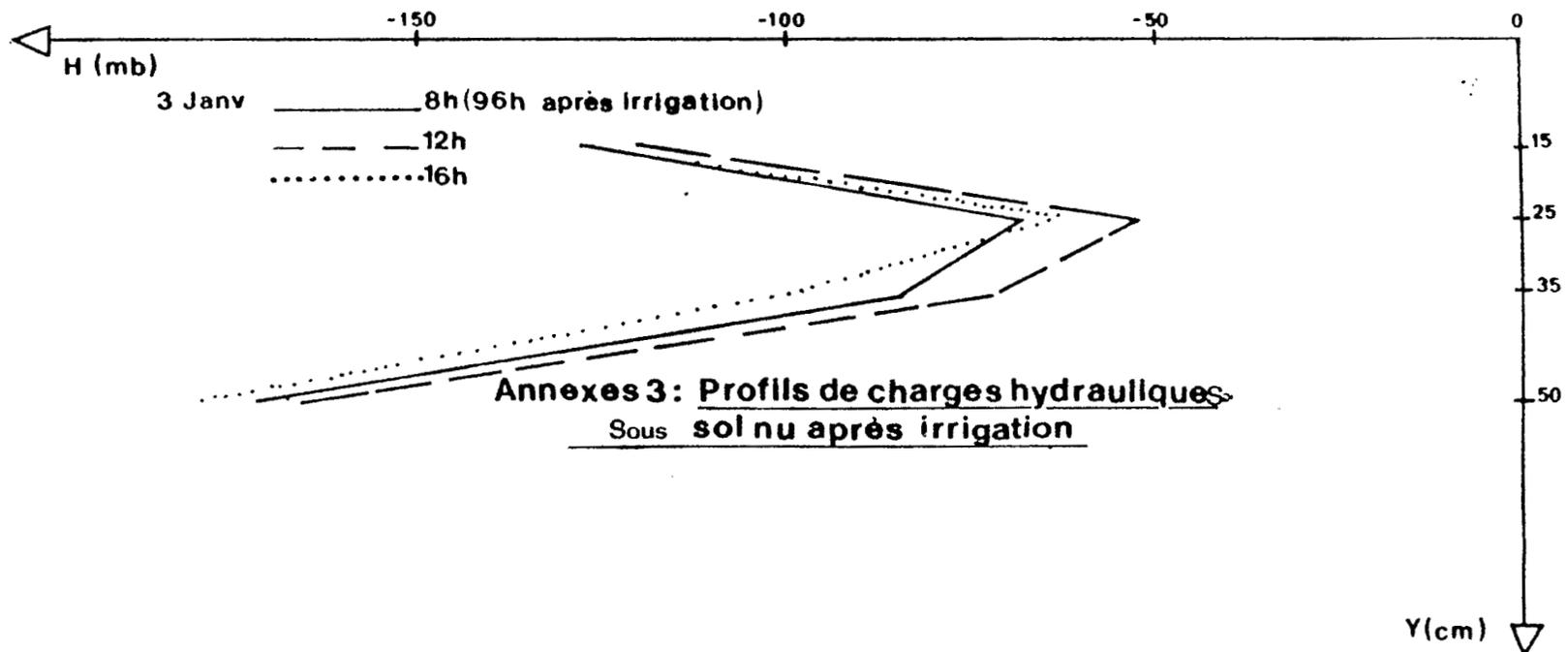
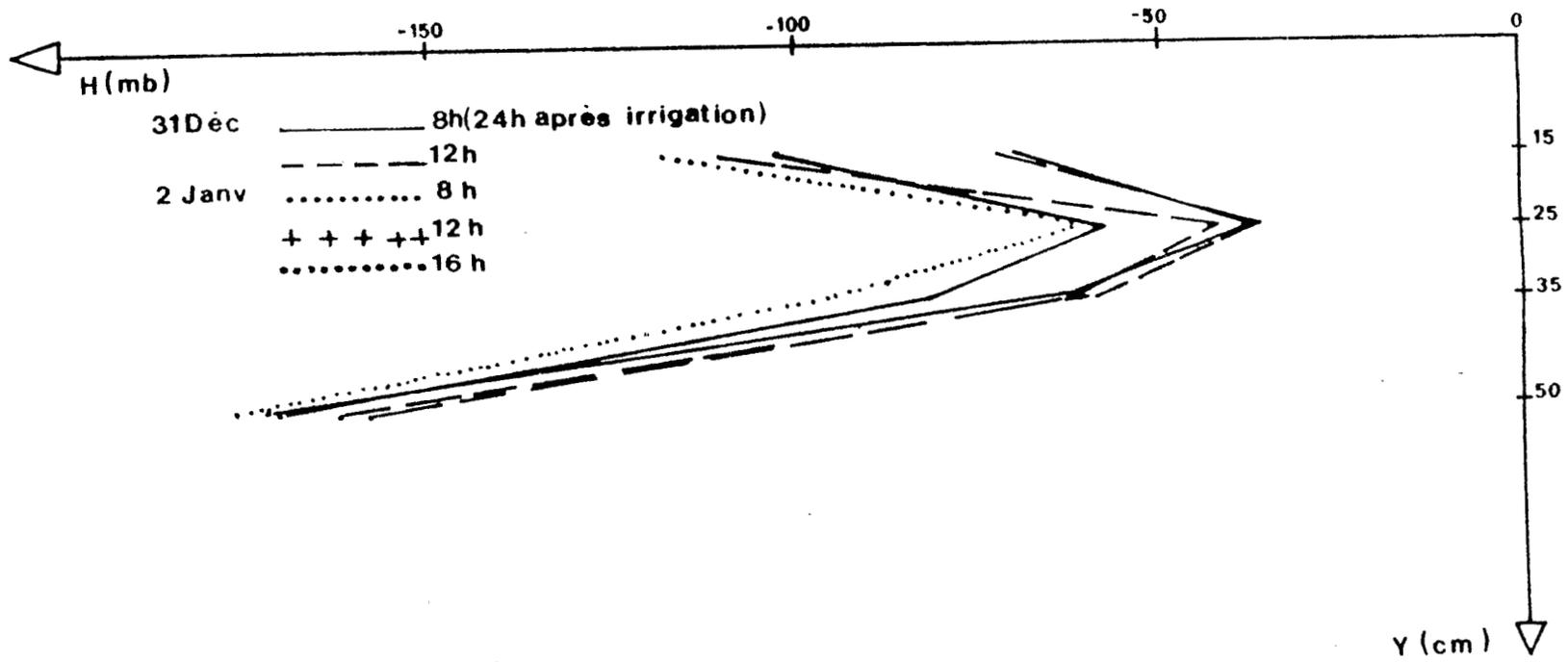




ANNEXES 1c: PROFILS HYDRIQUES DE SOLS NUS APRES IRRIGATION



**Annexes 2 : Profils de charges hydrauliques
sol nu après irrigation -**



Annexes 3: Profils de charges hydrauliques
Sous sol nu après irrigation

BIBLIOGRAPHIE

1. C.H.M. Van BAVEL and D.L. HILLEL
"Calculating potential and actual evaporation from a bare-soil surface by simulation of concurrent flow of water and heat".
Agricultural Meteorology Vol. 17, July 1976.

3. J.M. IRIS
"Analyse et interprétation de la variabilité spatiale de la densité apparente dans trois matériaux ferrallitiques" ou "Variabilité de la densité apparente".
ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 20p., multigr., (1984).