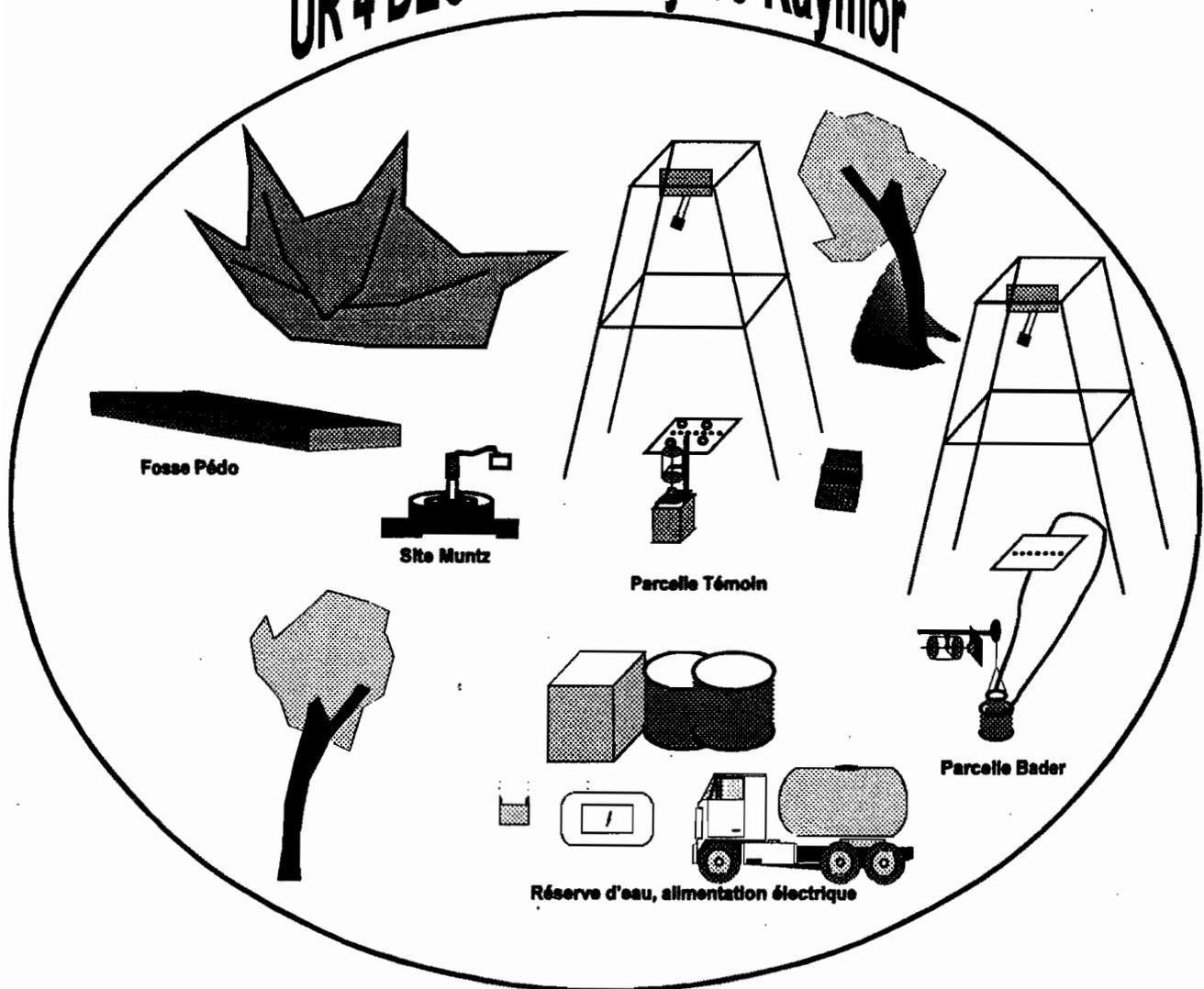


UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



Dossiers préparés par :

- Jean Albergel
- Jean Claude Bader
- Erik Braudeau
- Yannick Pépin
- Olivier Planchor

Dakar, Février 1994

AID VERSE
UR 4 DEC
Année 1993

La communauté rurale de Thyssé Kaymor, le programme "Gestion des Ressources Naturelles" de l'ISRA et le centre ORSTOM de Dakar Hann ont reçu les participants de l'Action Incitative Délocalisée d'animation scientifique du programme VERSE (UR 4 DEC de l'ORSTOM) du 12 au 23 Novembre 1993. L'objectif de cette réunion était de mener une animation autour du thème "Modélisation des flux de la parcelle au versant", en permettant à des chercheurs de l'ORSTOM et à quelques uns de leurs partenaires de participer à une expérimentation de terrain préparée en commun, à échanger des idées en présentant leurs travaux et en confrontant les méthodologies utilisées et les résultats obtenus. Cette réunion a été également l'occasion d'une visite de terrain sur les bassins versants de Thyssé-Kaymor et de discussions sur les orientations de programmes à un moment où se construisaient le nouveau DEC et la nouvelle UR 4 DEC à Paris.

1. Expérimentation de terrain

L'objectif de la manipulation proposée était la comparaison des états de surfaces et de la répartition des flux de ruissellement et d'infiltration sur deux parcelles soumises à la simulation de pluie dont une était équipée d'un système de recyclage. Deux simulateurs de pluie, nouvelle génération, ont été installés et un protocole de trois pluies a été réalisé sur chaque parcelle. Sur l'une des parcelles, le ruissellement produit à l'aval était restitué en amont sous forme d'une lame d'eau qui s'écoule sous la pluie. Une analyse de l'érodibilité des sols par prélèvement a été réalisée suivant un protocole mis au point par N. Castro au Brésil. Elle a profité de cette opération pour avoir un point sur un sol africain dans sa thèse. Les épaisseurs des lames d'eau ruissellantes ont été mesurées avec un dispositif mis au point par Y. Pépin et M. Estèves. E. Braudeau a préparé des rétractomètres de terrain et on a pu suivre le gonflement des sols sous la pluie in situ et leur rétraction pendant la phase de ressuyage. P.O. Ndiaye et P.S. Sarr ont assuré un suivi de l'humidité et des tensions dans les sols. Avant chaque pluie, les états de surface ont été décrits et deux profils du micro-relief ont été relevés. Le simulateur de pluie seconde génération a été présentée par A. Bernard et le dispositif de recyclage des eaux de ruissellement et son intérêt scientifique ont été expliqués par J.C. Bader.

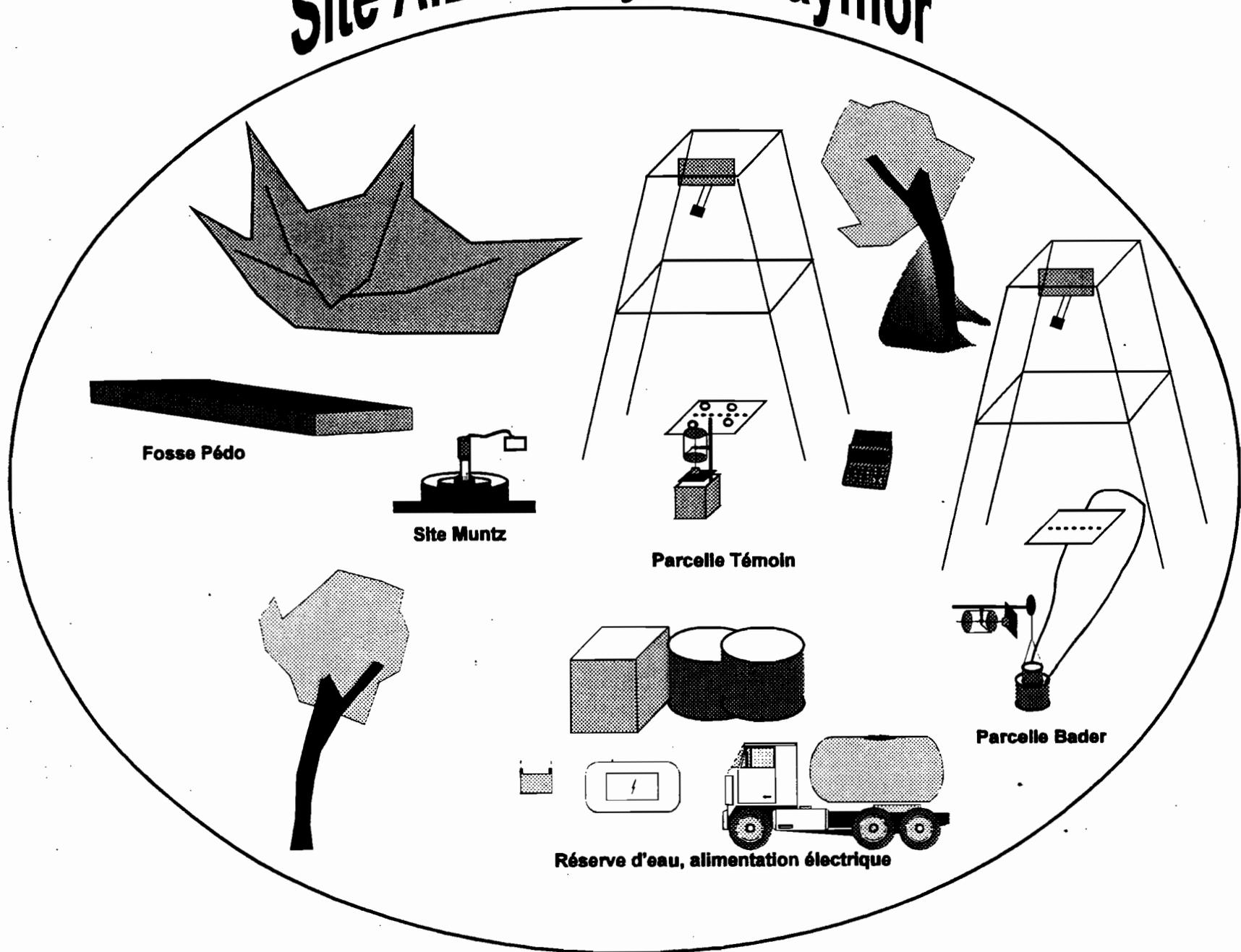
Une fosse pédologique a été décrite en détail par tous les pédologues présents. Une infiltration de type Muntz a été réalisée sur la même unité de sol.

L'ensemble des données acquises au cours de cette expérimentation et de la phase de ressuyage qui a duré jusqu'au 3 Décembre a été saisie sous forme informatique et une première interprétation a été réalisée. Un rapport sous forme d'un ensemble de dossier est proposé à tous les membres du programme VERSE, la disquette comprenant les données brutes pourra être fournie à la demande.

- Dossier 1 : Simulation de pluie, mesure du ruissellement et de l'érosion
- Dossier 2 : Etats de surface
- Dossier 3 : Infiltration Muntz
- Dossier 4 : Humidité et pression de l'eau dans le sol
- Dossier 5 : Description pédologique, caractérisation pédo-hydrique des parcelles de simulation de pluie, rétractométrie in-situ
- Dossier 6 : Réaction d'Olivier Planchon

On espère avoir le plus grand nombre de réactions sur ce travail. Et nous proposons la constitution de petites équipes qui voudraient soit déjà faire une publication sur ces données, soit mettre en route une expérimentation complémentaire pour arriver à une publication. Quatre sujets paraissent intéressants pour un développement qui pourrait être soutenu par les nouveaux crédits de l'AID (56,5 kf) :

Site AID 93 Thyssé-Kaymor



- La modélisation de l'hydrogramme de ruissellement (cf dossier 1)
- L'étude de l'érosion à la parcelle (cf dossier 1)
- La modélisation de la résistance hydraulique des OPS (Organisation Particulière de Surface) (cf dossier 5)
- La mesure in situ du gonflement des argiles (cf dossier 6)

2. Visites effectuées

L'ensemble des dispositifs expérimentaux de Thyssé-Kaymor a été visité et des discussions enrichissantes ont eu lieu sur les méthodologies et les dispositifs de mesure. L. Séguis et B. Mougenot ont conduit une visite sur les sites de suivi de la radiométrie. Les possibilités de déterminer une fonction de production pour les modèles hydrologiques de petits bassins faisant intervenir les indices de végétation et leur variation au cours de la saison des pluies ont été débattues.

A. Gueye a conduit la visite de la station agronomique du Papem et a expliqué les itinéraires techniques de la culture de l'arachide. M. Sène a présenté les aménagements expérimentaux de C.E.S. (Conservation des Eaux et des Sols). J. Albergel a conduit le groupe sur tous les dispositifs de mesures hydrologiques (bassins versants aux échelles emboîtées et parcelles) et a montré les différentes formes de dégradation des sols dans la région et en particulier les impressionnantes ravines du glaciais de raccordement versant-bas-fond. P. Perez a montré le passage recherche-développement en faisant visiter les réalisations paysannes les plus probantes, une discussion chercheurs-paysans s'est spontanément développée. La section dakaroise de l'IST (M. Dukhan) a suivi ces visites et a préparé un film vidéo qui est en cours de montage.

3. Exposés et discussions

Des exposés ont été organisés pendant les temps morts du terrain sous l'arbre à palabres du campement de Keur Dianko. P. Chevallier a présenté la nouvelle organisation du DEC et les projets scientifiques de la nouvelle UR dont il a pris la responsabilité. E. Braudeau a fait un exposé sur la structure des sols tropicaux et leur propriétés hydrodynamiques.

A Dakar, avant le départ sur le terrain, J. Albergel a présenté les activités scientifiques menées dans le cadre Verse au Sénégal et a fait l'historique des travaux sur Thyssé-Kaymor en présentant un diaporama. J.C. Bader a exposé les principes de sa modélisation du ruissellement en nappe et du dispositif de simulation de pluie avec recyclage du ruissellement.

Les 19 et 20 novembre ont été consacrés à des réunions de travail avec différents exposés scientifiques et discussions autour de l'avenir des programmes. C. Valentin a présenté l'évolution des programmes VERSE dans l'UR, donné les échéances de travail et fait part des différentes réunions auxquelles tous sont appelés à participer. Il a resservi son couplet sur les publications et la nécessité de valoriser nos travaux.

S. Galles et C. Peugeot ont présenté la communication sur la dynamique de la brousse tigrée qu'ils avaient préparée dans le cadre de Hapex aux USA.

N. Castro a fait l'état d'avancement de son travail de thèse sur l'érosion des sols de grandes cultures dans le sud du Brésil, cela a été pour elle une première occasion de s'exprimer en français devant un large public. M. Diatta a décrit l'étude de la compétition à l'eau d'une haie vive par rapport à une culture, il a fait également le point sur son travail de thèse "Rôle de l'agro-foresterie dans l'aménagement du paysage agraire en zone sud sahélienne".

M. Sène et P. Pérez ont également parlé de leurs travaux de thèse sur la mécanique des sols, leurs propriétés hydrodynamiques et la culture de l'arachide pour le premier et sur les bilans hydriques des cultures et la dégradation pour le second.

M. Estèves et O. Planchon ont fait respectivement le point des activités VERSE au Niger et au Burkina.

Il est apparu très clairement l'intérêt de favoriser les rencontres et de coordonner les travaux des équipes de l'axe de continentalité : Dakar, Ouaga, Niamey. Deux actions communes ont été décrites, la première dans le cadre SALT réunit déjà les trois équipes depuis un an, la seconde est un projet et est soumise à l'appel d'offres CCE DG 12 " Gestion Durable des Ressources des Versants Sahéliens - GDREV". C. Valentin a fait le point des actions SALT et rassuré les participants sur la continuité et la coordination de ce programme scientifique. J. Albergel a exposé le projet GDREV. Il apparaît également que le dispositif VERSE au Sahel doit impérativement renforcer son potentiel humain au Burkina sous peine de voir O. Planchon jeter l'éponge. Ce renforcement nécessite absolument l'affectation d'un technicien et d'un chercheur. Pour les travaux en cours au Sahel, C. Valentin voit comme échéance 1996 et propose des journées hydro-pédo pour la clôture de cette étape, il propose également un colloque ou un séminaire sur la brousse tigrée ou élargi à toutes les formes de végétation contractée en milieu sec. Il affiche comme nouvelles priorités aux programmes VERSE les liaisons avec les thématiques de changement global des climats et des actions en milieu urbain.

4. Liste des participants :

ORSTOM Niamey:ESTEVEES PEUGEOT MOUGENOT GALLES VALENTIN CASENAVE
ORSTOM Ouagadougou : PLANCHON
ORSTOM Porto-Allègre : CHEVALLIER CASTRO
CIRAD Montpellier : PEREZ
ORSTOM Dakar : ALBERGEL BADER BRAUDEAU SEGUIS BERNARD PEPIN
ISRA Kaolack : DIATTA SENE SARR NDYEYE GUEYE BOSCHER
UCAD Dakar : DACOSTA

5. Bilan financier

Un crédit de 67.5 KF a été promis pour cette AID, 80% (soit 54KF) ont été délégués le 27/07/1993 et 10 KF sont arrivés en fin d'année : somme effectivement disponible 64KF ou 3 200 000 FCFA. Au titre d'une réserve d'AID 24 KF ont été directement redélégués à des programmes correspondant aux objectifs de l'AID et en difficulté financières, 12 KF pour le programme Chevallier au Brésil et 12 KF pour le projet Loyer-Descroix au Mexique.

Délégation AID	2 700 000 F
Délégation complémentaire UR	500 000 F
Total	3 200 000 F

Soutien de programmes

Programme Chevallier	600 000 F
Programme Loyer Descroix	600 000 F

Opération Animation Scientifique

.....	Quantité	Prix unité	Total
Voyages A-R Niamey	3	168 300 F	504 900 F
Voyages A-R Ouagadougou	1	141 800 F	141 800 F
Déplacement Bernard	du 12/10/93 .....	.....	29 961 F
Déplacement Bernard	du 12/11/93 .....	.....	179 766 F
Déplacement Dukhan .....	.....	.....	42 742 F
Déplacement Brunet .....	.....	.....	59 922 F
Déplacement Diatta .....	.....	.....	24 726 F
Carburant (4 véhicules).....	500	250 F	125 000 F
Main d'oeuvre installation + manip .....	.....	.....	229 260 F
Gardiennage site .....	.....	.....	51 000 F
Transports solides labo chimie	76	150 F	11 400 F
Granulométrie labo de chimie	30	2 000 F	60 000 F
Petit matériel manip .....	.....	.....	343 785 F
Petit matériel campement .....	.....	.....	250 000 F
Total réunion sénégal .....	.....	.....	2 054 262 F

Total AID **3 254 262 F**

F = Franc CFA avant dévaluation 1 FF = 50 F CFA

N.B. Les frais d'édition du rapport comme tous les frais de correspondances (courrier, Fax, Téléx) sont à rajouter à ce bilan.

UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



**Dossier 1 : Simulation de pluie,
mesure du ruissellement et de l'érosion**

DOSSIER : SIMULATION DE PLUIE. MESURE DU RUISSELLEMENT ET DE L'EROSION

PARCELLE TEMOIN

MESURES EFFECTUEES

Trois averses ont été simulées sur la parcelle témoin, conformément au protocole retenu à l'avance:

- le 15 Novembre à 18H44', averse A de 71,0 mm pendant 81'06" (récurrence annuelle)
- le 16 Novembre à 17H29', averse B de 60,8 mm pendant 61'03" (intensité constante)
- le 17 Novembre à 17H51'37", averse C de 86,2 mm pendant 81'06" (intensité croissante puis décroissante)

Le nombre de vidanges effectuées pendant les averses est de 1, 1 et 2 respectivement pour A, B et C.

Des prélèvements d'eau ruisselée ayant été faits pour mesurer le débit solide à la sortie de la parcelle, le dépouillement des ruissellogrammes a été fait de deux façons différentes, par numérisation automatique (table SummaSketch Professional MM1812, programme "Tablette") avec des intervalles de saisie inférieurs à 1 minute entre points successifs. Un point a été saisi systématiquement au début et à la fin de chaque plage de prélèvement, bien visible sur les diagrammes.

1ere méthode: périodes de prélèvements d'eau interprétées comme des vidanges de cuves, et évaluation des débits ruisselés pendant ces périodes, par interpolation des débits adjacents.

2eme méthode: volume d'eau prélevé ajouté au volume ruisselé cumulé à la fin de chaque période de prélèvement.

Les résultats donnés par la première et la deuxième méthode sont quasi identiques, puisqu'on obtient respectivement pour les lames ruisselées totales: 45,9; 46,8; 67,8 mm et 45,5; 46,7; 67,9 mm pour les averses A, B et C. Les tableaux et figures présentés en annexe donnent les résultats obtenus avec la seconde méthode de dépouillement.

On y indique toutes les minutes la lame ruisselée cumulée L, évaluée par interpolation linéaire à partir des points numérisés, ainsi que le débit ruisselé moyen Q calculé sur deux minutes.

Les transports solides sont donnés de façon instantanée avec la teneur TS, exprimée en poids par unité de volume ruisselé (le temps indiqué représentant alors l'instant de début de prélèvement), et de façon cumulée avec le poids total évacué TS, calculé en intégrant le produit du débit ruisselé Q par la teneur TS. Les valeurs de TS correspondent aux teneurs en matière solide trouvées pour les échantillons prélevés, auxquelles ont été soustraites les teneurs moyennes des échantillons témoins (matière solide apportée par la pluie), qui valent respectivement pour les averses A, B et C: 13, 55 et 62 mg.l⁻¹. Pour obtenir le poids total de sédiments transportés, il faut ajouter aux valeurs finales de TSC indiquées dans les tableaux, le poids de sédiments restés piégés (et récupérés à la fin des averses) dans le caniveau et la goutlotte de la parcelle, qui vaut respectivement: 34,9; 30,1 et 45,2 g pour les averses A, B et C.

Enfin, les tableaux décrivent la succession des intensités de pluie I appliquées pendant les averses.

RESULTATS OBTENUS

Les coefficients de ruissellement Kr indiqués dans le tableau suivant sont très forts, même pour la première averse appliquée sur un sol très sec (dernière averse naturelle survenue avant l'expérimentation: 23 mm, les 26 et 27 Octobre).

averse	pluie (mm)	lame ruisselée (mm)	lame infiltrée (mm)	Kr (%)
A	71,0	45,5	25,5	64,1
B	60,8	46,6	14,2	76,6
C	86,2	67,9	18,3	78,8

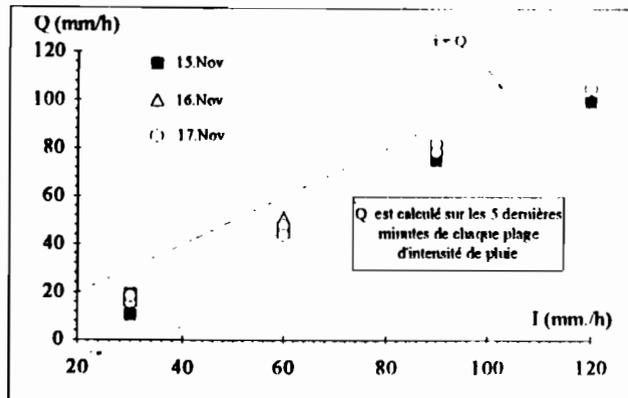
La pluie d'imbibition marquant le début du ruissellement vaut respectivement 8,5; 3,0 et 2,7 mm pour les averses A, B et C. En considérant que l'infiltration cesse au moment de l'arrêt du ruissellement, la lame infiltrée totale rapportée au temps d'infiltration (86', 66' et 86') donne un flux infiltré moyen de 17,8; 12,9 et 12,8 mm.h⁻¹.

Les changements instantanés d'intensité de pluie pendant les averses, sont suivis de phases de ruissellement hautement transitoire dont la durée n'excède pas 3 ou 4 minutes. Ces périodes correspondent à une variation rapide du stock d'eau en surface, qui évolue vers une valeur correspondant à un ruissellement Q en quasi-équilibre avec l'intensité de pluie I et le flux infiltré F, et vérifiant:

$$I = Q + F$$

La figure 1 montre les variations du débit ruisselé quasi-stabilisé régi par la relation précédente, calculé sur les 5 dernières minutes de chaque plage d'intensité de pluie, en fonction de cette dernière. On constate que les points relatifs aux trois averses s'organisent assez bien suivant une droite quasiment parallèle à la première bissectrice, avec un décalage d'environ 10 à 20 mm/h représentant le flux infiltré F qui se caractérise donc par des valeurs faibles et peu variables.

figure 1
débit ruisselé stabilisé
en fonction de l'inten-
sité de pluie, sur la par-
celle témoin



Les deux figures suivantes montrent les variations du flux infiltré F évalué par la relation précédente en dehors des phases de régime hautement transitoire, en fonction du temps (figure 2), et de l'intensité de pluie (figure 3). Une décroissance assez nette en fonction du temps s'observe pendant la première demi-heure de chaqueaverse. Il semble par contre n'y avoir aucune relation entre F et I.

figure 2 : flux infiltré F en fonction du temps
pour la parcelle témoin

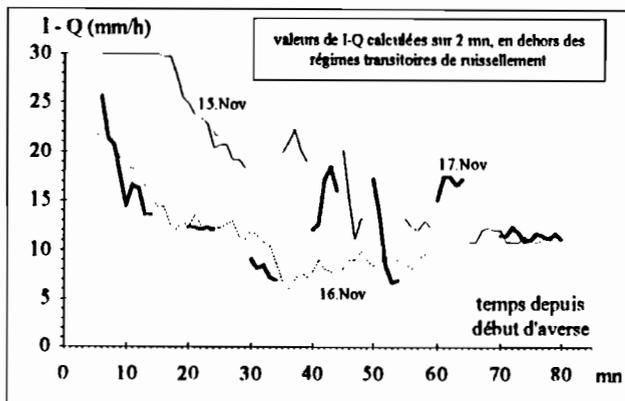
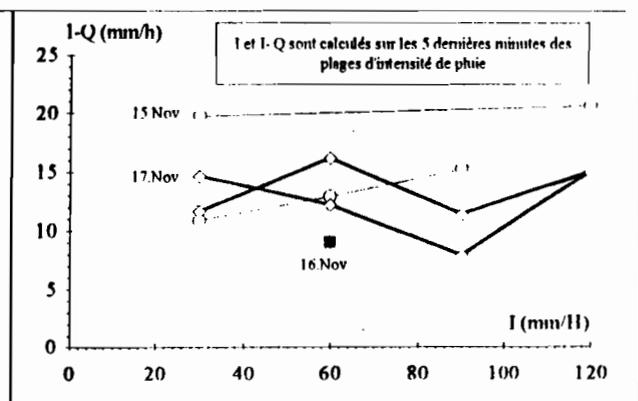
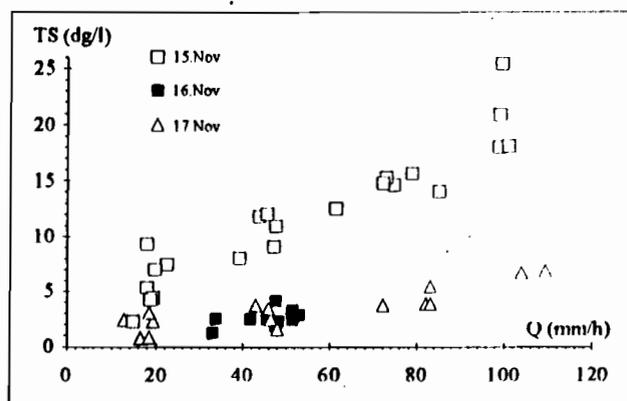


figure 3 : flux infiltré F en fonction de l'intensité
de pluie pour la parcelle témoin



Pour le **transport solide**, si l'on excepte les 33 premières minutes de la premièreaverse, où le ruissellement fait apparaître des concentrations très fortes (dont au moins deux sont erronées: 4eme et 6eme échantillons), on obtient une assez bonne relation entre le débit ruisselé Q et la concentration TS, comme le montre la figure 4. La premièreaverse se distingue des deux suivantes par des concentrations beaucoup plus fortes. On notera que les indications données par les valeurs de TS sont à manier avec beaucoup de prudence, compte tenu de la part importante de transport solide restant piégée dans le caniveau et la goulotte (34,9; 30,1 et 45,2 g respectivement pour les averses A, B et C).

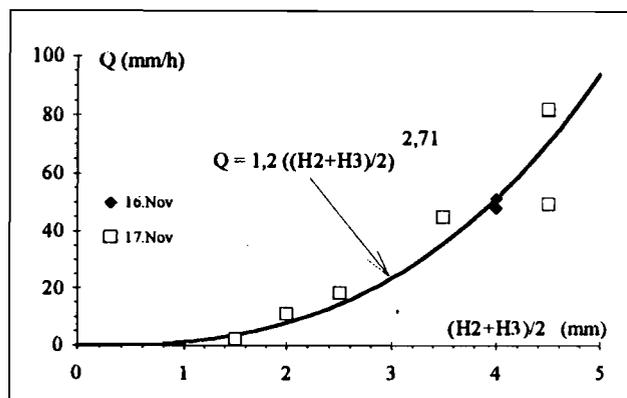
figure 4
concentration en ma-
tière solide transportée
en fonction du débit
ruisselé, sur la parcelle
témoin



Les épaisseurs de lame d'eau mesurées au millimètre près sur la parcelle pendant les averses, sont indiquées en annexe. Ce ne sont que des valeurs ponctuelles qu'il convient de manier avec précaution. Pour l'épaisseur H1, mesurée à 14,4 cm de la bordure amont de la parcelle, on obtient des valeurs très faibles s'accordant bien au fait que le flux ruisselé

est forcément toujours faible à cet endroit. Pour H4, mesuré à 11 cm de la bordure aval, les valeurs sont également très faibles, ce qui est beaucoup moins logique. Il est possible que le point de mesure de H4 ait été situé sur un point haut de la microtopographie. Seules les mesures de H2 et H3, effectuées à 49,5 et 29 cm de la limite aval, présentent des variations cohérentes et significatives, d'un ordre de grandeur supérieur à la précision de la mesure. La figure 5 présente la relation qui s'établit entre le débit ruisselé et la moyenne de H2 et H3.

figure 5
relation entre débit ruisselé et épaisseur moyenne de lame d'eau en surface, sur la parcelle témoin



PARCELLE AVEC RECYCLAGE DU RUISSELLEMENT

MESURES EFFECTUEES

Le principe du recyclage effectué sur la parcelle, consiste à injecter en continu à sa limite amont pendant les averses, un débit ruisselé égal au débit ruisselé recueilli à sa limite aval. La parcelle ainsi testée, recouverte d'un flux ruisselé uniforme, est alors sensée reproduire le ruissellement uniforme qu'on peut théoriquement observer au delà d'une certaine longueur de pente, croissante avec le temps, pendant une averse tombant sur un versant homogène.

Le système de recyclage et de mesure du ruissellement (cf rapport J.C. Bader, Lomé, 1990), confronté à des conditions assez défavorables sur la parcelle YR expérimentée, a malheureusement connu des défaillances qui n'ont pas permis de respecter le protocole initialement prévu, identique à celui de la parcelle témoin. Les trois averses simulées ont été les suivantes:

-le 15 Novembre à 18h25', averse D de 36,2 mm pendant 46'12". Le couvert végétal d'herbes sèches ayant été tondu au ciseau sur la parcelle quelques jours avant l'expérimentation, le ruissellement s'est chargé d'un transport de paille important lors de cette averse. Ces débris plus ou moins flottants ont provoqué le bouchage progressif du siphon récepteur de ruissellement, et l'encrassement rapide de la pompe servant à vidanger la cuve réceptrice vers la cuve de réinjection. Ces déboires ont montré qu'il était nécessaire à la fois d'agrandir le décanteur situé à la sortie de la parcelle, et d'y ajouter un système d'écumage. A cet effet, un dispositif rudimentaire a été mis en place avant la seconde averse, de même qu'un filtre à l'entrée du tuyau d'aspiration de la pompe de vidange.

-le 16 Novembre à 17h27', averse E de 39,4 mm pendant 85'. Un nouveau problème est apparu, dû cette fois à l'augmentation très rapide du ruissellement, qui a fini par atteindre la valeur maximale de débit pouvant transiter dans le système de recyclage, tel qu'il était dimensionné et positionné: environ 360 l/h. Le stockage d'eau induit dans le système par ce débit pour vaincre les pertes de charge associées, s'est traduit par une hausse d'environ 2,5 cm du niveau dans la cuve de recyclage (soit environ 4 litres d'eau stockée), qui s'est alors mise à déborder. Ceci montre qu'il est nécessaire, pour utiliser le système de recyclage sur des sols très ruisselants, de diminuer de façon importante les pertes de charge situées en aval de la cuve de réinjection, en remplaçant par exemple le tuyau souple de raccordement au déversoir par un tuyau blindé plus court et de plus grand diamètre.

-le 17 Novembre à 17h56', averse F décomposée en 14,0 mm pendant 33'30", avec recyclage, suivis après l'arrêt du ruissellement de 10,4 mm pendant 25', sans recyclage. Faute du matériel nécessaire sur place, le problème de limitation du débit recyclable apparu la veille n'avait pu être résolu avant cette double averse. Aussi, la solution retenue a-t-elle été de stopper l'averse avec recyclage, avant l'apparition d'un débordement. Les résultats obtenus sont donc entièrement exploitables - contrairement à ceux des averses D et E - au défaut près que le stockage de volume important dans le système de recyclage, induit un retard dans la transmission des variations de ruissellement, de l'aval vers l'amont de la parcelle.

Le nombre de vidanges effectuées pendant le ruissellement est de 2, 16 et 10 respectivement pour les averses D, E et F. Les ruissellogrammes ont été dépouillés de la même façon que pour la parcelle témoin, sans les opérations liées, pour cette dernière, aux prélèvements de transport solide. Les tableaux et figures présentés en annexe donnent les

résultats obtenus. On y indique toutes les minutes la lame ruisselée cumulée L, évaluée par interpolation linéaire à partir des points numérisés, ainsi que le débit ruisselé moyen Q calculé sur trois minutes.

RESULTATS OBTENUS

La pluie d'imbibition vaut respectivement 5,2; 3,0 et 2,7 mm pour les averses D, E et F. Ces valeurs sont très proches des valeurs obtenues pour la parcelle témoin.

Pour l'averse D, la lame infiltrée est égale à la hauteur de pluie (36,2 mm) diminuée, d'une part, des pertes survenues dans le système de recyclage entre les temps 28'30" et 40' (débordement du siphon récepteur bouché) et, d'autre part, du ruissellement non recyclé survenu après le temps 47' (pose de la cuve réceptrice au fond de la cuve de réinjection, du fait de l'impossibilité de vidange avec la pompe encrassée). Les deux termes à soustraire à la hauteur de pluie peuvent être estimés, par un calcul présenté en annexe, à 12,6 et 6,9 mm. La lame infiltrée vaut donc 16,7 mm, et le flux infiltré moyen 18,9 mm.h⁻¹ (=16,7X60:(47+6)).

Pour l'averse E, la lame infiltrée est égale à la hauteur de pluie (39,4 mm), diminuée des pertes par débordement de la cuve de réinjection constatées entre les temps 38' et 58' (évaluées à 6,3 mm en annexe), et qu'on peut également suspecter entre le temps 58' et la fin de l'averse (évaluées à 7,4 mm en annexe). La lame infiltrée vaut donc 33,1 mm dans l'hypothèse 1 où le débordement se produit entre les temps 38' et 58', et 25,7 mm dans l'hypothèse 2 où le débordement s'est prolongé du temps 58' à la fin de l'averse. Le flux infiltré moyen vaut 12,2 mm.h⁻¹ (=33,1:163X60) dans l'hypothèse 1, et 9,5 mm.h⁻¹ (=25,7:163X60) dans l'hypothèse 2.

L'évaluation de la lame d'eau infiltrée ne pose pas de problème pour l'averse F. Pendant la première phase avec recyclage, elle est égale à la pluie appliquée (14,0 mm), par le principe même de la mesure. Pendant la seconde phase, sans recyclage, elle vaut la pluie (10,4 mm) moins la lame ruisselée (8,7 mm, que l'on peut assimiler à une perte, par souci d'homogénéité), soit 1,7 mm. La durée de l'infiltration valant respectivement 138' et 33' pour la première et la seconde phase de l'averse, le flux infiltré moyen vaut respectivement 6,1 et 3,1 mm.h⁻¹, et on obtient une valeur moyenne de 5,5 mm.h⁻¹ sur l'ensemble de la double averse.

Le tableau suivant résume les bilans de lames d'eau pour les averses D, E et F:

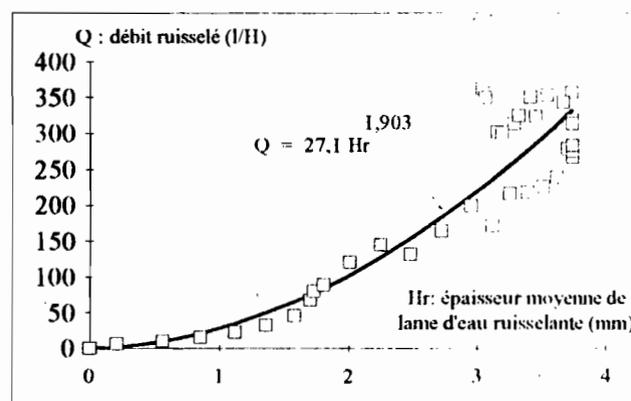
averse	D	E (hypothèse 1)	E (hypothèse2)	F
pluie (mm)	36,2	39,4	39,4	24,4
lame infiltrée (mm)	16,7	33,1	25,7	15,7
flux infiltré moyen (mm.h ⁻¹)	18,9	12,2	9,5	5,5
pertes (mm)	19,5	6,3	13,7	8,7
lame ruisselée (mm)	85,2	570,4	570,4	341,8

Les épaisseurs de lame d'eau mesurées en surface de la parcelle YR, données en annexe, ont pu être reliées de façon cohérente au débit ruisselé (uniforme, rappelons le) pendant l'averse F. La figure 6 décrit les variations de Hr, épaisseur de lame d'eau ruisselante calculée toutes les minutes par interpolation linéaire à partir des points mesurés, en fonction du débit ruisselé Q. Le début du ruissellement se produisant au temps 6', Hr est estimé au temps t par:

$$Hr(t) = (H1(t)-H1(6')+H2(t)-H2(6')+H3(t)-H3(6')+H4(t)-H4(6'))/4$$

Lors de l'averse D, un filtre grossier en grillage avait été placé à l'entrée de la goutte pour retenir les pailles transportées. Malgré la surveillance et le nettoyage régulier de ce filtre pendant l'averse, une obstruction importante s'est produite par moments et a entraîné une hausse artificielle du niveau sur la parcelle, rendant ainsi les épaisseurs de lame d'eau mesurée difficilement interprétables.

figure 6
relation entre débit ruisselé et épaisseur moyennede lame d'eau ruisselante, sur la parcelle avec recyclage



L'ajustement par les moindres carrés d'une courbe de type $Q = a \cdot Hr^b$, avec Q en l/h et Hr en mm, donne 27.1 et 1.903 comme valeurs optimales pour a et b . On remarquera que 1.903 est assez proche de 1.67 (= 5/3), valeur correspondant à la formule de Manning-Strickler. La fonction inverse donne:

$$Hr = F1(Q) = 0,1766 \cdot Q^{0,525}$$

Le stockage d'eau dans le système de recyclage, dû à des pertes de charge trop importantes dans les tuyaux, peut être évalué approximativement à partir de l'hydrogramme de l'averse F du 17 Novembre. En effet, entre les instants 6' et 131', marquant respectivement le début et la fin du ruissellement, le stock total Ht constitué de la lame d'eau ruisselante en surface de parcelle Hr , et de l'eau stockée dans le système de recyclage Hs , varie comme l'intégrale de la différence entre intensité de pluie I et intensité d'infiltration F , en fonction du temps:

$$Ht(t+Dt) = Ht(t) + (I - F) \cdot Dt$$

En faisant l'hypothèse d'une infiltration constante de $5,5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (qui est à la fois le flux infiltré moyen sur l'ensemble de l'averse F , et la valeur obtenue pour infiltrer la pluie tombée entre les temps 6' et 33'30" sur l'intervalle de temps compris entre 6' et 131'), on peut ainsi reconstituer Ht avec une valeur toutes les minutes entre les temps 6' et 131'. La figure 7 montre la relation liant les valeurs de Ht obtenues avec le débit ruisselé Q mesuré. La relation moyenne entre Ht et Q est assez bien représentée par l'hyperbole (également représentée sur la figure 7) d'équation:

$$(1 + Q/55,2)^2 - (Ht/1,21)^2 = 1$$

Cette équation donne:

$$Ht = F2(Q) = 1,21 \cdot ((1 + Q/55,2)^2 - 1)^{0,5}$$

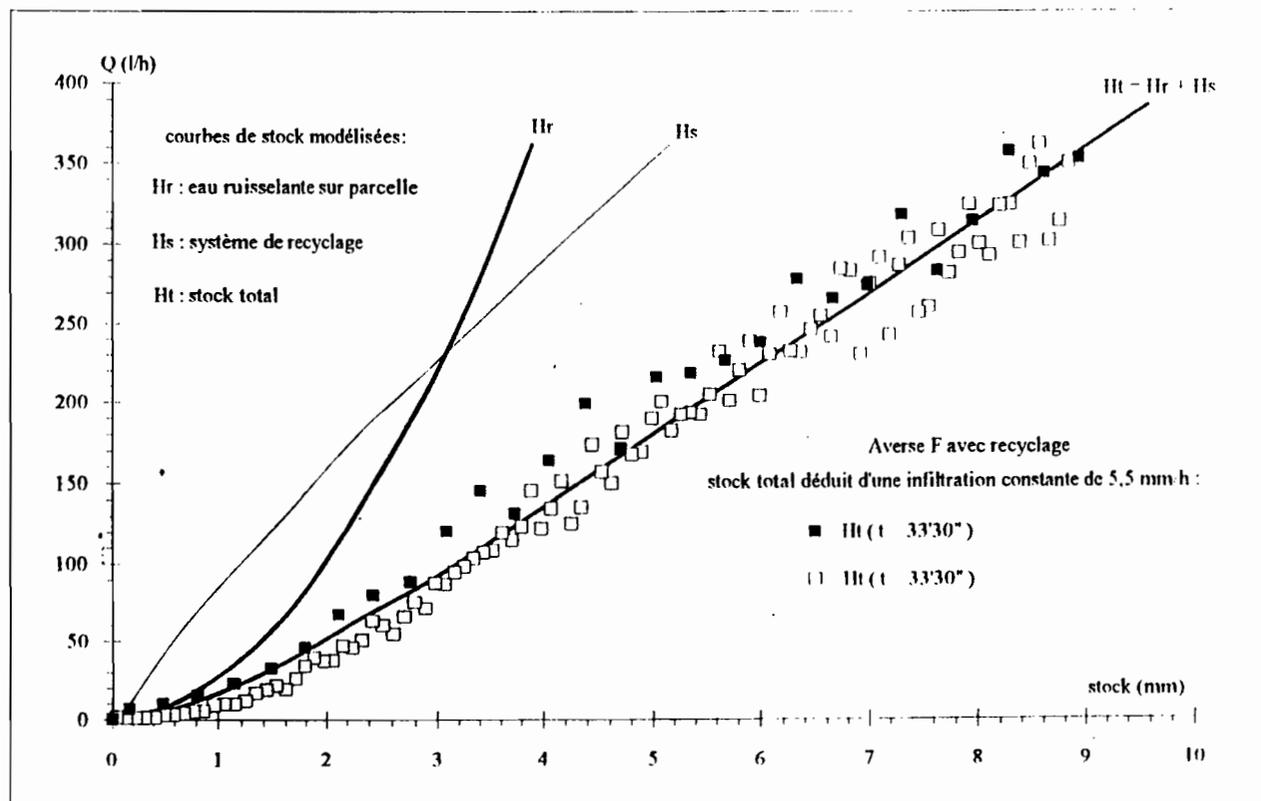
Sur la figure 7 sont également représentées la courbe $Q(Hr) = 27,1 \cdot Hr^{1,903}$, ainsi que la courbe:

$$Hs(Q) = Ht(Q) - Hr(Q) = F2(Q) - F1(Q)$$

On constate que loin d'être négligeable, le stock d'eau dans le système de recyclage dépasse la lame d'eau ruisselante sur la parcelle pour les débits supérieurs à $230 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Pour un débit de $360 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, la courbe donne une valeur d'environ 5 mm pour Hs . Cette valeur est compatible avec la valeur de 4 litres de stock constatée dans la cuve principale (hausse de 2,5 cm du niveau par rapport à la position de repos), au moment du débordement de celle-ci qui se produit vers un débit d'environ $360 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. La différence de 1 litre peut correspondre au stock emmagasiné pour ce débit, dans le siphon récepteur et dans le déversoir amont.

Figure 7:

volume d'eau stocké en fonction du débit ruisselé. Evaluation faite sur l'averse F , avec recyclage du ruissellement



La modélisation du ruissellement produit à partir du temps 6' lors de l'averse F, peut être facilement faite à partir du raisonnement mené plus haut, en inversant la relation $Ht = F2(Q)$.

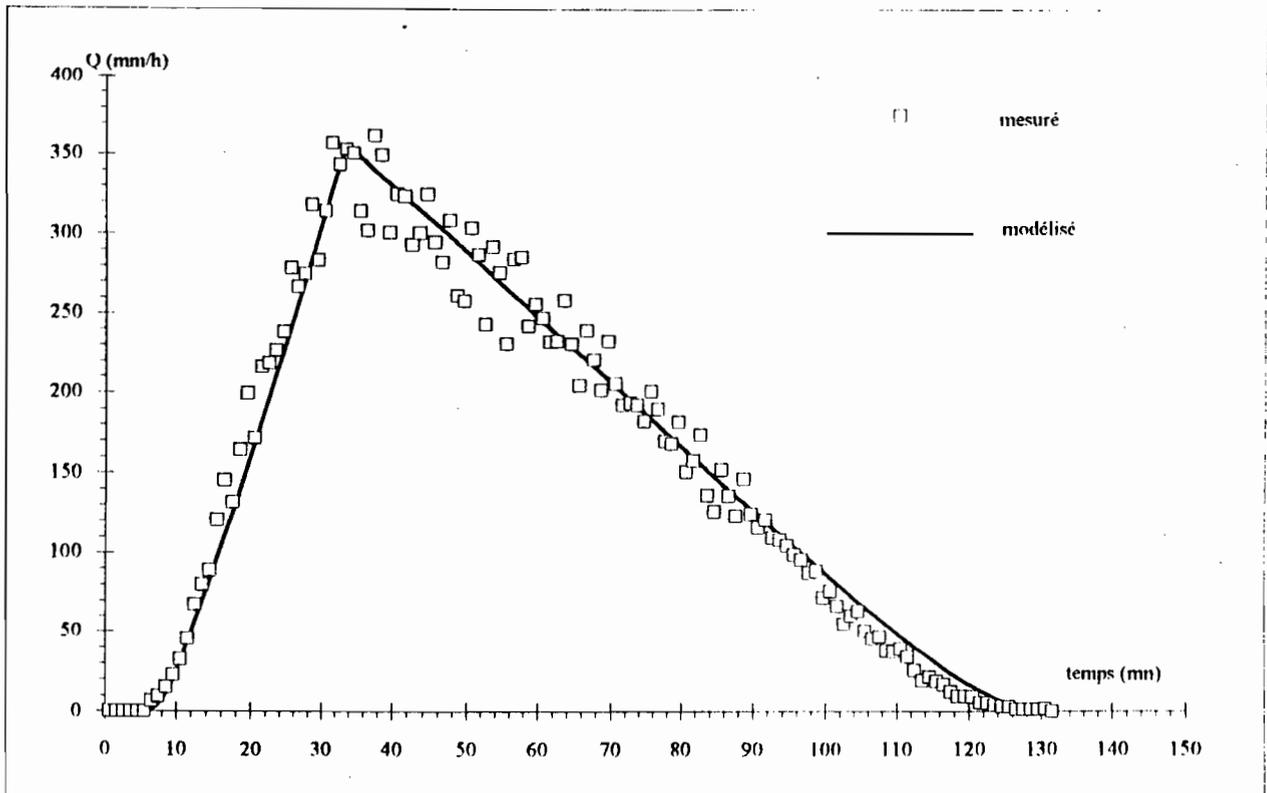
$$Ht(t+Dt) = Ht(t) + (I - F) \cdot Dt$$

$$Q(Ht) = 55,2 \cdot ((1 + (Ht/1,21)^2)^{0,5} - 1)$$

Le résultat de cette discrétisation appliquée au pas de temps de 1 minute, reproduit correctement les débits mesurés (figure 8).

figure 8 :

Comparaison du débit ruisselé mesuré et modélisé, lors de l'averse F avec recyclage.



Le biais introduit par les pertes de charge du système de recyclage, sur la reproduction du ruissellement relatif à une grande longueur de pente, peut être évalué par une modélisation numérique. Dans ce calcul, on envisage un hyétogramme identique à celui de l'averse F ($I = 25\text{mm/h}$ pendant 33'30"), un flux infiltré F constant de 5,5 mm/h, une hauteur minimale de pluie d'imbibition HL de 1,95 mm et une surface présentant la relation $Hr = F1(Q)$. En notant x l'abscisse, t le temps et H le stock d'eau accumulé en surface (non ruisselante pour $H < HL$, et ruisselante pour la partie dépassant HL) et éventuellement dans le système de recyclage, le modèle discrétisé est le suivant :

$$H(x,t) \leq HL \implies Q(x,t) = 0$$

$$H(x,t) > HL \implies Q(x,t) = G(H(x,t)) \text{ avec } G: \text{ fonction croissante}$$

$$H(x,t) > 0 \implies F(x,t) = 5,5 \text{ mm/h}$$

$$H(x,t) = 0 \implies F(x,t) = 0 \text{ mm/h}$$

$$H(x,t+Dt) = (\text{Max}(0, H(x,t) + ((I - F(x,t)) \cdot Dx + Q(x-Dx,t) - Q(x,t)) \cdot Dt)) / Dx$$

Partant d'un stock d'eau H nul à l'instant $t=0$ où débute l'averse, le système d'équations est résolu par pas de temps successifs Dt . Dans le cas de la modélisation d'une parcelle avec recyclage du ruissellement, le système consiste en un unique jeu d'équation, pour l'abscisse $x=1$, et on a $Q(x-Dx,t) = Q(x,t)$. Dans le cas d'une modélisation le long d'un versant homogène de longueur $N \cdot Dx$, le système est résolu à chaque pas de temps pour les abscisses successives de rang 1 à N . Avec un pas de temps Dt de 0,1 seconde et un pas d'abscisse Dx de 1m, les modélisations suivantes ont été faites :

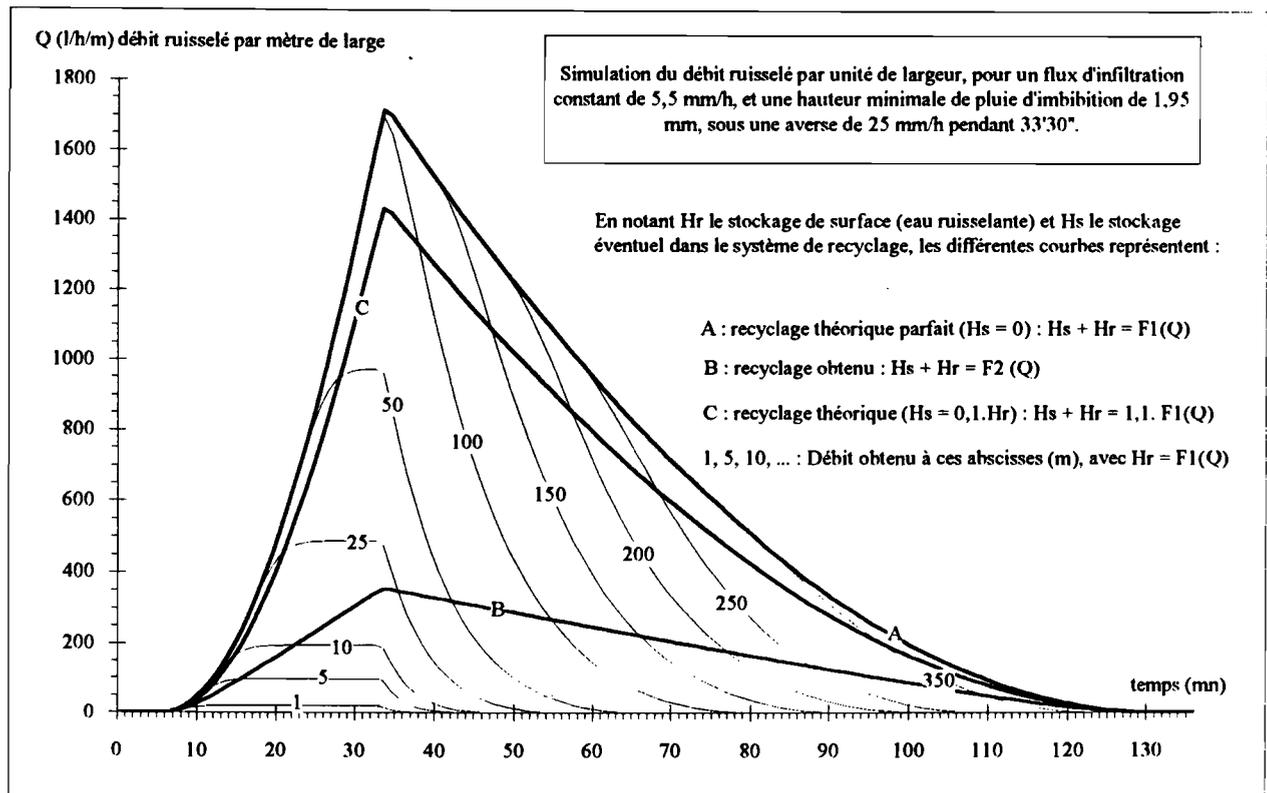
--Recyclage théorique parfait (figure 9, courbe A), accompagné d'aucune perte de charge et donc d'aucun stockage d'eau dans le système: $Hs = 0$. On a alors: $H = F1(Q)$ pour $H > HL$, et $Q = G(H) = 27,1 \cdot H^{1,903}$.

--Recyclage obtenu lors de l'averse F de l'AID, avec $H = F2(Q)$ pour $H > HL$, et $Q = 55,2((1+(H/1,21)^2)^{0,5}-1)$. Le résultat

obtenu (figure 9, courbe B) est identique à celui de la modélisation présentée sur la figure 8.
 --Recyclage théorique pour un stock dans le système, égal au dixième du stock ruisselant en surface: $H_s = 0,1.H_r$. On a alors: $H = H_r + H_s = 1,1.H_r = 1,1.F1(Q)$ pour $H > H_L$, et donc: $Q = G(H) = 22,6.H^{1,903}$. Voir figure 9, courbe C.
 --Ruissellement le long de la pente, pour différentes abscisses comprises entre 1 et 350 m (figure 9, courbes 1; 5 etc.)

figure 9 :

Averse F du 17 Novembre, avec flux infiltré de 5,5 mm/h. Modélisation du débit recyclé obtenu, du débit recyclé théorique parfait, et du débit ruisselé à différentes longueurs de pente.



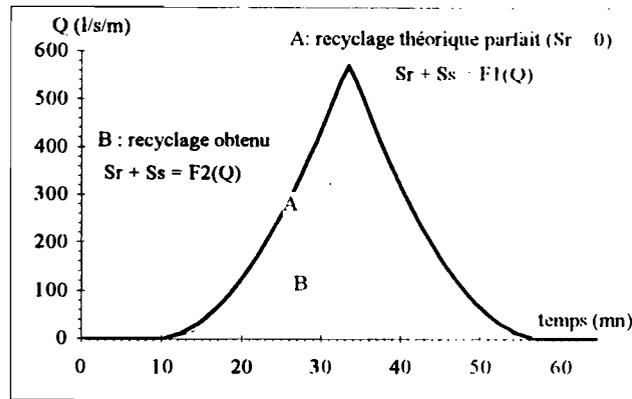
On constate tout d'abord que le recyclage théorique sans perte de charge (courbe A), représente bien le ruissellement maximal obtenu le long de la pente (pour des abscisses supérieures à une limite XL valant 400 m environ) pour l'averse retenue. Ce genre de résultat avait déjà été obtenu par ailleurs, dans le cas d'un flux infiltré croissant avec l'épaisseur d'eau en surface. Le fait qu'il soit obtenu ici avec une infiltration constante nous permet d'espérer que ce résultat ne dépend pas de la loi d'infiltration du sol, condition importante pour l'intérêt général du recyclage de ruissellement.

La comparaison des courbes A et B met en évidence l'effet catastrophique des pertes de charge trop importantes dans le système de recyclage. Le résultat obtenu lors de l'averse F du 17 novembre (courbe B), donne une pointe de débit presque 5 fois plus petite que celle qu'on aurait dû obtenir (courbe A). L'hydrogramme théorique obtenu pour un stockage égal dans le système de recyclage, au dixième du stockage de surface (courbe C), donne à tout instant un débit égal à 0,84 fois le débit donné par le système théorique parfait (courbe A).

Enfin, la figure 10 montre les courbes A et B obtenues dans le cas d'une modélisation ne différant de la précédente, que par un flux d'infiltration F plus élevé, égal cette fois à 12,5 mm/h. Même si le maximum de débit ruisselé n'est plus alors que 3 fois plus petit que le maximum théorique, le résultat est encore désastreux. A titre de curiosité, on remarquera la symétrie de l'hydrogramme obtenu, due sans nul doute au fait que le flux infiltré est ici égal à la moitié de l'intensité de pluie.

On voit donc clairement la nécessité de réduire de façon importante les pertes de charge dans le système de recyclage, si l'on veut utiliser celui-ci dans des conditions défavorables comme celles rencontrées lors de l'AID: infiltration faible entraînant un fort ruissellement; surface relativement plane et dépourvue de végétation entraînant peu de stockage de surface. Le suivi du niveau dans la cuve de réinjection et dans le siphon sera par ailleurs préconisé pendant les mesures, afin de pouvoir mesurer le stockage H_s dans le système, qui de toute façon ne pourra jamais être complètement annulé. La description précise de la relation liant H_s au débit ruisselé, doit permettre de faire les corrections nécessaires sur le débit mesuré.

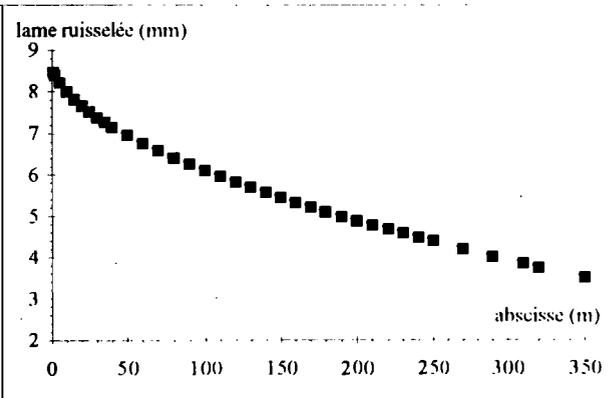
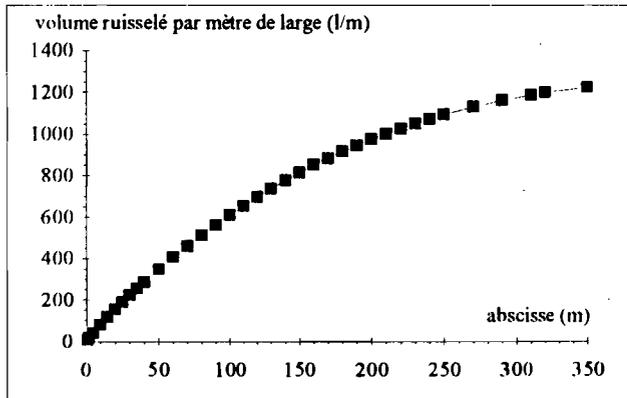
figure 10
modélisation du débit
ruisselé recyclé obtenu
et théorique parfait,
dans le cas de l'averse F
avec un flux infiltré de
12.5 mm/h



Le volume ruisselé modélisé, correspondant à l'intégrale des hydrogrammes présentés sur la figure 9 pour différentes abscisses, croît en fonction de l'abscisse en tendant vers une limite située à 1246 litres par mètre de large (figure 11). Divisé par l'abscisse, ce volume donne la lame d'eau ruisselée, qui décroît - ainsi donc que le coefficient de ruissellement - en fonction de l'abscisse (figure 12). Les résultats obtenus ici dépendent certes d'une extrapolation de la loi $H_r = F_1(Q)$ au delà des valeurs mesurées expérimentalement (pour $Q_{max} = 1714$ l/h/m, on a $H_r = 8.8$ mm), mais la décroissance du coefficient de ruissellement le long de la pente peut être considérée comme un résultat général de ce type de modélisation sur pente homogène. Elle découle de l'augmentation du temps de submersion de l'amont vers l'aval pour les abscisses inférieures à l'abscisse limite X_L , et de l'uniformité du ruissellement au delà de cette limite.

figure 11 : Averse F avec $F = 5,5$ mm/h
volume ruisselé modélisé en fonction
de la longueur de pente

figure 12 : Averse F avec $F = 5,5$ mm/h
lame ruisselée modélisée en fonction
de la longueur de pente



La lame infiltrée moyenne modélisée augmente avec la longueur de pente, du fait de ce qui précède. On remarquera que la lame infiltrée locale augmente de $F \cdot D + H_L = 5,5 \times 33,5 : 60 + 1,95 = 5,02$ mm (avec F flux infiltré, D durée de la pluie, et H_L hauteur minimale de pluie d'imbibition) en haut de la pente, jusqu'à $1 \cdot D = 25 \times 33,5 : 60 = 14,0$ mm (avec 1 intensité de pluie) à l'abscisse limite X_L , et qu'elle est uniforme à partir et au delà de cette limite.

ANNEXE

ESTIMATION DES PERTES D'EAU DANS LE RECYCLAGE

ESTIMATION DES PERTES D'EAU PENDANT L'averse D

On fait les trois hypothèses suivantes: entre les temps 28'30" et 40', le flux infiltré peut être estimé à partir de celui qui est mesuré pour le même temps pendant l'averse A sur la parcelle témoin, soit environ 18 mm.h⁻¹; la lame d'eau moyenne stockée en surface de la parcelle peut être estimée à partir de la relation entre débit ruisselé et lame d'eau, établie pour l'averse F; le stock d'eau créé dans le système de recyclage à cause des pertes de charge trop importantes, peut être estimé, pour un débit donné, du même ordre de grandeur que la lame d'eau correspondante stockée en surface (on a par exemple pour un débit de 360 mm.h⁻¹, une lame de 4,5 mm en surface, et un stock de 4 litres dans le système). Entre les instants 28'30" et 40', l'apport de pluie est égal à 15,7 mm, et la lame infiltrée peut être évaluée à 3,4 mm (=11,5X18:60). Le stockage d'eau en surface de la parcelle et dans le système de recyclage pendant ce laps de temps, aurait donc dû être de 12,3 mm (=15,7-3,4) s'il n'y avait pas eu de perte. Or, le débit ruisselé variant au contraire de 200 à 180 mm.h⁻¹, montre que le stockage d'eau en surface vaut -0,14 mm (=3,54-3,68 mm). En supposant que le stockage concomitant dans le système de recyclage est le même, nous pouvons évaluer les pertes entre les temps 28'30" et 40' à 12,6 mm (=12,3-(-0,14-0,14)). Le ruissellement perdu après le temps 47' peut être évalué comme la différence entre le stock d'eau présent à la surface et dans le système de recyclage à cet instant, et la lame infiltrée pendant le ressuyage de la surface. Si on se réfère aux mesures effectuées pendant l'averse A sur la parcelle témoin, on peut penser que le ressuyage de la surface a duré au moins 6 minutes, avec une infiltration de l'ordre de 11 mm.h⁻¹, ce qui donne une lame infiltrée de 1,1 mm. Le stock d'eau en surface de la parcelle à l'instant 47' peut être estimé à environ 4 mm pour un débit ruisselé de 250 mm.h⁻¹ et il en est à peu près de même dans le système de recyclage. Les pertes produites après l'instant 47' se montent donc à 6,9 mm (=4+4-1,1), et les pertes totales pendant l'expérimentation valent 19,5 mm.

ESTIMATION DES PERTES D'EAU PENDANT L'averse E

Le débordement de la cuve de réinjection, dû au dépassement de la capacité de transit du système de recyclage, est manifeste entre les instants 38' et 58'. A partir de l'instant 58' et jusqu'à l'arrêt de la pluie, le niveau affleure le haut de la cuve, et on peut suspecter un débordement qui, bien que non constaté, a pu se produire sur la face arrière de la cuve, non visible. En effet, la quasi-stabilisation du débit ruisselé aux alentours de 350 l.h⁻¹ pendant ce laps de temps, signifierait dans le cas contraire que le flux d'infiltration se soit stabilisé à la valeur de l'intensité de pluie, soit 25 mm.h⁻¹. Au vu des résultats obtenus sur la parcelle témoin, ceci est peu probable puisque le flux infiltré, qui semble être indépendant de l'intensité de pluie, n'atteint une telle valeur que pendant les 20 premières minutes de l'averse A, et pendant les 6 premières minutes des averses B et C.

En estimant par analogie avec l'averse B sur la parcelle témoin, que le flux infiltré est de l'ordre de 9 mm.h⁻¹ entre l'instant 38' et la fin de l'averse, un calcul conduit suivant le même principe que pour les pertes survenues pendant l'averse D, permet de faire les évaluations suivantes:

intervalle de temps (mn)	de 38' à 58'	de 58' à la fin de l'averse
Lame d'eau de pluie (mm)	9,1 mm	11,2
lame infiltrée (mm)	3	4
stockage en surface et dans le système de recyclage	-0,2	-0,2
pertes par débordement (mm)	6,3	7,4

LISTE DES FICHIERS

TEMOIN.XLS	données brutes pour la parcelle témoin
RECYCLEE.XLS	données brutes pour la parcelle avec recyclage
RESUTEMO.XLS	résumé des données traitées pour la parcelle témoin
RESURECY.XLS	résumé des données traitées pour la parcelle avec recyclage
RESULAME.XLS	résumé des données d'épaisseur de lame d'eau

GRAPHIQUES ET TABLEAUX DE RESULTATS

Voir pages suivantes.

VOLUME ET DEBIT RUISSELES. TRANSPORT SOLIDE

AVERSE A DU 15.11.93 SUR LA PARCELLE TEMOIN

temps (mn)	L (mm)	Q (mm/h)
0	0,00	
1	0,00	0,0
2	0,00	0,0
3	0,00	0,0
4	0,00	0,0
5	0,00	0,0
6	0,00	0,0
7	0,00	0,0
8	0,00	0,0
9	0,00	0,0
10	0,00	0,0
11	0,00	0,0
12	0,00	0,0
13	0,00	0,0
14	0,00	0,0
15	0,00	0,0
16	0,00	0,3
17	0,01	0,3
18	0,01	2,1
19	0,08	4,5
20	0,16	5,1
21	0,25	6,3
22	0,37	6,6
23	0,47	7,2
24	0,61	9,6
25	0,79	9,3
26	0,92	9,3
27	1,10	10,8
28	1,28	10,8
29	1,46	11,7
30	1,67	32,7
31	2,55	72,9
32	4,10	93,3
33	5,66	96,6
34	7,32	99,3
35	8,97	100,2
36	10,66	99,0
37	12,27	97,8
38	13,92	99,9
39	15,60	101,1
40	17,29	92,4
41	18,68	80,1
42	19,96	74,7
43	21,17	74,4
44	22,44	73,2

temps (mn)	L (mm)	Q (mm/h)
45	23,61	69,9
46	24,77	75,0
47	26,11	78,9
48	27,40	76,8
49	28,67	77,1
50	29,97	71,7
51	31,06	56,1
52	31,84	47,1
53	32,63	43,8
54	33,30	42,9
55	34,06	46,8
56	34,86	47,7
57	35,65	48,0
58	36,46	47,1
59	37,22	47,7
60	38,05	46,5
61	38,77	33,6
62	39,17	22,8
63	39,53	21,9
64	39,90	21,0
65	40,23	19,2
66	40,54	19,2
67	40,87	18,0
68	41,14	17,7
69	41,46	18,0
70	41,74	18,0
71	42,06	19,2
72	42,38	19,2
73	42,70	19,2
74	43,02	18,6
75	43,32	19,2
76	43,66	19,2
77	43,96	18,9
78	44,29	18,6
79	44,58	18,6
80	44,91	19,2
81	45,22	14,7
82	45,40	7,5
83	45,47	2,7
84	45,49	0,9
85	45,50	0,3
86	45,50	

temps (mn)	TSC (g)
0,00	0,00
20,42	0,22
22,94	0,43
25,32	1,66
27,06	2,69
28,96	3,01
30,61	6,76
31,32	11,07
32,26	15,14
33,52	22,27
34,30	25,52
35,11	28,92
36,74	34,50
38,27	39,04
39,79	43,48
41,37	46,67
43,14	49,90
44,78	52,91
46,26	55,61
48,88	60,83
51,83	64,82
53,84	66,60
55,40	68,00
56,12	68,63
57,20	69,58
59,43	71,19
61,55	72,26
63,63	72,88
65,87	73,42
68,19	74,06
70,74	74,48
73,67	74,87
76,68	75,30
79,57	75,68
86,00	75,84

temps (mn)	TS (dg/l)
19,05	10,37
21,79	7,72
24,08	36,04
26,55	34,10 *
27,56	8,12
30,35	65,81*
30,86	44,18
31,78	27,82
32,74	34,94
34,30	25,36
35,92	20,80
37,55	17,96
38,99	18,08
40,59	13,96
42,15	14,57
44,12	15,25
45,43	14,71
47,09	15,61
50,66	12,50
52,99	11,77
54,68	12,00
56,12	10,94
58,28	9,11
60,57	8,04
62,52	7,49
64,73	7,03
67,00	9,30
69,37	5,35
72,11	4,31
75,22	4,42
78,14	4,20
80,99	2,23

temps (mn)	I (mm/h)
0,00	30
30,41	30
30,41	120
40,55	120
40,55	90
50,69	90
50,69	60
60,82	60
60,82	30
81,10	30
81,10	0

L: lame ruisselée cumulée depuis le début de l'averse

Q: débit ruisselé moyen sur 2 minutes

TSC: transport solide cumulé depuis le début de l'averse

TS: teneur instantanée en matière solide transportée par le ruissellement

I: intensité de pluie

* mesure faussée

VOLUME ET DEBIT RUISSELES. TRANSPORT SOLIDE

AVERSE B DU 16.11.93 SUR LA PARCELLE TEMOIN

temps (mn)	L (mm)	Q (mm/h)
0	0,00	
1	0,00	0,0
2	0,00	0,0
3	0,00	12,6
4	0,42	29,4
5	0,98	34,2
6	1,56	36,0
7	2,18	38,4
8	2,84	39,6
9	3,50	40,8
10	4,20	41,7
11	4,89	41,7
12	5,59	42,0
13	6,29	43,5
14	7,04	44,7
15	7,78	45,6
16	8,56	45,6
17	9,30	47,4
18	10,14	48,0
19	10,90	47,1
20	11,71	47,7
21	12,49	46,5
22	13,26	47,4
23	14,07	48,3
24	14,87	47,7
25	15,66	47,7
26	16,46	47,4
27	17,24	47,1
28	18,03	48,6
29	18,86	48,9
30	19,66	48,0
31	20,46	48,6
32	21,28	49,2
33	22,10	49,5
34	22,93	51,3
35	23,81	53,1
36	24,70	54,0
37	25,61	53,1
38	26,47	52,2
39	27,35	52,8
40	28,23	52,2
41	29,09	51,0
42	29,93	51,9
43	30,82	52,2
44	31,67	52,5

temps (mn)	L (mm)	Q (mm/h)
45	32,57	51,9
46	33,40	51,0
47	34,27	51,0
48	35,10	50,1
49	35,94	51,0
50	36,80	51,6
51	37,66	51,3
52	38,51	50,7
53	39,35	51,0
54	40,21	51,0
55	41,05	51,3
56	41,92	51,9
57	42,78	51,0
58	43,62	50,4
59	44,46	51,0
60	45,32	49,8
61	46,12	33,9
62	46,45	13,8
63	46,58	5,4
64	46,63	2,1
65	46,65	0,6
66	46,65	

temps (mn)	TSC (g)
0,00	0,00
7,53	0,65
12,57	1,49
17,49	2,38
22,49	4,00
27,71	4,76
32,72	5,67
37,76	6,90
42,74	8,30
47,53	9,37
52,57	10,37
58,06	11,69
65,80	12,06

temps (mn)	TS (dg/l)
4,90	2,50
10,15	2,44
14,98	2,42
19,99	4,10
24,99	1,83
30,42	2,24
35,02	2,83
40,50	3,20
44,97	2,63
50,08	2,34
55,06	2,83
61,05	1,21

temps (mn)	I (mm/h)
0,00	60
60,82	60
60,82	0

L: lame ruisselée cumulée depuis le début de l'averse

Q: débit ruisselé moyen sur 2 minutes

TSC: transport solide cumulé depuis le début de l'averse

TS: teneur instantanée en matière solide transportée par le ruissellement

I: intensité de pluie

VOLUME ET DEBIT RUISSELES. TRANSPORT SOLIDE

AVERSE C DU 17.11.93 SUR LA PARCELLE TEMOIN

temps (mn)	L (mm)	Q (mm/h)
0	0,00	
1	0,00	0,0
2	0,00	0,0
3	0,00	0,0
4	0,00	0,0
5	0,00	0,9
6	0,03	4,5
7	0,15	8,7
8	0,32	9,3
9	0,46	12,6
10	0,74	15,6
11	0,98	13,5
12	1,19	13,8
13	1,44	16,5
14	1,74	16,5
15	1,99	19,5
16	2,39	33,3
17	3,10	44,1
18	3,86	45,3
19	4,61	46,5
20	5,41	47,7
21	6,20	47,7
22	7,00	48,0
23	7,80	47,7
24	8,59	48,0
25	9,40	54,9
26	10,42	70,8
27	11,76	81,3
28	13,13	82,2
29	14,50	81,6
30	15,85	81,0
31	17,20	81,9
32	18,58	81,6
33	19,92	82,8
34	21,34	83,1
35	22,69	85,5
36	24,19	98,1
37	25,96	106,5
38	27,74	109,5
39	29,61	109,5
40	31,39	108,0
41	33,21	107,4
42	34,97	102,9
43	36,64	101,7
44	38,36	104,1

temps (mn)	L (mm)	Q (mm/h)
45	40,11	102,3
46	41,77	89,4
47	43,09	78,3
48	44,38	74,1
49	45,56	72,0
50	46,78	72,9
51	47,99	76,5
52	49,33	81,6
53	50,71	83,4
54	52,11	83,1
55	53,48	82,5
56	54,86	71,1
57	55,85	54,0
58	56,66	46,8
59	57,41	45,9
60	58,19	45,0
61	58,91	42,6
62	59,61	42,6
63	60,33	43,5
64	61,06	42,9
65	61,76	43,5
66	62,51	38,1
67	63,03	25,8
68	63,37	19,8
69	63,69	18,3
70	63,98	18,6
71	64,31	18,6
72	64,60	17,7
73	64,90	18,3
74	65,21	19,2
75	65,54	18,9
76	65,84	18,3
77	66,15	18,6
78	66,46	18,9
79	66,78	18,3
80	67,07	18,9
81	67,41	17,4
82	67,65	10,8
83	67,77	5,7
84	67,84	2,7
85	67,86	1,8
86	67,90	1,2
87	67,90	

temps (mn)	TSC (g)
0,00	0,00
11,49	0,26
16,47	0,43
21,45	1,27
25,89	1,95
30,96	4,44
36,61	7,74
41,56	13,57
46,50	18,83
51,57	21,42
56,55	24,62
61,52	26,15
66,50	27,32
71,52	27,50
76,49	27,86
87,00	28,44

temps (mn)	TS (dg/l)
9,03	2,39
13,94	0,81
19,00	2,48
23,89	1,63
27,89	3,87
34,02	3,88
39,19	6,91
43,92	6,70
49,08	3,72
54,05	5,43
59,05	3,46
63,98	3,74
69,02	0,87
74,01	2,31
78,96	3,03

temps (mn)	I (mm/h)
0,00	30
15,21	30
15,21	60
25,34	60
25,34	90
35,48	90
35,48	120
45,62	120
45,62	90
55,76	90
55,76	60
65,89	60
65,89	30
81,10	30
81,10	0

L: lame ruisselée cumulée depuis le début de l'averse

Q: débit ruisselé moyen sur 2 minutes

TSC: transport solide cumulé depuis le début de l'averse

TS: teneur instantanée en matière solide transportée par le ruissellement

I: intensité de pluie

VOLUME ET DEBIT RUISSELES

AVERSE D DU 15.11.93 SUR LA PARCELLE AVEC RECYCLAGE

temps (mn)	L (mm)
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	0,0
5	0,0
6	0,0
7	0,0
8	0,0
9	0,0
10	0,0
11	0,0
12	0,1
13	0,2
14	0,3
15	0,5
16	0,8
17	1,2
18	1,7
19	2,4
20	3,2
21	4,2
22	5,4
23	7,0
24	8,5
25	10,5
26	12,6
27	14,9
28	17,4
29	20,7
30	24,9
31	29,3
32	34,1
33	36,8
34	38,7
35	40,4
36	41,8
37	43,4
38	45,5
39	47,3
40	49,6
41	52,9
42	56,8
43	60,9
44	65,3

temps (mn)	L (mm)
45	69,6
46	74,0
47	78,3

temps (mn)	Q (l/h)
1,5	0,0
4,5	0,0
7,5	0,4
10,5	1,4
13,5	8,6
16,5	22,8
19,5	50,2
22,5	86,4
25,5	129,0
28,5	199,8
31,5	238,2
34,5	99,4
37,5	110,4
40,5	189,6
43,5	255,8

temps (mn)	I (mm/H)
0	30,0
30	30,0
30	120,0
35	120,0
35	60,0
46,2	60,0
46,2	0,0

L: lame ruisselée cumulée

Q: débit ruisselé moyen sur 3 mn

I: intensité de pluie

VOLUME ET DEBIT RUISSELES.

AVERSE E DU 16.11.93 SUR LA PARCELLE AVEC RECYCLAGE

temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	Q (l/h)	temps (mn)	Q (l/h)	temps (mn)	I (mm/h)
0	0,0	45	115,2	90	376,6	135	551,6	1,5	-0,2	136,5	107,8	0	30,0
1	0,0	46	122,0	91	381,7	136	553,6	4,5	1,0	139,5	88,6	47,5	30,0
2	0,0	47	127,7	92	386,3	137	555,4	7,5	7,8	142,5	67,0	47,5	25,0
3	0,0	48	131,5	93	391,4	138	557,0	10,5	19,2	145,5	48,2	85	25,0
4	0,0	49	136,4	94	396,7	139	558,6	13,5	57,6	148,5	33,2	85	0,0
5	0,0	50	142,3	95	401,6	140	560,1	16,5	80,6	151,5	19,0		
6	0,0	51	147,3	96	406,8	141	561,4	19,5	77,8	154,5	7,2		
7	0,1	52	155,4	97	411,9	142	562,7	22,5	84,4	157,5	3,6		
8	0,3	53	162,2	98	417,1	143	563,8	25,5	119,4	160,5	1,2		
9	0,4	54	168,0	99	421,4	144	564,8	28,5	244,4	163,5	0,4		
10	0,6	55	173,8	100	426,6	145	565,6	31,5	259,2				
11	0,9	56	180,0	101	431,2	146	566,5	34,5	263,8				
12	1,4	57	185,9	102	435,7	147	567,2	37,5	344,8				
13	2,1	58	191,5	103	440,8	148	567,8	40,5	388,8				
14	2,9	59	196,8	104	445,1	149	568,4	43,5	355,4				
15	4,3	60	202,1	105	449,2	150	568,8	46,5	325,8				
16	5,4	61	207,2	106	453,8	151	569,2	49,5	316,6				
17	6,7	62	213,9	107	458,5	152	569,5	52,5	413,8				
18	8,3	63	219,9	108	462,5	153	569,8	55,5	357,4				
19	9,5	64	224,8	109	466,8	154	570,0	58,5	324,4				
20	10,7	65	231,3	110	471,0	155	570,1	61,5	355,4				
21	12,2	66	237,0	111	474,9	156	570,2	64,5	342,8				
22	13,5	67	242,2	112	479,1	157	570,2	67,5	354,2				
23	14,8	68	248,7	113	482,9	158	570,3	70,5	395,6				
24	16,4	69	254,7	114	486,6	159	570,3	73,5	356,4				
25	18,2	70	260,0	115	490,9	160	570,3	76,5	346,0				
26	20,1	71	267,7	116	494,7	161	570,4	79,5	347,8				
27	22,4	72	274,5	117	498,7	162	570,4	82,5	332,8				
28	26,7	73	280,4	118	502,5	163	570,4	85,5	339,2				
29	30,7	74	286,3	119	506,1	164	570,4	88,5	319,2				
30	34,6	75	292,3	120	509,8	165	570,4	91,5	296,8				
31	39,2	76	298,0	121	513,2	166	570,4	94,5	307,4				
32	43,2	77	303,7	122	516,4			97,5	291,4				
33	47,6	78	309,6	123	519,5			100,5	286,0				
34	51,7	79	315,7	124	522,9			103,5	271,6				
35	55,9	80	320,5	125	525,9			106,5	264,8				
36	60,8	81	327,0	126	528,6			109,5	248,2				
37	66,2	82	332,5	127	531,7			112,5	235,0				
38	71,1	83	338,2	128	534,3			115,5	242,0				
39	78,0	84	343,7	129	537,1			118,5	220,8				
40	85,6	85	349,0	130	540,0			121,5	195,0				
41	91,4	86	354,1	131	542,5			124,5	181,4				
42	97,4	87	360,6	132	544,8			127,5	170,0				
43	103,5	88	366,1	133	547,3			130,5	154,4				
44	109,5	89	371,0	134	549,6			133,5	135,8				

L: lame ruisselée cumulée
 Q: débit ruisselé moyen sur 3 mn
 I: intensité de pluie

VOLUME ET DEBIT RUISSELES.

AVERSE F DU 17.11.93 SUR LA PARCELLE AVEC RECYCLAGE

temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	L (mm)	temps (mn)	Q (l/h)	temps (mn)	Q (l/h)	temps (mn)	I (mm/H)
0	0,0	45	142,1	90	303,6	135	333,1	1,5	0,0	136,5	-0,4	0	25,0
1	0,0	46	147,1	91	305,5	136	333,1	4,5	0,0	139,5	0,2	33,5	25,0
2	0,0	47	151,8	92	307,5	137	333,1	7,5	10,4	142,5	13,8	33,5	0,0
3	0,0	48	156,9	93	309,3	138	333,1	10,5	33,6	145,5	21,0	138	0,0
4	0,0	49	161,2	94	311,1	139	333,1	13,5	78,6	148,5	23,0	138	25,0
5	0,0	50	165,5	95	312,8	140	333,1	16,5	132,4	151,5	22,6	163	25,0
6	0,0	51	170,6	96	314,5	141	333,1	19,5	178,0	154,5	23,6	163	0,0
7	0,1	52	175,4	97	316,1	142	333,2	22,5	220,2	157,5	22,4		
8	0,3	53	179,4	98	317,5	143	333,5	25,5	261,0	160,5	21,2		
9	0,5	54	184,3	99	319,0	144	333,8	28,5	292,0	163,5	19,0		
10	0,9	55	188,9	100	320,2	145	334,2	31,5	338,0	166,5	5,0		
11	1,4	56	192,7	101	321,4	146	334,6	34,5	339,0	169,5	2,2		
12	2,2	57	197,4	102	322,5	147	334,9	37,5	337,6				
13	3,3	58	202,2	103	323,4	148	335,2	40,5	316,2				
14	4,7	59	206,2	104	324,4	149	335,7	43,5	305,8				
15	6,1	60	210,5	105	325,5	150	336,0	46,5	295,0				
16	8,1	61	214,6	106	326,3	151	336,4	49,5	274,0				
17	10,6	62	218,5	107	327,1	152	336,8	52,5	273,8				
18	12,8	63	222,3	108	327,9	153	337,2	55,5	263,2				
19	15,5	64	226,6	109	328,5	154	337,5	58,5	260,8				
20	18,8	65	230,5	110	329,1	155	338,0	61,5	236,8				
21	21,7	66	233,9	111	329,8	156	338,3	64,5	230,8				
22	25,3	67	237,8	112	330,3	157	338,6	67,5	220,0				
23	28,9	68	241,5	113	330,8	158	339,0	70,5	209,8				
24	32,7	69	244,9	114	331,1	159	339,5	73,5	189,0				
25	36,6	70	248,7	115	331,5	160	339,8	76,5	186,4				
26	41,3	71	252,2	116	331,8	161	340,1	79,5	166,2				
27	45,7	72	255,4	117	332,0	162	340,5	82,5	155,4				
28	50,3	73	258,6	118	332,2	163	340,9	85,5	137,2				
29	55,6	74	261,8	119	332,4	164	341,2	88,5	130,6				
30	60,3	75	264,8	120	332,6	165	341,5	91,5	114,6				
31	65,5	76	268,1	121	332,7	166	341,6	94,5	103,2				
32	71,5	77	271,3	122	332,8	167	341,7	97,5	90,0				
33	77,2	78	274,1	123	332,9	168	341,7	100,5	71,0				
34	83,1	79	276,9	124	332,9	169	341,8	103,5	59,2				
35	88,9	80	279,9	125	333,0	170	341,8	106,5	47,6				
36	94,2	81	282,4	126	333,0	171	341,8	109,5	38,0				
37	99,2	82	285,1	127	333,1	172	341,9	112,5	26,4				
38	105,2	83	287,9	128	333,1			115,5	19,0				
39	111,0	84	290,2	129	333,1			118,5	10,4				
40	116,1	85	292,3	130	333,1			121,5	6,4				
41	121,5	86	294,8	131	333,2			124,5	3,2				
42	126,9	87	297,1	132	333,2			127,5	1,2				
43	131,7	88	299,1	133	333,2			130,5	1,0				
44	136,7	89	301,5	134	333,2			133,5	-0,2				

L: lame ruisselée cumulée

Q: débit ruisselé moyen sur 3 mn

I: intensité de pluie

EPAISSEUR D'EAU EN SURFACE DES PARCELLES

PARCELLE AVEC RECYCLAGE

AVERSE DU 16.11.93

temps (mn)	H1 mm	H2 mm	H3 mm	H4 mm
0,00	0	0	0	0
3,00	0	0	2	0
5,00	0	0	2	0
10,00	0	0	2	2
13,50	1	1	3	2
15,00	2	2	4	2
18,38	2	3	4	4
19,38	2	3	6	4
21,30	2	6	6	6
22,25	3	6	7	7
23,17	3	6	7	8
24,47	2	6	7	7
24,80	2	6	6	6
27,88	2	4	5	5
29,13	3	5	6	6
30,22	3	6	6	6
32,28	3	7	7	8
32,80	6	7	7	8
33,88	6	8	8	8
34,63	6	8	8	9
36,13	6	9	10	10
37,13	7	8	10	10
37,55	6	8	10	10
38,55	6	7	8	8
40,13	6	7	7	8
41,92	6	8	7	8
43,38	6	7	8	8
46,55	6	8	8	10
48,22	6	8	9	10
50,55	6	8	9	10
52,38	5	7	6	6
53,55	6	7	6	7
54,38	6	7	8	8
56,13	6	7	7	7
60,80	6	8	7	8
82,72	6	8	7	8

AVERSE DU 17.11.93

temps (mn)	H1 mm	H2 mm	H3 mm	H4 mm
0,00	0	0	0	0
5,12	0	0	1	0
5,95	1	1	1	1
7,20	1	2	2	1
8,95	2	2	2	2
10,95	2	3	3	2
12,28	3	3	3	2
14,37	3	3	3	2
19,53	4	4	4	4
23,28	5	4	5	4
25,70	5	5	5	4
27,28	5	5	5	4
31,95	5	5	5	4
37,87	4	5	5	2
41,78	5	5	5	3

PARCELLE TEMOIN

AVERSE DU 16.11.93

temps (mn)	H1 mm	H2 mm	H3 mm	H4 mm
30,47	2	4	4	2
34,23	1	4	4	1
40,48	1	4	4	1
50,03	1	4	4	1

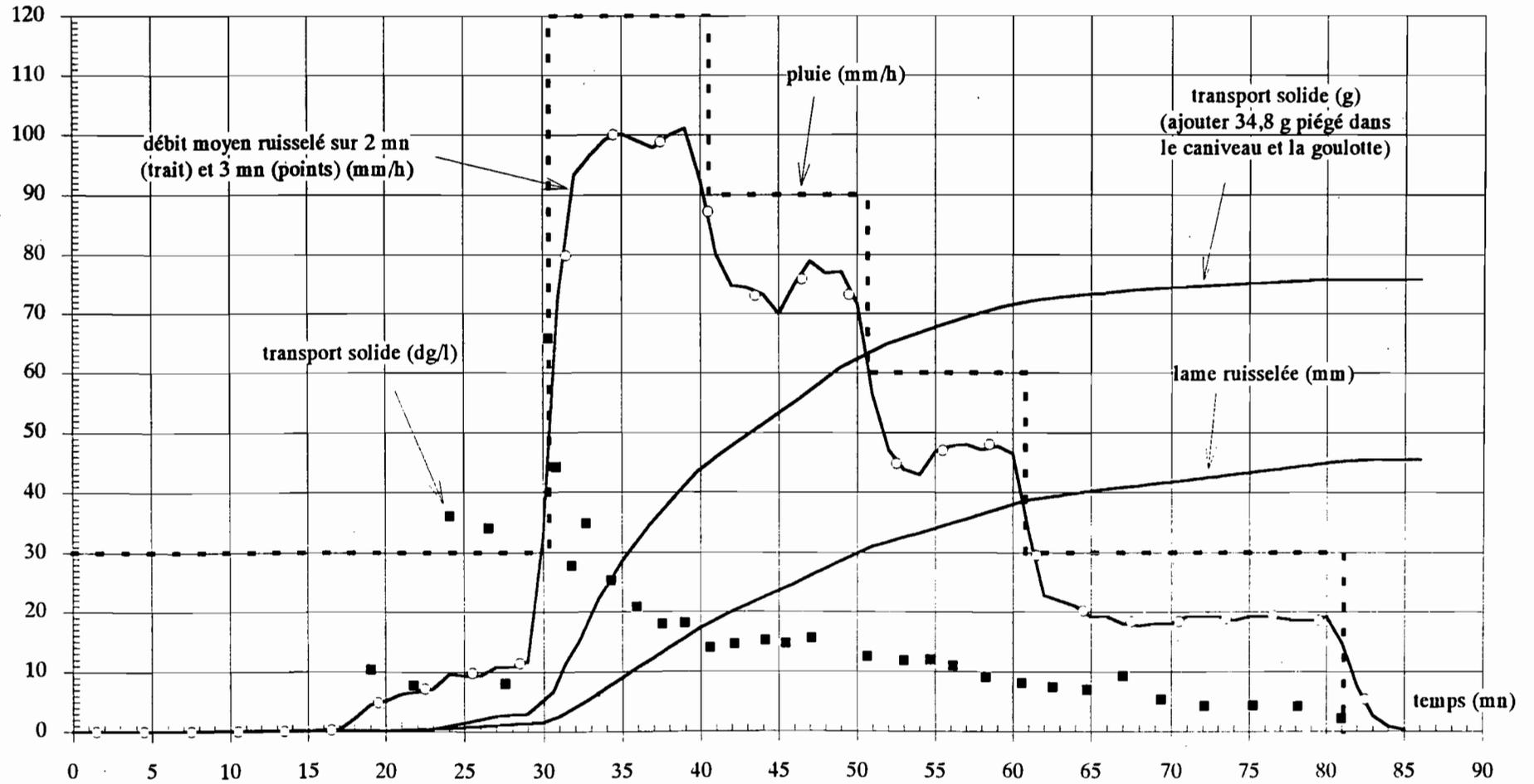
AVERSE DU 17.11.93

temps (mn)	H1 mm	H2 mm	H3 mm	H4 mm
5,35	0	2	1	0
8,5	0	2	2	1
14,6	1	3	2	1
17,8	1	4	3	2
24,23	1	5	4	1
27,32	1	5	4	2
32,33	1	5	4	2
48,03	1	4	4	3
62,5	1	3	3	2

H1, H2, H3 et H4 désignent les épaisseurs d'eau mesurées sur l'axe central des parcelles, à des distances respectives de la limite aval de 85,6; 49,5; 29 et 11 cm pour la parcelle témoin, et 76; 50,5; 30,5 et 7,5 cm pour la parcelle avec recyclage

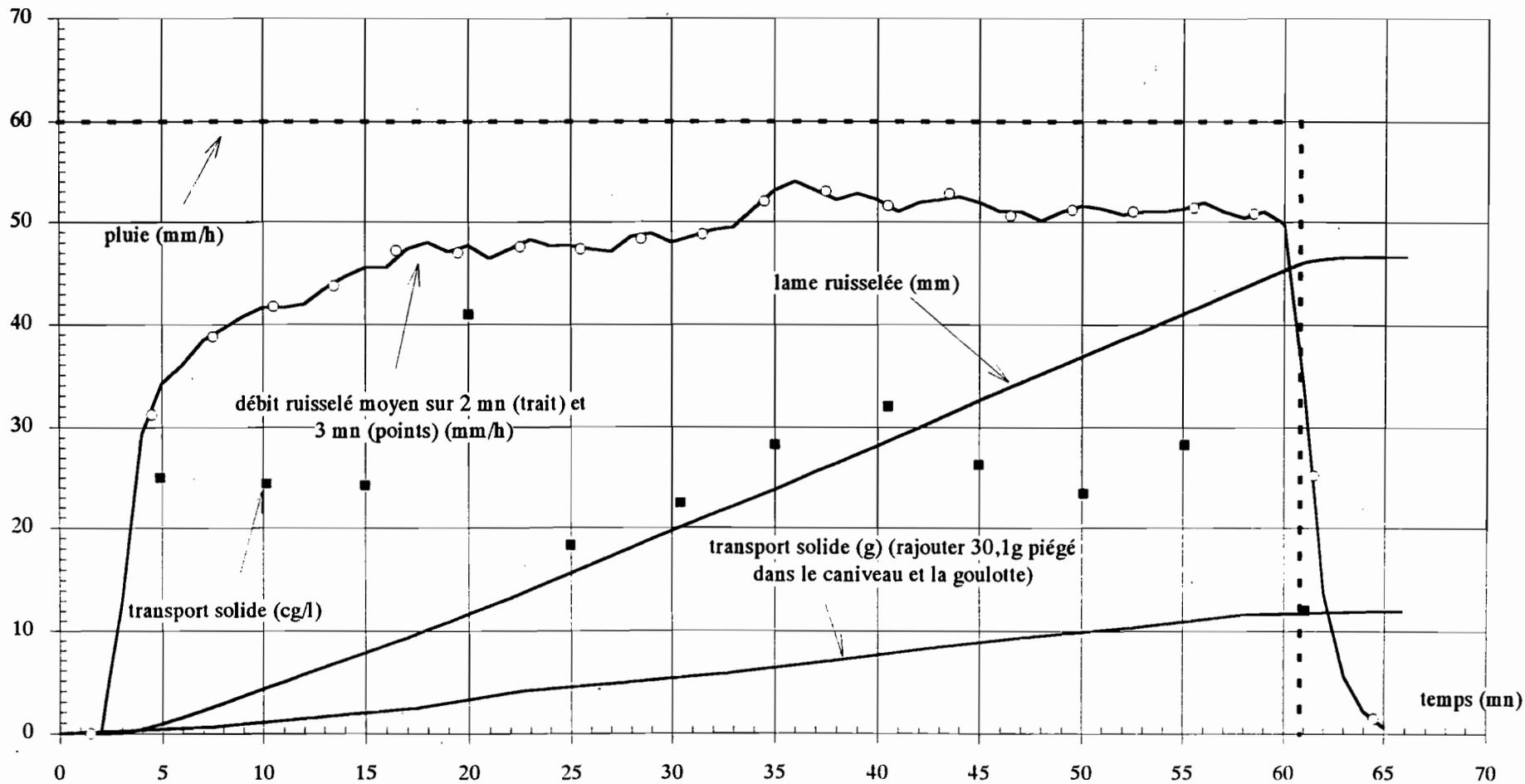
VOLUME ET DEBIT RUISSELES. TRANSPORT SOLIDE

AVERSE DU 15.11.93 SUR PARCELLE TEMOIN (dépouillt. avec volumes prélevés)



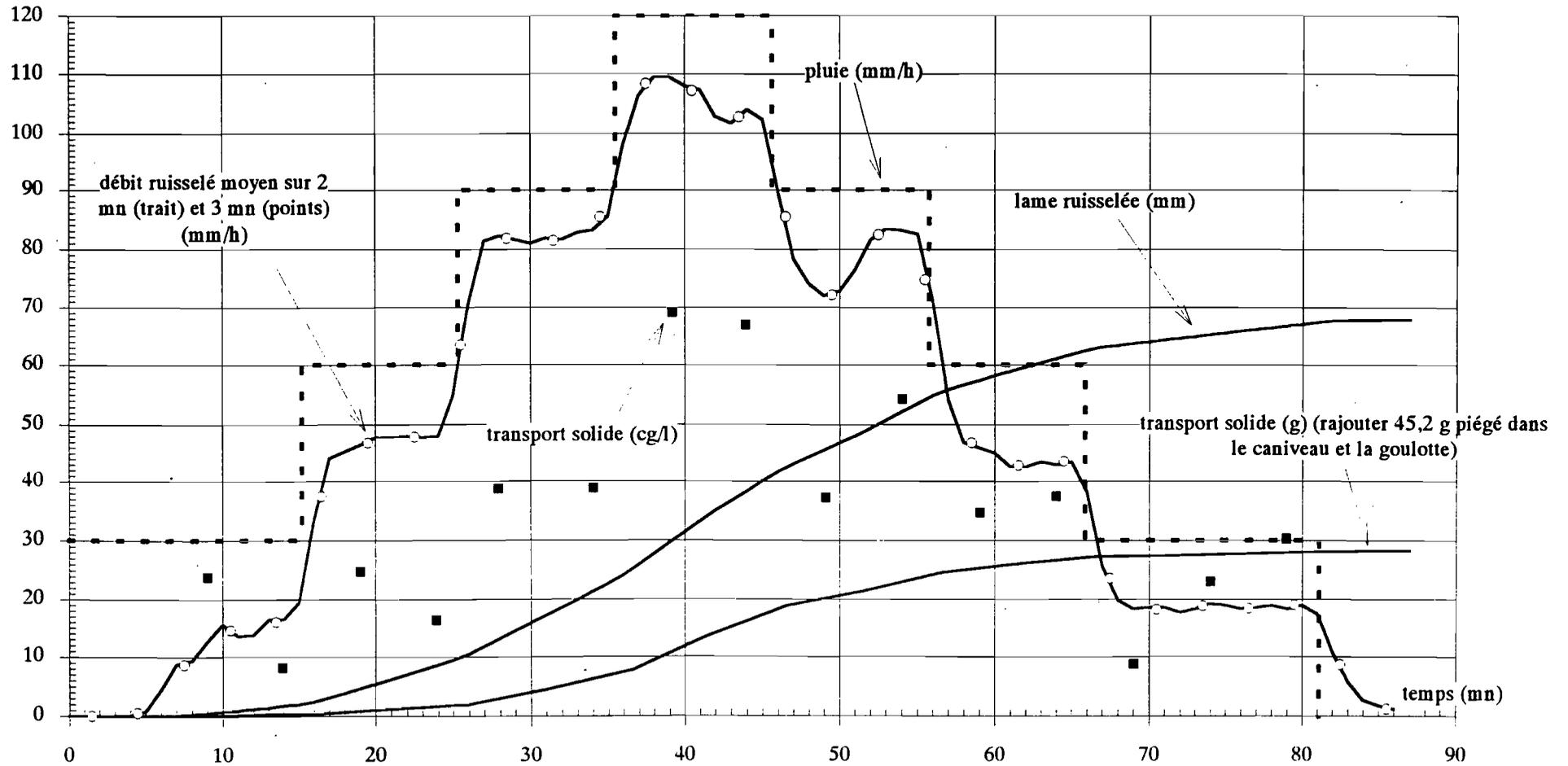
VOLUME ET DEBIT RUISSELES. TRANSPORT SOLIDE

AVERSE DU 16.11.93 SUR PARCELLE TEMOIN (dépuillt. avec volumes prélevés)



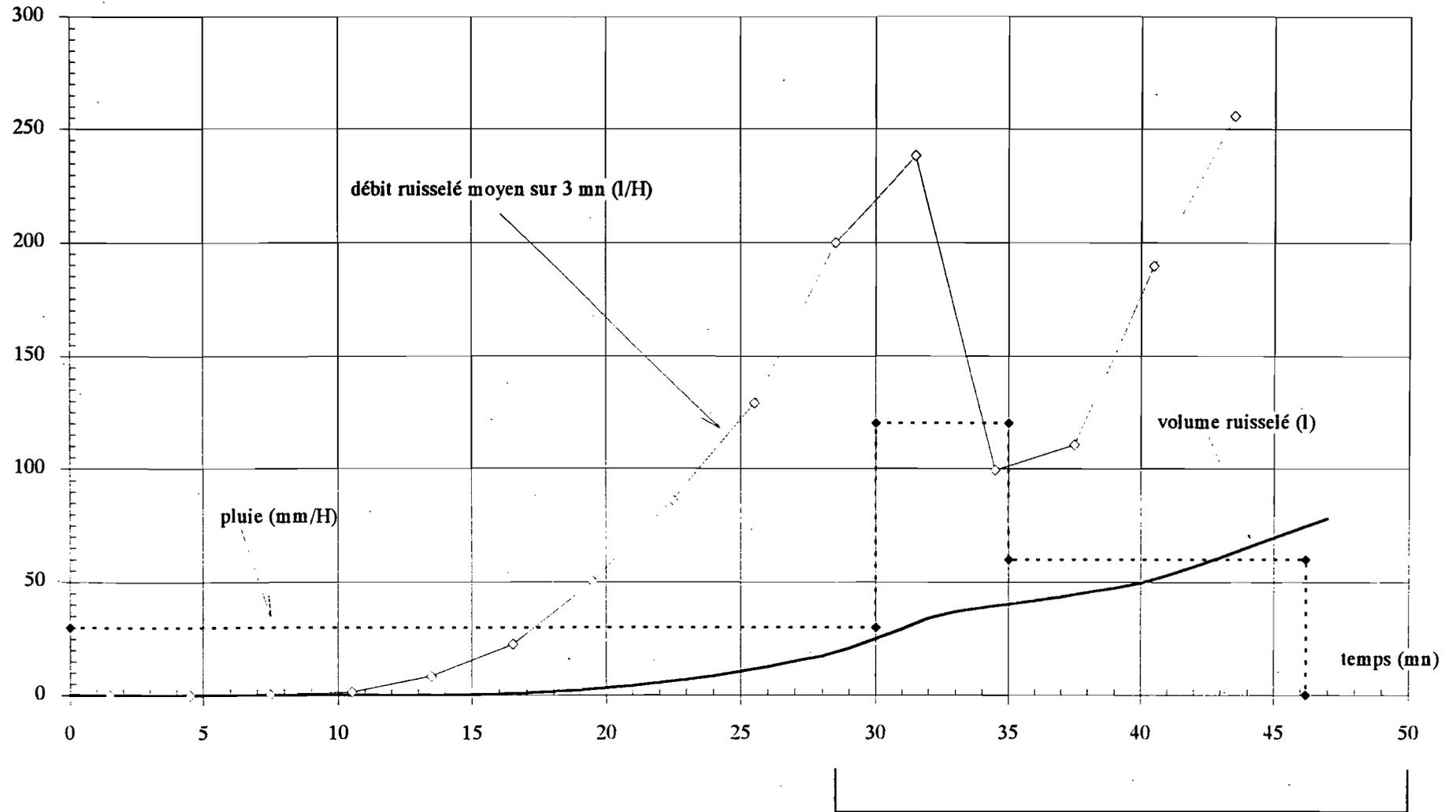
VOLUME ET DEBIT RUISSELES. TRANSPORT SOLIDE

AVERSE DU 17.11.93 SUR PARCELLE TEMOIN (dépouillt. avec volumes prélevés)



VOLUME ET DEBIT RUISSELES

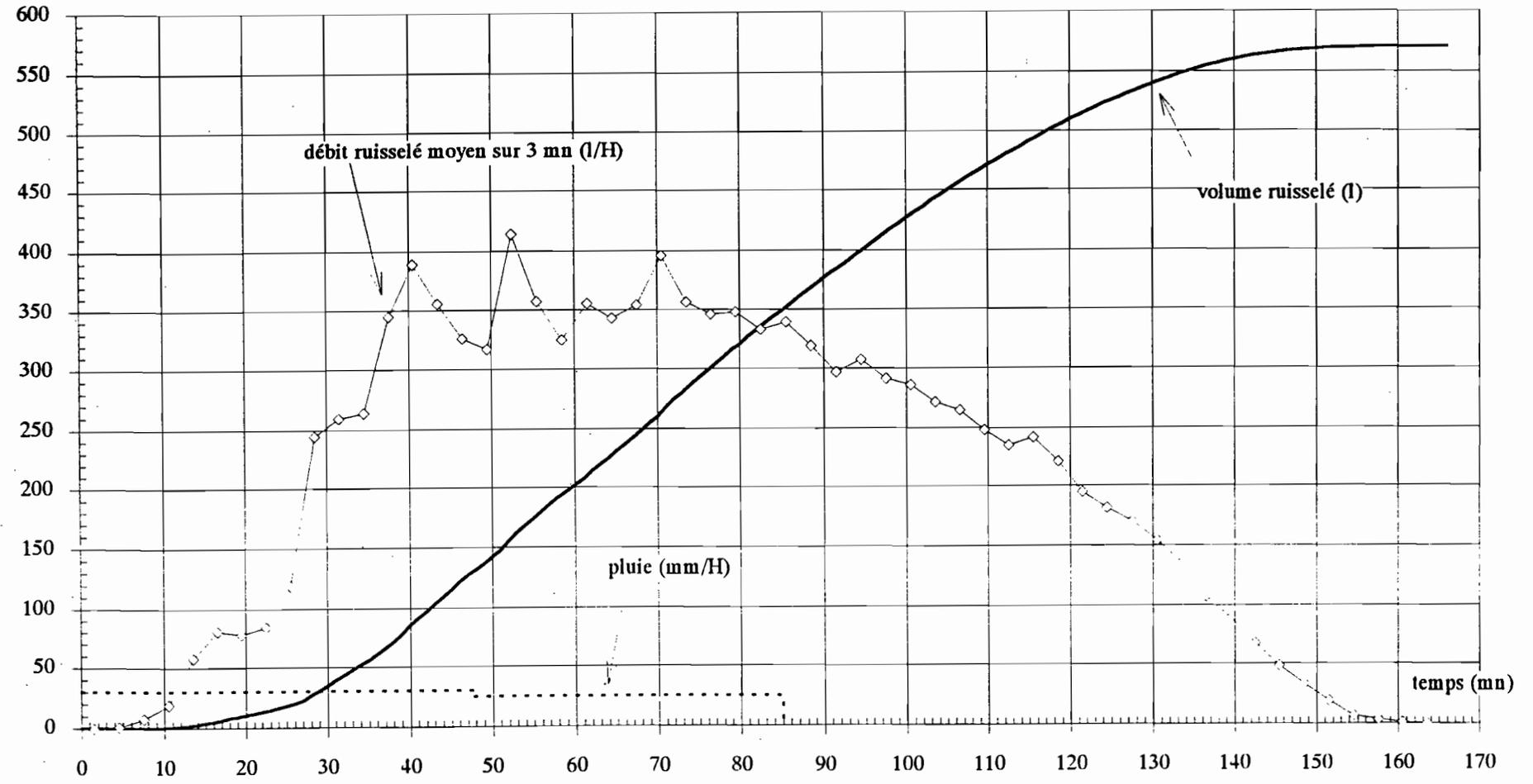
AVERSE DU 15.11.93 SUR PARCELLE YR (recyclage)



Partie inexploitable (bouchage de siphon, tuyaux et pompe de vidange, par de la paille)

VOLUME ET DEBIT RUISSELES

AVERSE DU 16.11.93 SUR PARCELLE YR (recyclage)

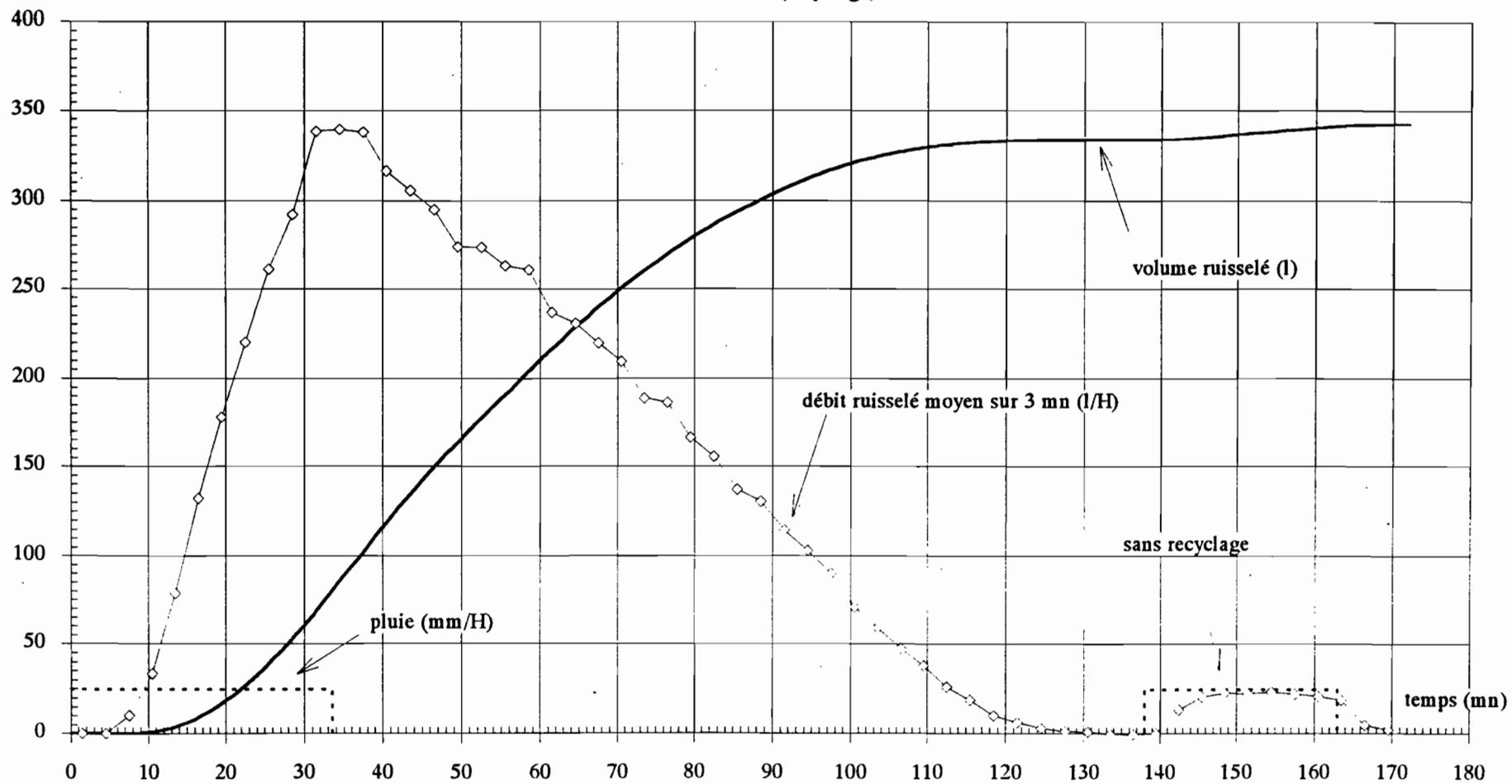


Débouchage de l'entrée de goulotte (paille) 

 Débordement de cuve principale du système de recyclage

VOLUME ET DEBIT RUISSELES

AVERSE DU 17.11.93 SUR PARCELLE YR (recyclage)



UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



Dossier 2 : Etats de surface

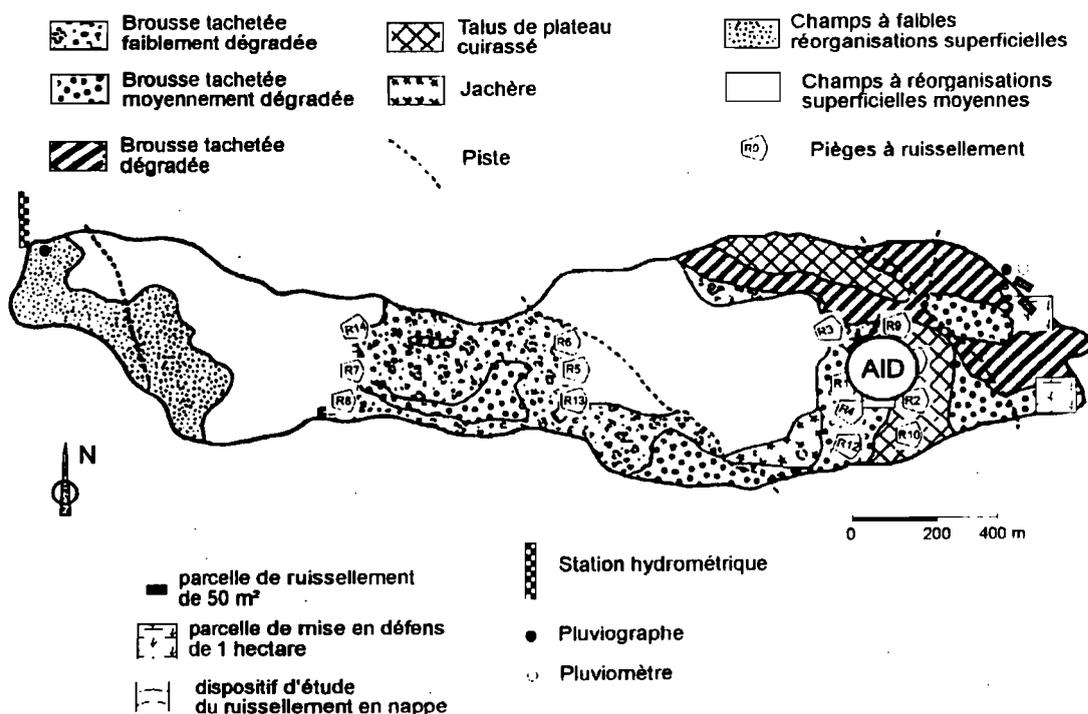
Dossier "états de surface"

1) Le site

Le site choisi pour l'expérimentation se trouve sur le bassin versant de la ravine de Keur Dianko qui a une surface de 56 ha (carte ci-dessous). Il a été installé au lieu-dit de Yarane, en aval du talus de plateau cuirassé en bordure du champs de Abdoulaye Touré sur une jachère à combrétacés. C'est le site choisi également par J.C. Bader pour ses parcelles de ruissellement. Le couvert ligneux est assez faible (<10%), il est composé essentiellement de petits arbres (5 à 7m) distants d'une cinquantaine de mètres et d'arbustes (-de 2m) plus resserrés (distance moyenne de 2 à 3m). Le couvert herbacé est très fractionné et piétiné par le bétail, il est associé à des placages de termites et quelques turricules de vers. On note la présence d'assez nombreuses termitières à différents stades d'arasement, peu de nids ont l'air encore occupés. Des tâches nues entourent ces termitières et montrent une érosion en nappe importante, elles sont marquées par des croûtes d'érosion et des croûtes structurales à trois micro-horizons comprenant de nombreuses vésicules et des gravillons dont le diamètre est de quelques mm. Sur les flancs des termitières, on remarque un épandage de ces gravillons couleur rouille et de même diamètre. Une discussion s'était engagée pour savoir si ces gravillons sont de néo-formation (formés dans la termitière et mis en surface par l'érosion) ou s'il s'agit de gravillons du sol triés par les termites lors de la construction du nid. D'après certains, la taille de ces gravillons est compatible avec celle du bol alimentaire du termite.

Entre les taches nues d'érosion des termitières, la surface du sol se présente sous forme d'un patchwork de végétation herbacé et de sols nus. Les taches de sol nu sont plus ou moins coalescentes. On observe des successions de croûtes de ruissellement (RUI), croûtes structurales à 1 micro-horizon (ST1) et de croûte de dessiccation (DES), peu de croûtes d'érosion et pratiquement pas de croûte structurale à 2 ou 3 horizons. On note la présence de quelques gravillons de très petite taille, le sol devient très gravillonnaire dès les 10 premiers cm (cf description de la fosse pédologique). Les croûtes de ruissellement et dans une moindre mesure les croûtes de dessiccation sont couvertes d'un film d'algue vert-gris à brun foncé.

**Bassin versant de Keur Dianko
Situation du dispositif
AID**



La pente générale du site est régulière de l'ordre de 2%.

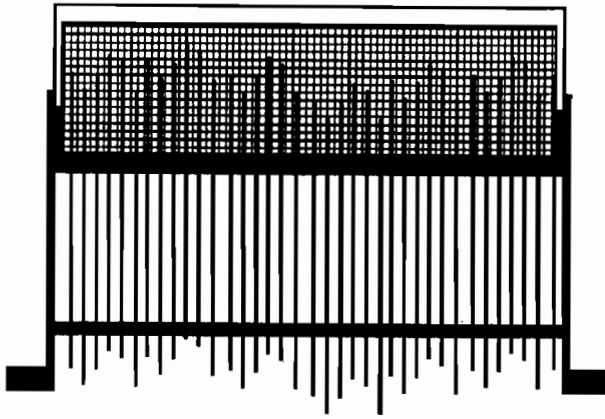


Figure 1 : Châssis à fiches

2) Description des parcelles

Il était prévu une description fine des états de surface avant chaque pluie sur chacune des parcelles. Nous avons procédé à une description classique avant la première pluie et noté les transformations avant les deux suivantes. Deux profils de rugosité ont été effectués à l'aide d'un châssis à fiches. Le châssis fait 1 m de long et comprend 37 fiches espacées de 24 mm.

Avant les pluies, pour rendre comparables les deux surfaces, toute la végétation graminéenne a été soigneusement coupée au ciseau et la litière retirée au pinceau. Quelques brindilles sèches incluses dans le sol sont cependant restées çà et là. Le tableau suivant donne la description des parcelles :

	Parcelle Témoin	Parcelle Bader
Pente	12 mm sur 1 m soit 1,2%	18 mm sur 1 m soit 1,8%
Relief	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de relief obstruant, légères ondulations - Creux d'amplitude de 1 à 2 cm; - Chemin préférentiel de l'eau (de l'amont vers l'aval au centre de la parcelle) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de relief obstruant, légères ondulations - Creux d'amplitude de 1 à 2 cm; - Chemin préférentiel de l'eau (de l'amont vers l'aval au centre de la parcelle fig 2)
Mésosofaune	<ul style="list-style-type: none"> - Quelques trous de fourmis, - Placage de termitières (>5%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Quelques trous de fourmis, - Placage de termitières (=10 à 20%)
Macroporosité	<ul style="list-style-type: none"> - Importante le long des tiges fines des graminées coupées, - Quelques trous de fourmis 	<ul style="list-style-type: none"> - Importante le long des tiges fines des graminées coupées, - Quelques trous de fourmis - Trous de termites
Pellicules	<ul style="list-style-type: none"> - Pellicule plasmique de type RUI et couverte d'algues brunes (60%), pellicule ST1, 5 %, le reste DES ou placage termitières 	<ul style="list-style-type: none"> - Pellicule plasmique de type RUI et couverte d'algues brunes (80%), le reste DES ou placage termitières

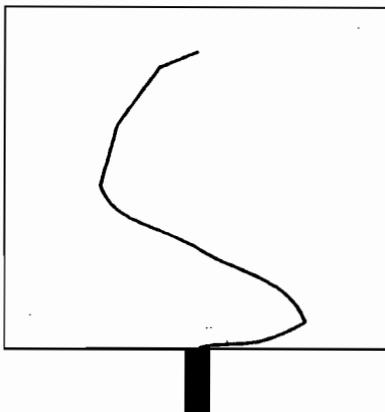


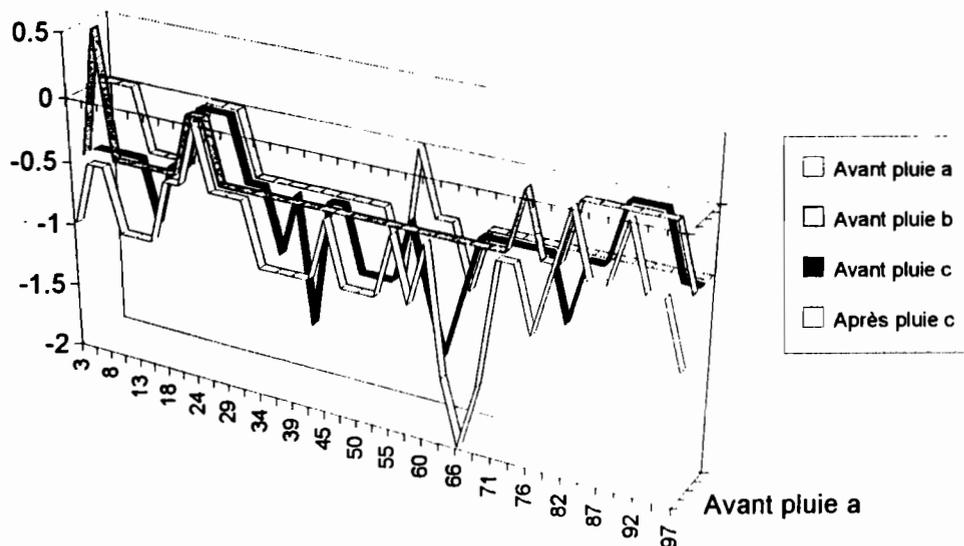
Figure 2 : Parcelle Bader, chemin de l'eau au début de la pluie. En début de recyclage du ruissellement l'eau, qui vient de manière uniforme de la bordure amont, se concentre vers cette ligne de point bas, ensuite la lame d'eau en s'épaississant couvre toute la parcelle. L'épaisseur de la nappe d'eau ruissellante a été suivie (cf dossier simulation de pluies).

3) Dépouillement des profils de rugosité de la parcelle

Les données se trouvent dans le fichier a:\ETSURF\PROFILO.XLS. Avant chaque pluie et après la dernière deux profils de rugosité sont effectués perpendiculairement à la pente à 30 et 60 cm de la bordure amont de la parcelle. Les lectures sont faites au 1/2 cm, cette précision, qui s'avèrait satisfaisante lors de l'étude de la modification des états de surface de sols travaillés, devient insuffisante dans le cas de sols à l'état naturel. Nous aurions dû faire les lectures au mm. La figure 3 montre en exemple, l'évolution du profil amont de la parcelle témoin.

Figure 3

Profil de surface parcelle témoin amont

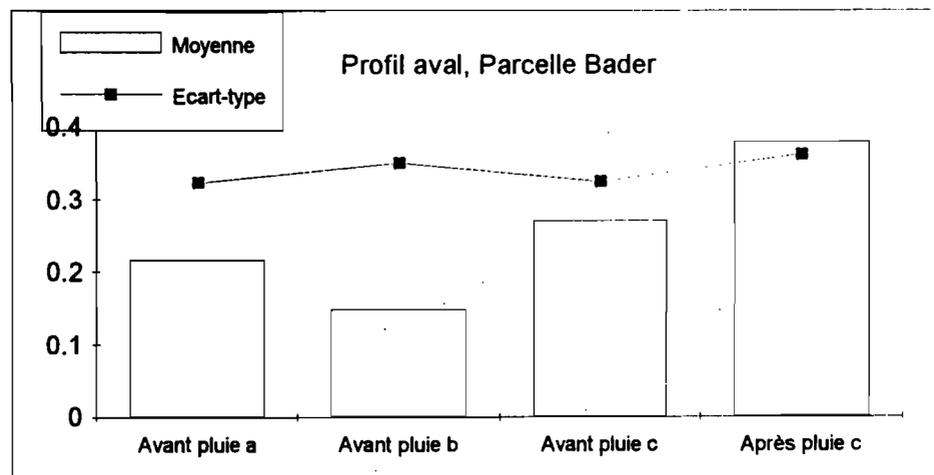
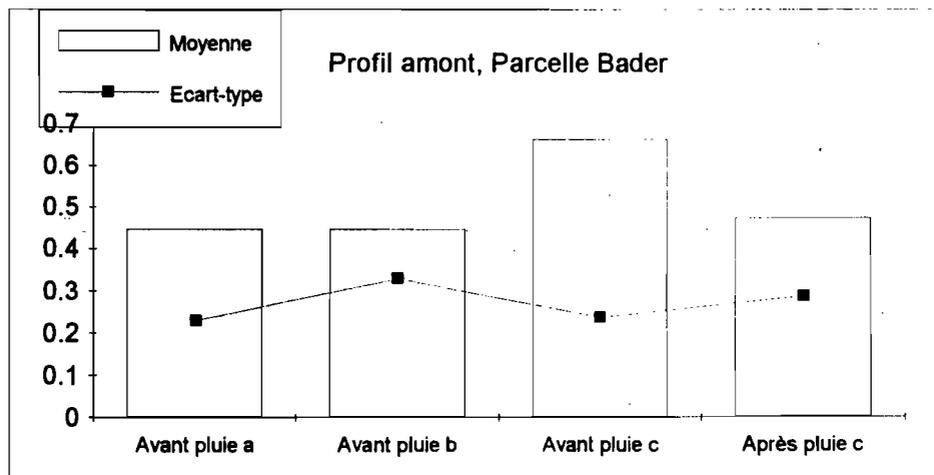
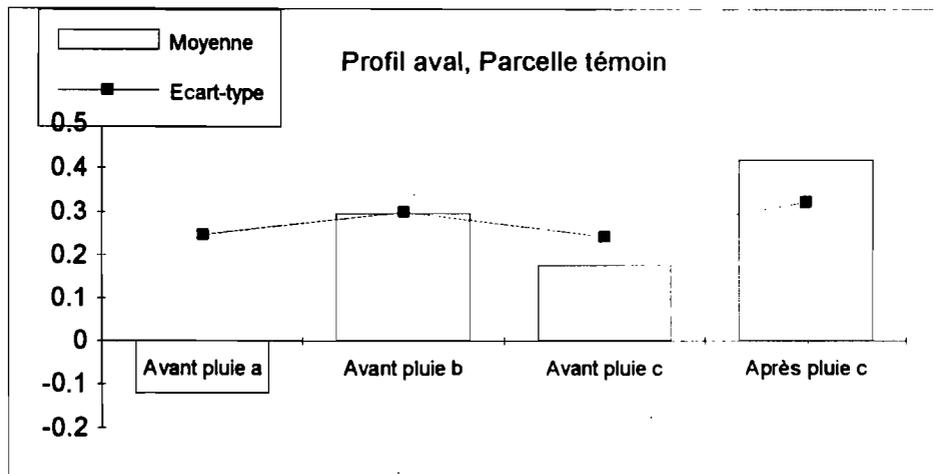
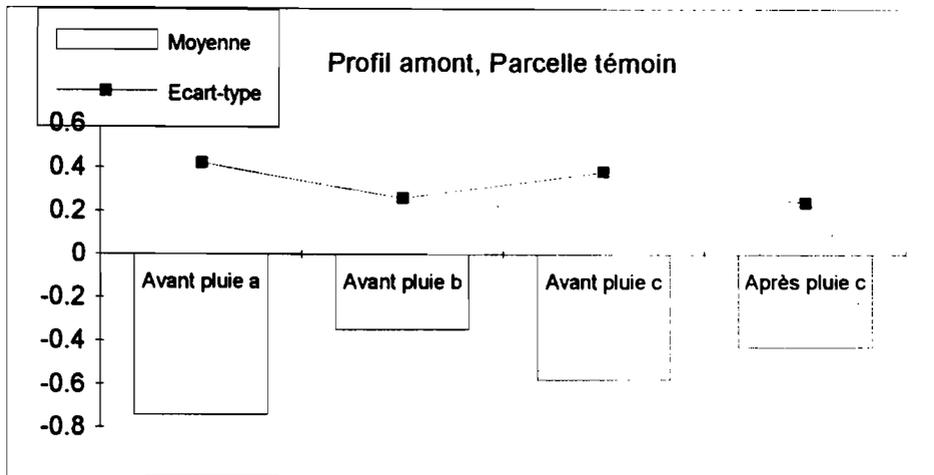


On remarque qu'au cours de la première pluie tous les creux au centre du profil se sont rebouchés; pendant la seconde pluie, on a eu un recreusement aux endroits remblayés et lors de la troisième pluie, on a de nouveau sédimentation. Ces graphiques qui donnent une bonne appréciation qualitative de l'évolution du profil ne sont pas exploitables quantitativement. On propose de définir deux variables dont on suivra l'évolution (figure 4):

- La moyenne des mesures sur le profil représente "un niveau de base de ce profil", il y aura d'autant plus d'érosion que cette moyenne diminue.
- L'écart-type des mesures sur le profil représente "le coefficient de rugosité de ce profil", il y aura lissage de la surface lorsque celui-ci diminue.

Parcelle Témoin					
Profil amont (cm)			Profil aval (cm)		
	Moyenne	Ecart-type		Moyenne	Ecart-type
Avant pluie a	-0.74	0.42	Avant pluie a	-0.12	0.25
Avant pluie b	-0.35	0.26	Avant pluie b	0.30	0.30
Avant pluie c	-0.58	0.38	Avant pluie c	0.18	0.24
Après pluie c	-0.43	0.24	Après pluie c	0.42	0.32
Parcelle Bader					
Profil amont (cm)			Profil aval (cm)		
	Moyenne	Ecart-type		Moyenne	Ecart-type
Avant pluie a	0.45	0.23	Avant pluie a	0.22	0.32
Avant pluie b	0.45	0.33	Avant pluie b	0.15	0.35
Avant pluie c	0.66	0.24	Avant pluie c	0.27	0.32
Après pluie c	0.47	0.29	Après pluie c	0.38	0.36

figure 4



les hauteurs sont en cm

UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



Dossier 3 : Infiltration Muntz

Dossier infiltration Muntz

Une infiltration sous charge d'eau constante dans un dispositif double anneau a été réalisée à proximité des parcelles de simulation de pluie. Cette expérimentation visait deux objectifs :

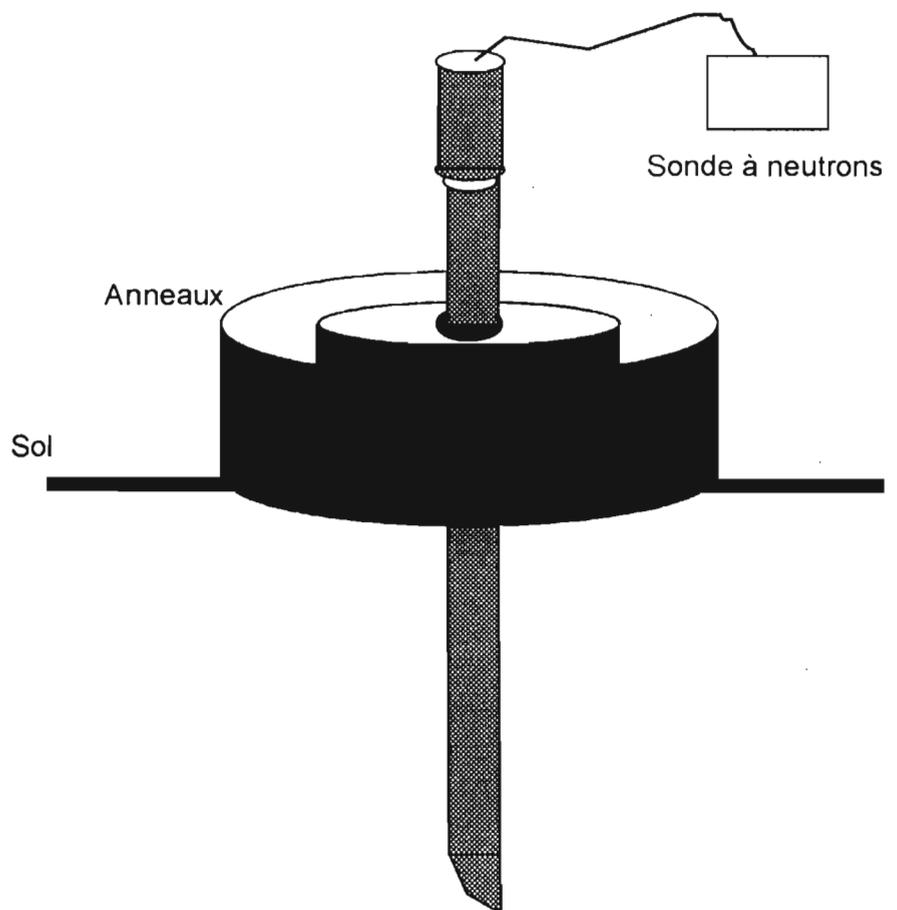
- Appréhender l'intensité d'infiltration stabilisée sous lame d'eau constante,
- Etalonner les tubes de sonde à neutrons qui ont été installés sur la parcelle de simulation de pluie sans recyclage (parcelle témoin).

1) Dispositif expérimental

Il s'agit d'un infiltromètre double anneau de type IRAT : diamètre extérieur 96 cm, diamètre intérieur 58 cm ayant une partie aérienne de 30 cm et une partie enfoncée dans le sol de 7 cm. Au centre de l'anneau intérieur est installé un guide pour le tube de sonde à neutron. Il a été utilisé un tube en PVC installé à la profondeur de 1m10. Dans chaque anneau, deux repères sont marqués à 4 cm et 3,5cm du sol. A chaque fois que le niveau d'eau descend de 0,5 cm, il est rétabli à la cote 4cm par un remplissage manuel et le temps chronométré à la seconde est marqué sur la fiche de terrain.

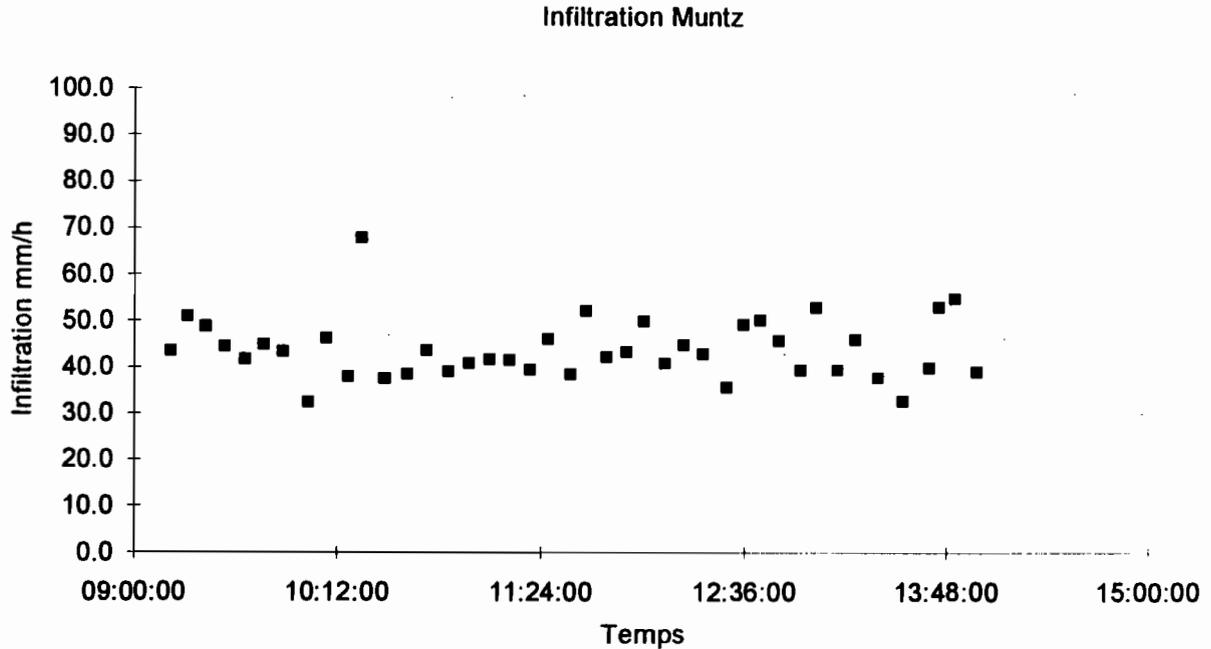
Temps	Intérieur	Intensité
09:05:00	4	0.0
09:05:35	0.5	514.3
09:05:54	0.5	947.4
09:12:47	0.5	43.6
09:18:40	0.5	51.0
09:24:49	0.5	48.8
09:31:34	0.5	44.4
09:38:45	0.5	41.8
09:45:25	0.5	45.0
09:52:20	0.5	43.4
10:01:36	0.5	32.4
10:08:04	0.5	46.4
10:15:58	0.5	38.0
10:20:23	0.5	67.9
10:28:22	0.5	37.6
10:36:08	0.5	38.6
10:43:00	0.5	43.7
10:50:40	0.5	39.1
10:58:00	0.5	40.9
11:05:11	0.5	41.8
11:12:24	0.5	41.6
11:20:00	0.5	39.5
11:26:30	0.5	46.2
11:34:16	0.5	38.6
11:40:00	0.5	52.3
11:47:06	0.5	42.3
11:54:00	0.5	43.5
12:00:00	0.5	50.0
12:07:20	0.5	40.9
12:14:00	0.5	45.0
12:21:00	0.5	42.9
12:29:25	0.5	35.6
12:35:30	0.5	49.3
12:41:28	0.5	50.3
12:48:00	0.5	45.9
12:55:36	0.5	39.5
13:01:15	0.5	53.1
13:08:50	0.5	39.6
13:15:20	0.5	46.2
13:23:15	0.5	37.9
13:32:25	0.5	32.7
13:39:55	0.5	40.0
13:45:33	0.5	53.3
13:51:00	0.5	55.0
13:58:40	0.5	39.1

Figure 1 : Dispositif expérimental de l'infiltration Muntz



Les résultats des observations sont donnés dans le fichier A:\MUNTZ\MUNTZ.XLS. Le report des données intensité d'infiltration en fonction du temps montrent que l'infiltration se stabilise très rapidement autour d'une valeur de **40 mm/h** (figure 2). Cette valeur est à comparer à la vitesse d'infiltration minimale observée sous pluie simulée (**15 mm/h**). La rapide décroissance de la vitesse d'infiltration et sa stabilisation à environ une demi-heure après le début de l'expérience est caractéristique des sols à forte réorganisation de surface et à perméabilité restreinte en surface.

Figure 2 : Vitesse d'infiltration en fonction du temps



Pendant les 5 heures qu'a duré l'expérience il a été deversé une lame d'eau de 260 mm dans l'anneau central et de 265 mm dans l'anneau extérieur.

2) Etalonnage de la sonde à neutron

Trois tubes de sonde à neutrons en PVC ont été étalonnés par rapport à un tube en dural fourni par Nardeux. Le tube PVC A est installé dans l'infiltromètre double anneau, le tube PVC B est installé dans la parcelle témoin, le tube C destiné à la parcelle "Bader" ne sera pas installé.

Etalonnage EAU 15/11/1993 à 12h00 fin 13h50							
	Dural	PVC A	Dural	PVC B	Dural	PVC C	Dural
	1571	954	1570	959	1556	963	1570
	1551	940	1557	967	1557	961	1561
	1551	951	1566	966	1571	967	1554
	1561	956	1553	967	1563	967	1565
	1570	936	1563	969	1568	954	1554
	1555	948	1575	974	1553	963	1560
	1545	952	1571	967	1561	967	1571
	1566	953	1573	971	1553	956	1573
	1564	963	1573	963	1557	950	1557
	1549	959	1552	960	1563	959	1560
Moyenne	1558	951	1565	966	1560	961	1563
Ecart type	9	8	9	5	6	6	7

On obtient donc les comptages Dural pour les tubes PVC par les relations suivantes :

Tube PVC "A" = 1,638 x comptage

Tube PVC "B" = 1,620 x comptage

Tube PVC "C" = 1,624 x comptage

Les densités apparentes du sol ont été déterminées au laboratoire de rétractométrie à partir d'échantillons prélevés dans des cylindres calibrés.

Profondeur	Densité apparente du sol		
	Densité éch.sec	Densité éch.hum.	Densité cap. au champ
5cm	1.59	1.57	1.58
10cm	1.46	1.44	1.45
35cm	1.69	1.59	1.6
75cm	1.83	1.82	1.83

Densité cap au champ : Densité de l'échantillon après ressuyage
 éch. sec & éch.hum. : Densité échantillon sec à la limite de retrait & humide (à saturation)

Cinq profils de mesures sonde à neutrons ont été couplés à des prélèvements à la tarière. Trois prélèvements ont été réalisés pour chaque niveau de profondeur dans l'anneau interne de l'infiltromètre. L'humidité pondérale a été calculée par pesage après dessiccation à l'étuve pour chaque horizon. La moyenne des trois valeurs est retenue (Fichier A:\MUNTZ\ETALPOND.XLS). Avant et après chaque profil "sonde" 10 points "eau" sont réalisés dans le tube "Dural" de référence (Fichier A:\MUNTZ\EAUETAL.XLS).

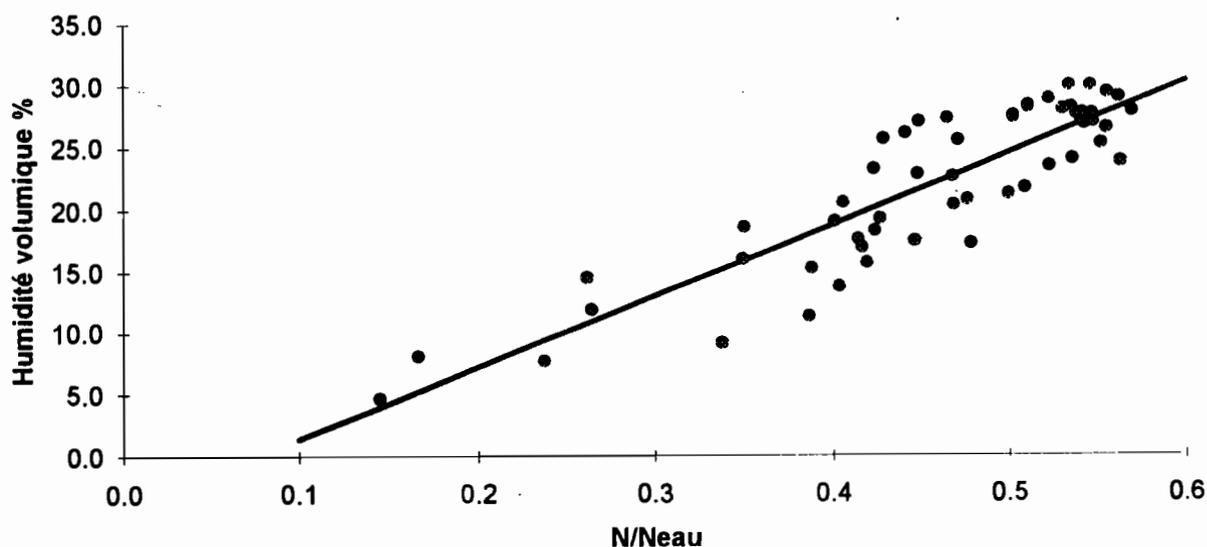
	Date	16/11 09:10	17/11 14:35	18/11 10:45	22/11 10:10	29/11 10:15
Avant Muntz	Moyenne	1562	1572	1565	1559	1559
	Ecartype	7	19	8	7	12
Après Muntz	Moyenne	1558	1565	1561	1556	1563
	Ecartype	8	8	7	5	9

Pour chaque mesure sonde dans le tube PVC "A" installé dans l'infiltromètre on calcule la valeur

$\frac{N}{N_{eau}} = N_{PVC} \times \alpha / \sum pt. eau / 20$. Ces valeurs sont ensuite corrélées aux humidités volumiques (humidité pondérale x densité apparente des échantillons à la capacité au champ). Le report en coordonnées cartésiennes montre qu'il existe une relation unique entre l'humidité volumique et la variable $\frac{N}{N_{eau}}$ pour toutes les profondeurs (figure 3).

Figure 3

Etalonnage "Sonde à neutron"



La relation s'écrit :

$$Hv\% = 57,905 N/Neau - 4,414 \text{ avec } R=0,883 \text{ pour } 55 \text{ couples de valeurs.}$$

3) Suivi du ressuyage après l'infiltration double anneaux

Des mesures "sonde" ont été réalisées dès la fin de l'essai d'infiltration, d'abord de manière très rapprochée puis de plus en plus espacée pendant les 15 jours qui ont suivis. La figure 4 montre le ressuyage pendant les heures qui ont suivi la disparition de la lame d'eau dans l'anneau central et la figure 5 le ressuyage pendant les jours suivants. Le premier profil représenté sur ces deux figures et daté du 16/11/93 représente l'humidité du profil avant l'expérience (mesure de la veille).

Profondeurs	Ressuyage : humidité volumique %									
	16/11 09:20	17/11 14:45	17/11 15:00	17/11 15:07	17/11 15:15	17/11 15:30	18/11 10:55	20/11 10:45	22/11 10:20	29/11 10:25
10	3.55	19.72	19.05	19.29	18.08	18.45	15.80	13.04	10.87	4.94
20	9.63	23.10	22.68	22.62	21.59	21.47	20.71	19.13	17.51	11.26
30	15.23	23.47	23.89	23.22	23.47	24.07	23.08	22.96	21.47	15.88
40	17.72	25.95	25.76	25.40	26.43	26.07	25.57	25.27	24.57	19.04
50	18.93	27.64	26.61	26.67	26.91	27.94	27.51	26.00	26.95	21.41
60	20.09	28.06	27.64	27.70	27.94	28.06	28.18	27.70	27.37	22.57
70	19.54	27.09	27.40	26.79	26.25	26.61	28.18	26.18	26.58	22.63
80	19.12	26.61	26.61	26.67	26.61	26.55	27.06	25.82	25.79	20.74
90	19.24	25.46	25.52	26.01	26.37	26.43	27.14	24.78	25.55	20.74
100	19.91	26.61	27.58	28.06	27.34	26.97	26.84	24.84	24.94	21.35
110	22.28	29.03	27.40	28.00	28.18	28.30	26.23	26.79	27.31	25.00

Sur la figure 4 on remarque que la capacité de stockage est inférieure à 30% sur tout le profil observé et que la capacité de rétention est maximale pour l'horizon 50 à 70 cm. La surface se dessèche assez rapidement. Sur la figure 5 on voit qu'au bout de 12 jours, on a à peu près retrouvé le profil de départ sur les 110 premiers cm du sol. Le stock en eau dans les 110 premiers cm calculé entre l'état initial (16/11) et le profil correspondant à la fin de l'infiltration correspond à une lame d'eau de 102 mm. Lors de l'expérience Muntz, la lame d'eau infiltrée est égale à 260 mm; en négligeant l'évaporation pendant le temps de l'expérience, on peut estimer que la lame drainée en dessous de 110 cm est de 158 mm.

Figure 4

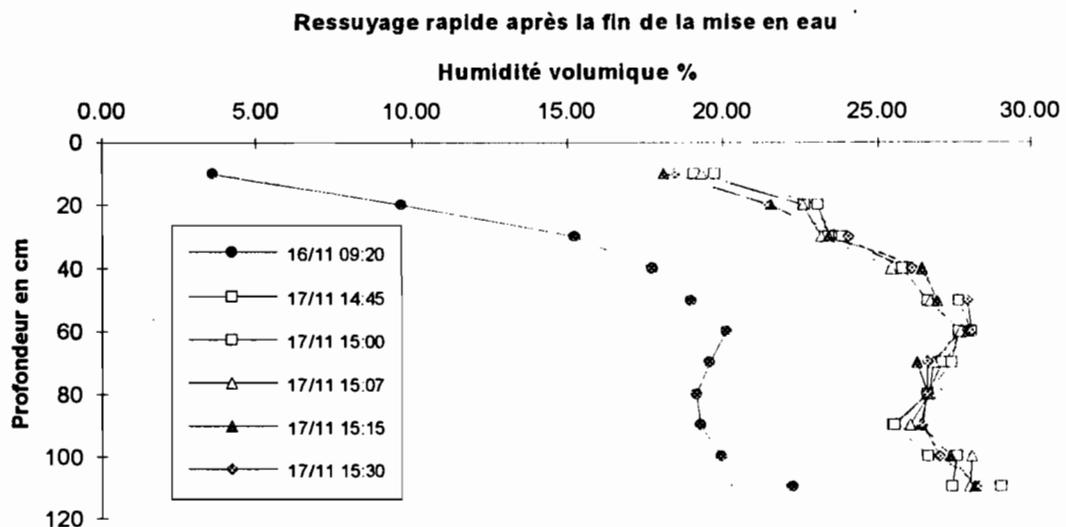
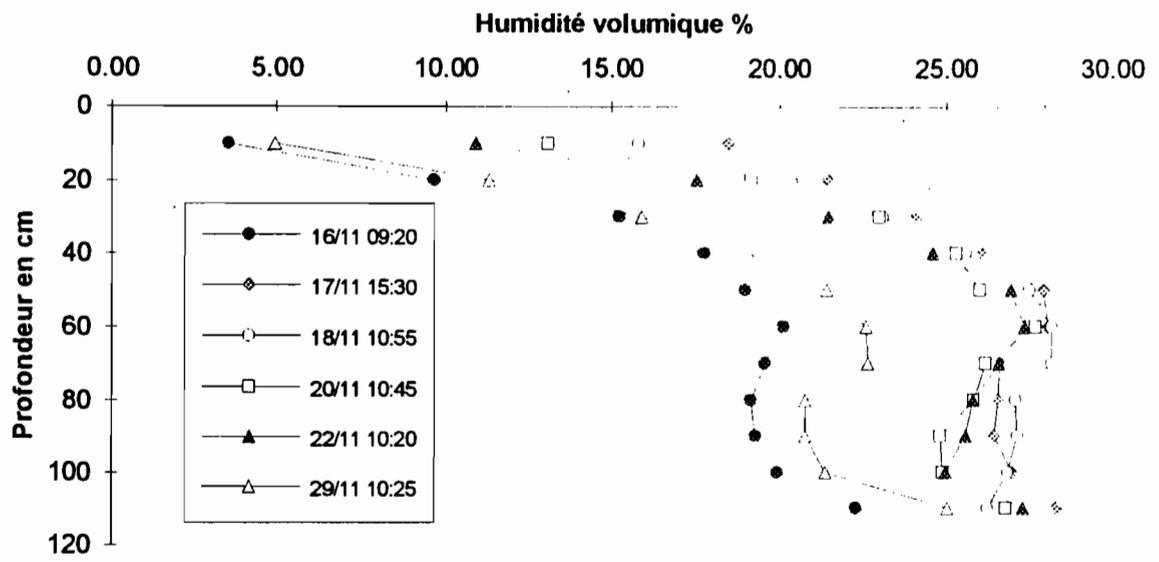


Figure 5

Ressuyage lent



Les données sont dans le fichier A:\MUNTZ\RESSUI.XLS.

UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



**Dossier 4 : Humidité et pression
de l'eau dans le sol**

Dossier : teneur et pression en eau dans le sol des parcelles de simulation de pluie

1) Le dispositif expérimental et ses objectifs

Un profil d'humidité à l'état initial a été réalisé à partir d'un prélèvement à la tarière entre les deux parcelles. A la fin de chaque protocole de pluie un autre profil a été effectué, les stocks en eau du sol sont déduits de ces deux mesures. Chaque profil d'humidité volumique résulte de la moyenne des humidités pondérales de trois échantillons de sol pris tous les dix cm multiplié par la densité apparente du sol à cette profondeur.

Le suivi de la pression de l'eau dans le sol a été permis par l'installation de 7 cannes tensiométriques dans chaque parcelle aux profondeurs suivantes : 3, 6, 9, 15, 30, 60, 90 cm. Pour les trois premiers niveaux les tensiomètres nardeux ont été transformés de la manière suivante :

- tensiomètre 3 cm, la bougie poreuse est remplacée par une pastille en céramique de même diamètre que la canne et d'épaisseur 1 cm,
- tensiomètre 6 cm, la bougie poreuse est coupée à 1,5 cm et recollée sur la canne,
- tensiomètre 9 cm, la bougie poreuse est coupée à 3 cm et recollée sur la canne,

Ce dispositif doit servir à repérer en cours d'averse l'avancée de front d'humectation et a pour objectif de donner une valeur numérique à la résistance hydraulique de l'état de surface à partir du gradient de charge mesuré sous la croûte (modèle de Hillel).

Sur la parcelle témoin, un tube de sonde à neutrons a été installé au centre après la fin de la dernière pluie du protocole pour suivre le ressuyage des sols en même temps que la rétraction des profils mesurés avec des rétractomètres de terrain dont le modèle a été mis au point pour cette AID.

2) Stocks en eau dans les parcelles de simulation de pluie

Les données se trouvent dans le fichier A:\HUMIDE\HUMBIL.XLS

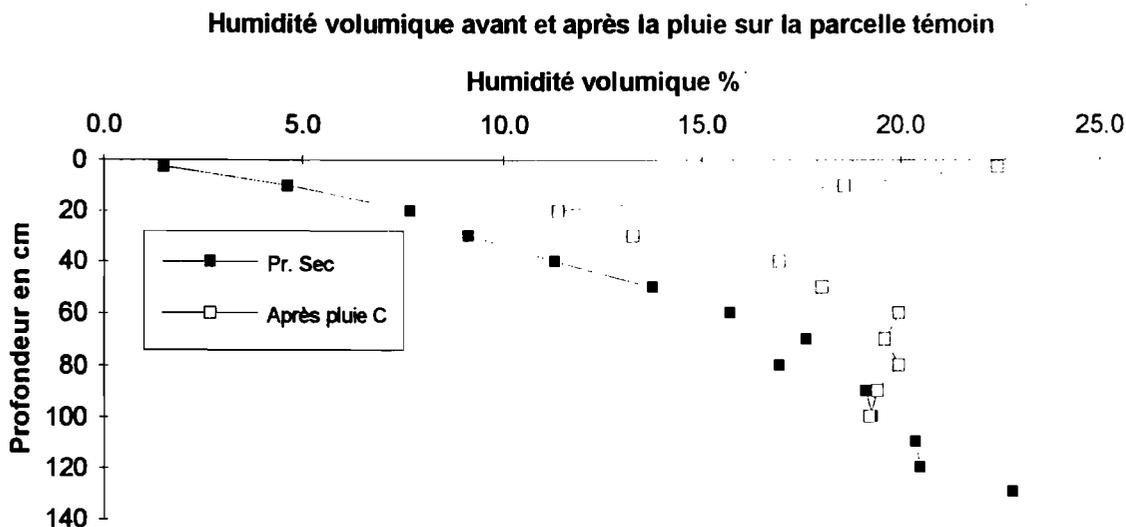
Profil sec parcelle témoin et parcelle Bader				
date		16/11 09:10		
Profondeur	Profondeur	Humidité P	Densité	Humidité V
0-5	2.5	1.1	1.4	1.5
5-15	10	3.2	1.45	4.6
15-25	20	5.3	1.45	7.7
25-35	30	6.1	1.50	9.1
35-45	40	7.1	1.60	11.3
45-55	50	8.6	1.60	13.8
55-65	60	9.2	1.70	15.7
65-75	70	9.6	1.83	17.6
75-85	80	9.3	1.83	17.0
85-95	90	10.4	1.83	19.1
95-105	100	10.5	1.83	19.3
105-115	110	11.1	1.83	20.4
115-125	120	11.2	1.83	20.5
125-135	130	12.5	1.83	22.9

Profil après pluie c sur parcelle témoin				
date		18/11/1993		
Profondeur	Profondeur	Humidité P	Densité	Humidité V
0-5	2.5	15.5	1.45	22.5
5-15	10	12.8	1.45	18.6
15-25	20	7.6	1.50	11.4
25-35	30	8.3	1.60	13.3
35-45	40	10.6	1.60	17.0
45-55	50	10.6	1.70	18.0
55-65	60	10.9	1.83	19.9
65-75	70	10.7	1.83	19.6
75-85	80	10.9	1.83	19.9
85-95	90	10.6	1.83	19.4
95-105	100	10.5	1.83	19.2

Profil après pluie c sur parcelle Bader				
date		18/11/1993		
Profondeur	Profondeur	Humidité P	Densité	Humidité V
0-5	2.5	16.3	1.45	23.6
5-15	10	15.9	1.45	23.1
15-25	20	12.2	1.50	18.3
25-35	30	7.4	1.60	11.8
35-45	40	8	1.60	12.8
45-55	50	9.9	1.70	16.8
55-65	60	9.9	1.83	18.1
65-75	70	9.4	1.83	17.2
75-85	80	9.5	1.83	17.4

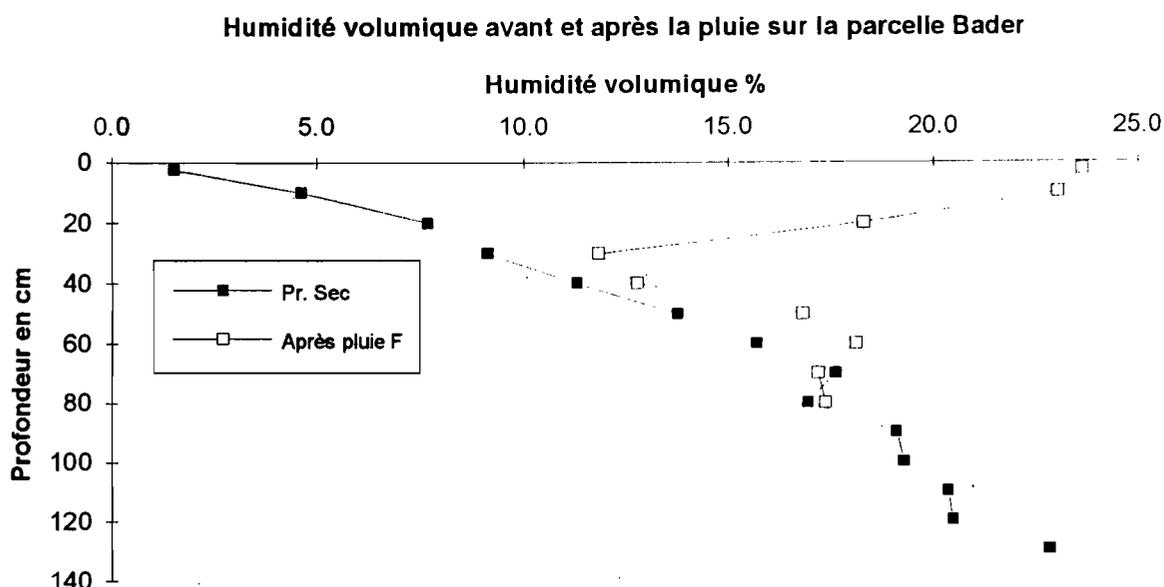
Les graphiques 1 et 2 montrent la variation du stock en eau du sol entre l'état initial et la fin de la simulation de pluie, obtenue à partir des prélèvements faits à la tarière. Sur la parcelle témoin, on mesure une variation de ce stock de 50 mm. La différence mesurée entre la somme des pluies précipitées (218 mm) et la somme des lames ruisselées (160 mm) est de 58 mm. A la précision de la mesure près, on peut estimer que la différence entre ces deux valeurs (8 mm) est imputable à l'évaporation de l'eau dans le sol (2,7 mm/jour). L'évaporation mesurée sur bac est de l'ordre de 7 mm/jour et l'ETP Penman de 5 mm/j au mois de novembre dans la région.

Figure 1



Sur la parcelle Bader, la totalité de la pluie aurait dû être recyclée et donc infiltrée à la fin de l'expérimentation. La lame infiltrée théorique est de 100 mm. Au cours des deux premières pluies, des dysfonctionnements du système de recyclage dus la première fois à des bouchons de paille entraînée par le ruissellement et la seconde fois à un débit de ruisselé (> 360 mm/h) supérieur à la capacité de transit du système ont provoqué des fuites importantes. Au cours de la troisième averse une partie du ruissellement n'a par ailleurs pas été recyclé volontairement. La variation de stock mesurée dans le sol est de 48 mm. En estimant que les pertes par évaporation sont les mêmes que pour l'autre parcelle (8 mm), il est possible d'estimer les pertes de ruissellement à une valeur de 44 mm soit 44 litres d'eau. On retombe presque sur la valeur estimée à partir des enregistrements (cf dossier simulation 41.9 litres).

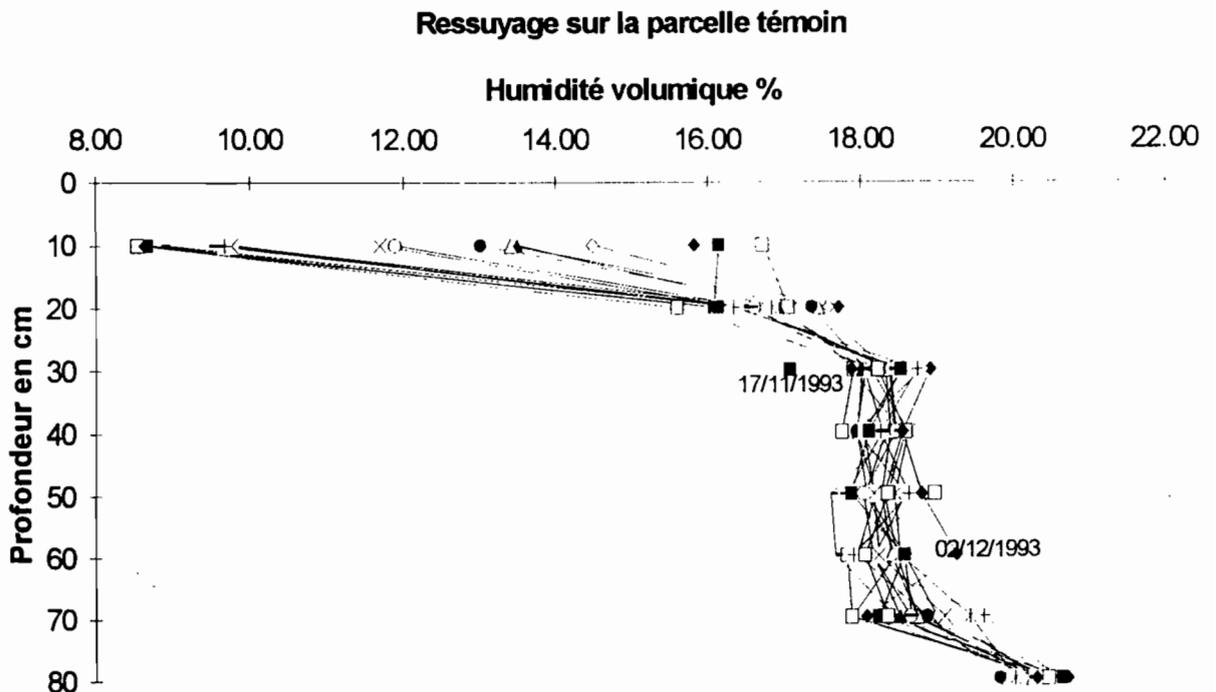
Figure 2



3) Ressuyage du sol parcelle témoin

Le protocole de mesure sonde à neutron est identique à celui décrit pour le ressuyage du sol dans l'infiltromètre double anneau (cf. Dossier Muntz). Les données "sonde" et humidité se trouvent dans le fichier A:\HUMIDE\RESTEM.XLS. La figure 3 montre l'ensemble des profils d'humidité mesurés depuis la fin de la dernière pluie le 17/11 jusqu'au 2/12, l'assèchement de l'horizon de surface se fait progressivement, mais n'atteint pas l'état initial pour la profondeur 10 cm. Jusqu'au 2/12, soit 16 jours après l'expérimentation, le front d'humectation n'a guère dépassé la profondeur de 80 cm pour 58 mm d'eau infiltrée au départ. On remarquera qu'à partir de 70 cm l'humidité du sol ne varie que faiblement, on peut relier cette observation au fait que cette année, la saison des pluies s'est prolongée jusqu'au 27 octobre (la dernière décade d'octobre a totalisé 21 mm de précipitations au PAPEM). La différence de stock d'eau entre le profil réalisé juste en fin de la dernière pluie (17/11) et celui de la fin des mesures de ressuyage (2/12) s'élève à 7 mm. Si on attribue cette perte à l'évaporation et qu'on la compare à celle obtenue pendant la simulation de pluie, on peut conclure que l'évaporation devient très limitée dès que l'horizon de surface s'est asséché : 2.7 mm/j pendant les pluies, 0.5 mm/j après les pluies.

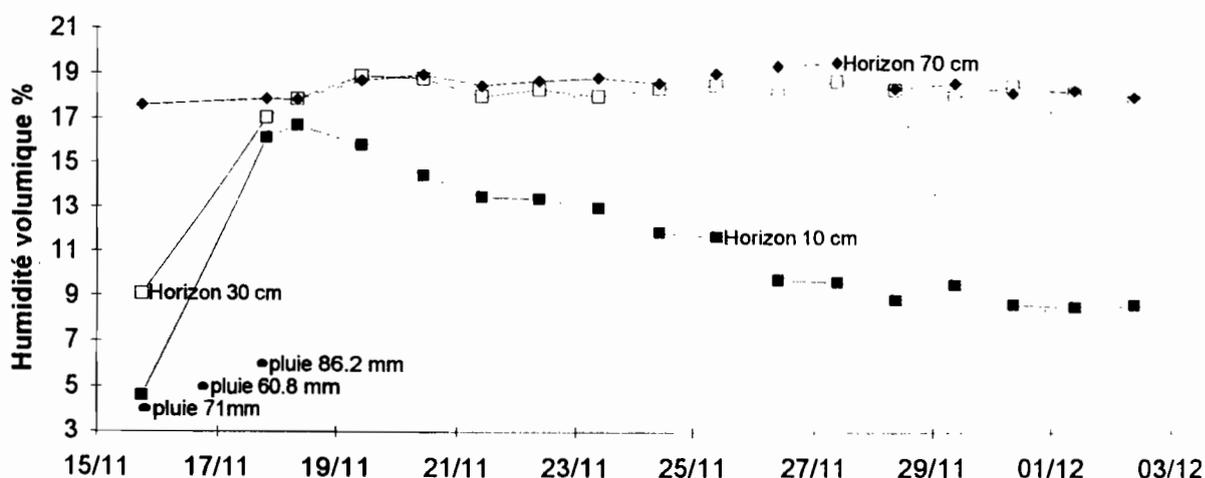
Figure 3



La figure 4 montre l'évolution temporelle de l'humidité volumique de trois horizons caractéristiques, 10, 30 et 70 cm. A la profondeur 10 cm, l'humidité augmente encore 14 h 30 après l'arrêt de la dernière pluie, elle commence à décroître 39 heures après, cette décroissance est rapide pendant 10 jours puis ralentit. A la profondeur 30 cm, l'humidité croît durant trois jours après l'arrêt des pluies, puis se stabilise pendant 12 jours puis commence à décroître très lentement. A la profondeur 70 cm, l'humidité ne varie pas pendant les 3 premiers jours, elle conserve sa valeur d'avant les pluies, elle croît ensuite lentement jusqu'au 28/11 et retrouve sa valeur de départ le 02/12/93.

Figure 4

Variation de l'humidité volumique en fonction du temps



4) Mesures de pression dans les parcelles de simulation de pluie

Les tensiomètres ont été installés le 07/11, une semaine avant l'expérimentation. Le calage des règles et des flacons de mercure a été fait sur les repères des règles Nardeux de façon à permettre une lecture directe des charges mesurées par rapport au niveau du sol (cf fin de dossier, conseils pour refaire la manip.). Les problèmes rencontrés ont été de deux ordres :

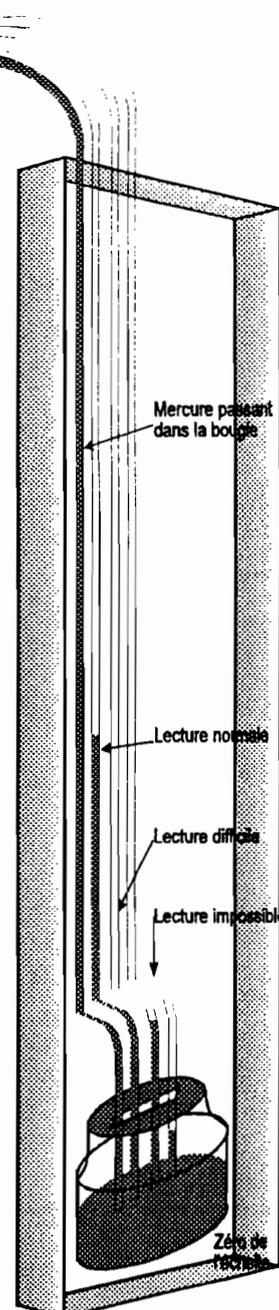
- Avant les pluies simulées, les tensiomètres de surface ont décroché pratiquement chaque jour sans donner de palier caractéristique de la pression à l'état initial et ont dû être encore purgés le matin même de la première simulation. On n'a pas de profil initial de pression correctement observé, seuls les tensiomètres à la cote 30 cm et 60 cm donnent un résultat :

	Parcelle Témoin	Parcelle Bader
Charge à 30 cm (état sec)	-831	-744
Charge à 60 cm (état sec)	-750	-866
	cm d'eau	cm d'eau

Pour les tensiomètres 60 et 90 cm, il a fallu décrocher manuellement les tensiomètres pour éviter que le mercure passe dans la bougie, les règles utilisées ne permettant une lecture qu'à -900 cm.

- Au cours des pluies lorsque les charges prennent une valeur supérieure à -30 cm, la lecture du niveau de mercure devient difficile (*surtout de nuit, les pluies qui devaient avoir lieu le matin ont dû être faites le soir après le changement de programme infligé par le calendrier chargé de notre chef!*) parce que le capillaire n'est plus appliqué contre la règle pour rentrer dans le flacon à mercure, la lecture est quasi impossible lorsque le niveau de mercure est dans le flacon (charge = -8 cm).

Ainsi, les tensiomètres 60 et 90 cm ont dû être désamorçés en fin de manip. pour ne pas risquer de perdre le mercure. Nous avons vu par les mesures de sonde à neutrons que le front d'humectation n'a pas atteint la cote 90 cm. La liste des purges effectuées en raison des décrochages est donnée ci-après :



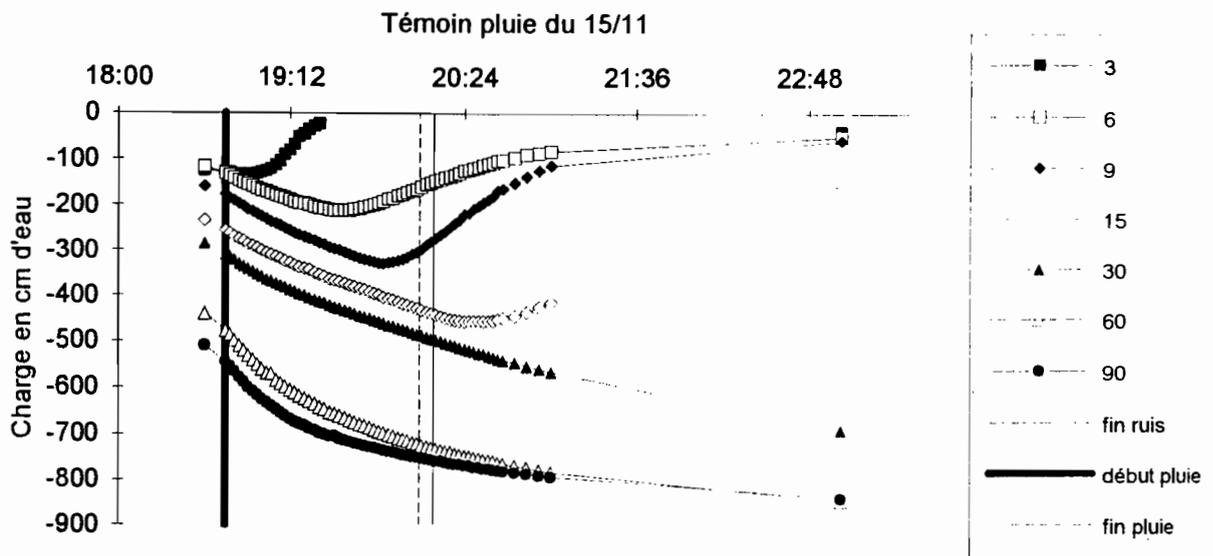
15-Nov 2 parcelles purge
 16-Nov parcelle Bader purge
 18-Nov parcelle Bader amorçage 30cm
 19-Nov parcelle témoin amorçage 30cm
 23-Nov parcelle témoin coupure mercure 9 et 15cm
 29-Nov amorçage de tous les tensios parcelle témoin

Les résultats sont donnés dans le fichier AHUMIDE/TENSIO.XLS.

Le protocole de mesure est d'un profil toutes les deux (2) minutes lors des pluies et un point toutes les cinq (5) minutes après la pluie et en fonction de la présence d'agent en phase de ressuyage lent, 1 lecture toutes les 24 heures après la dernière pluie.

4.1) Parcelle témoin

La figure 5a montre la variation des charges au cours de la première averse



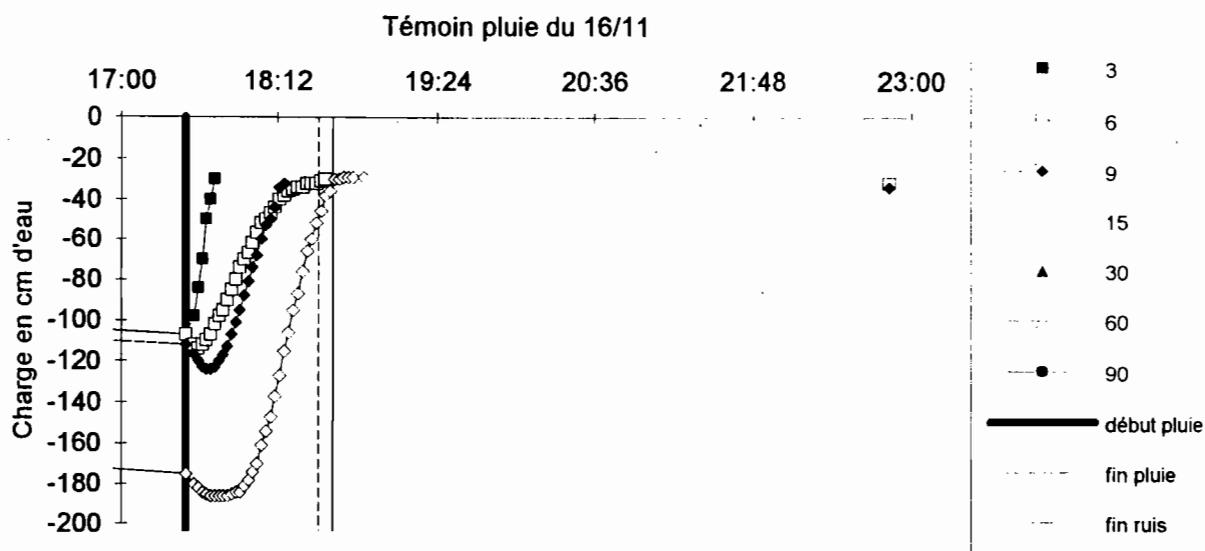
On remarque que suite à la purge intervenue quelques heures avant la simulation, les tensiomètres ne sont pas stabilisés d'où une diminution de la charge. Le front d'humectation dépasse 15 cm mais n'atteint pas 30 cm à 23 h. La pluie ayant commencé à 18h44, les différentes profondeurs sont atteintes:

hauteur	heure	temps au début de la pluie	Vitesse de progression
3 cm	18 h 52	soit 8 mn	225 mm/h
6 cm	19 h 30	soit 46 mn	47,4 mm/h
9 cm	19 h 50	soit 1 h 06 mn	90,0 mm/h
15 cm	20 h 24	soit 1 h 40 mn.	105,9 mm/h

Nous remarquerons que la progression du front est très rapide à 3 cm et diminue beaucoup jusqu'à 6 cm pour s'accroître entre 6 et 15 cm.

La charge à 3 cm a continué de monter, elle s'est stabilisée à une valeur difficile à lire, comprise entre -12 et -19 (retenons -16) puis a chuté quelques instants après l'arrêt de la pluie (-38 à 23h02). Pour les profondeurs 6 et 9 cm les charges continuaient à augmenter à 23h02 (-50 et -58), elles ont passé par un maximum pendant la nuit, le lendemain à 8h 30 elles affichaient -58 et -80. A 15 cm la charge continuait à augmenter pendant la nuit (-156 à 23h02, -134 à 8h30).

La figure 5b montre la variation des charges au cours de la seconde averse

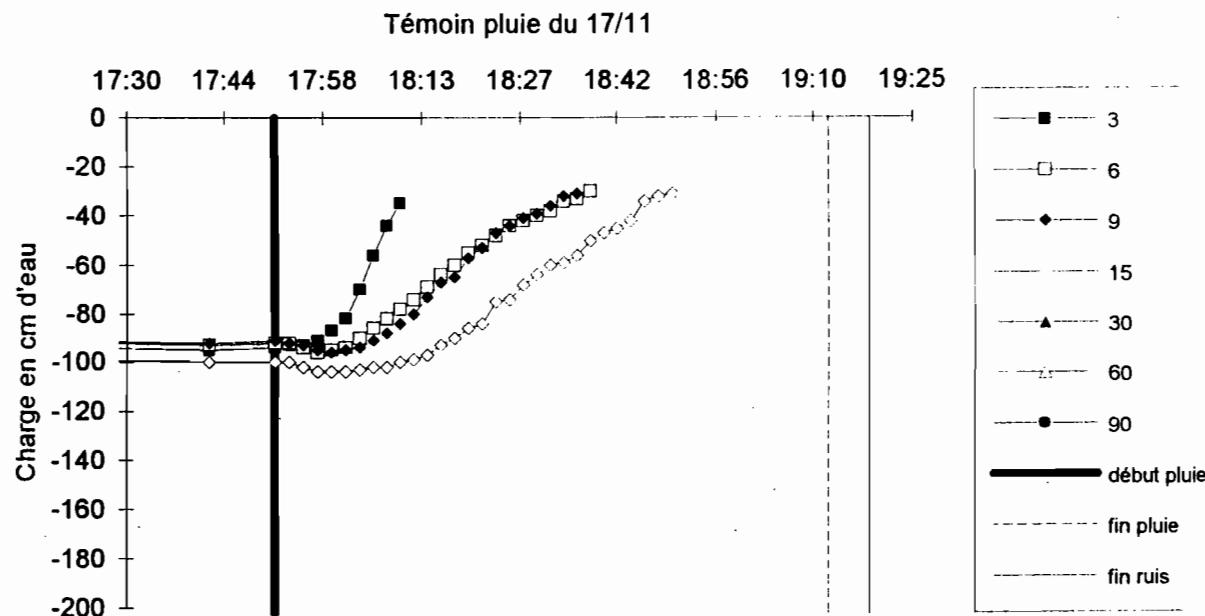


Le tensiomètre 3 cm réagit dès le début de la pluie. Aux horizons 6,9 et 15 cm, les tensièmes réagissent également très vite. Ils sont en phase d'assèchement lorsque la pluie commence (décroissance des charges). Aux horizons plus profonds, les tensièmes ne sont pas atteints par le front d'humectation et ne sont pas représentés sur la figure. Début pluie à 17h27.

hauteur	heure	temps au début de la pluie	Vitesse de réaction
3 cm	17 h 28	soit <2 mn	non mesurable
6 cm	17 h 30	soit 3 mn	600 mm/h
9 cm	17 h 32	soit 5 mn	900 mm/h
15 cm	17 h 44	soit 17 mn.	300 mm/h

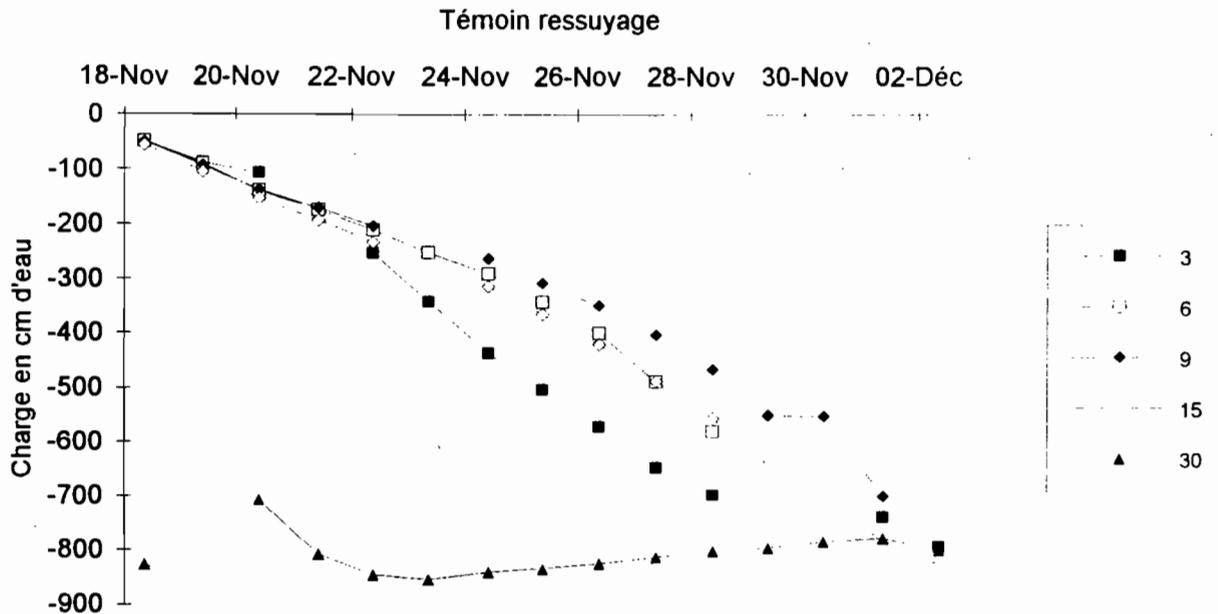
Entre 17h40 et la fin de la pluie le premier tensièmètre (3cm) passe par un palier supérieur à -30 que l'on peut estimer, malgré les difficultés de lecture vers -16. Le tensièmètre 6 cm rentre dans la zone de lecture difficile à 18 h 33 et le 9 cm à 18h 15 (stabilisation probable à -20 et -25). Le 15 cm se stabilise à 18 h 50 à -29 et redescend à la valeur -40 à la lecture de 22 h 50.

Le graphique 5c donne les variations de charge pendant la troisième pluie.
graphique 5c



Au cours de la troisième pluie les lecteurs de tensiomètres, (peut être fatigués ou ne croyant plus à ces mesures) ont arrêté les observations à 18h50 avant la fin de la pluie. A 18h14 la charge mesurée au premier tensiomètre arrive à -28 et se stabilisera à une valeur supérieure non lue (-16?); à 18h 38 et 18 h36 ce sont les tensiomètres 6 et 9 qui passent dans la zone supérieure à -30. Le 15 cm atteint une valeur palier à 18h 50, -31.

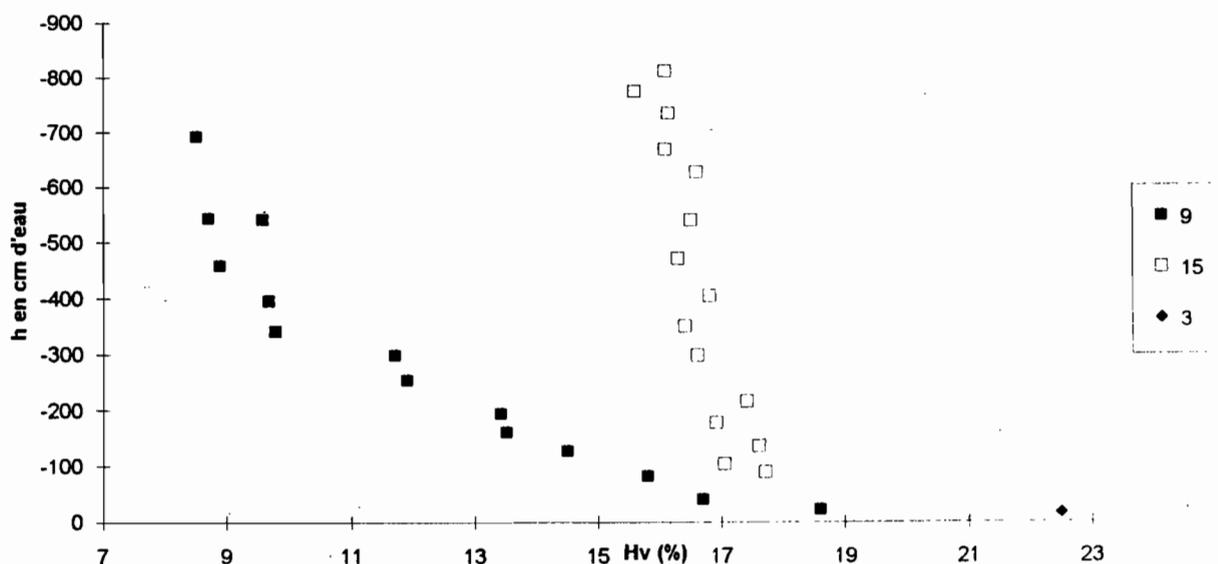
Figure 5 d : Ressuyage



Pendant le ressuyage, tous les tensiomètres sont en phase d'assèchement (figure 5d), à l'exception du 30 cm qui est atteint par le front d'humectation, le 22 novembre. En phase de ressuyage, il a été possible de tracer la courbe $h = f(Hv\%)$ pour les niveaux 9 et 15 cm, on a appliqué les variations de h à la cote 9 cm aux mesures sonde 10 cm et les variations de h à la cotes 15 cm aux mesures sonde 20 cm. La succion h est donnée par la charge à laquelle on soustrait la profondeur. *Nous comptons sur J. Touma pour modéliser ces deux courbes.*

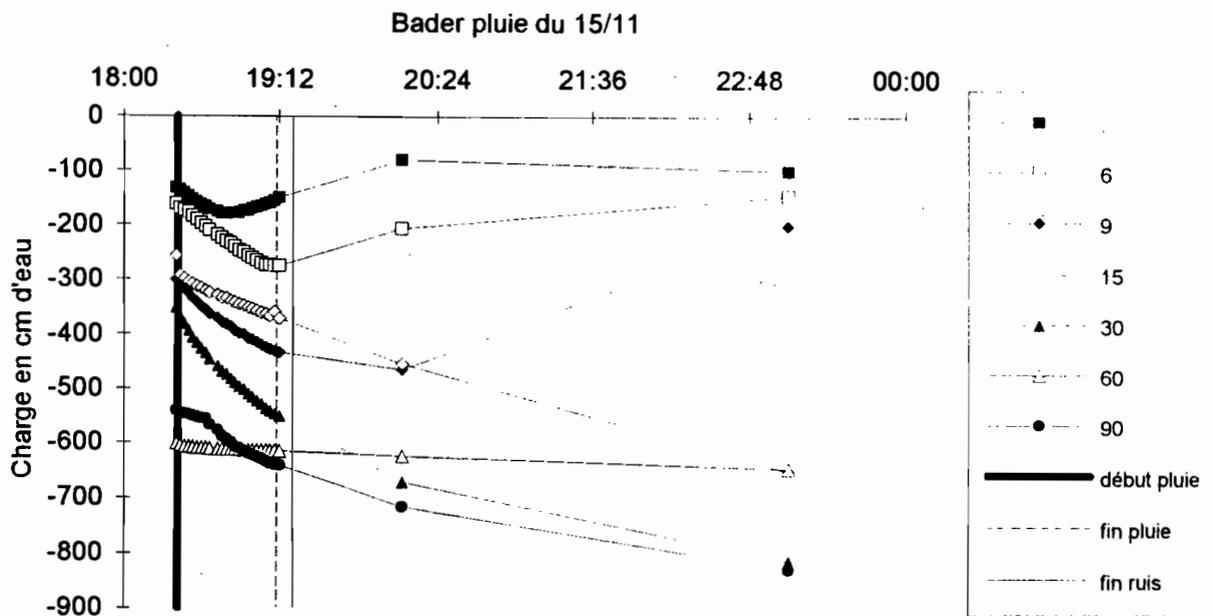
Figure 5 e

Relation $h = f(Hv \%)$



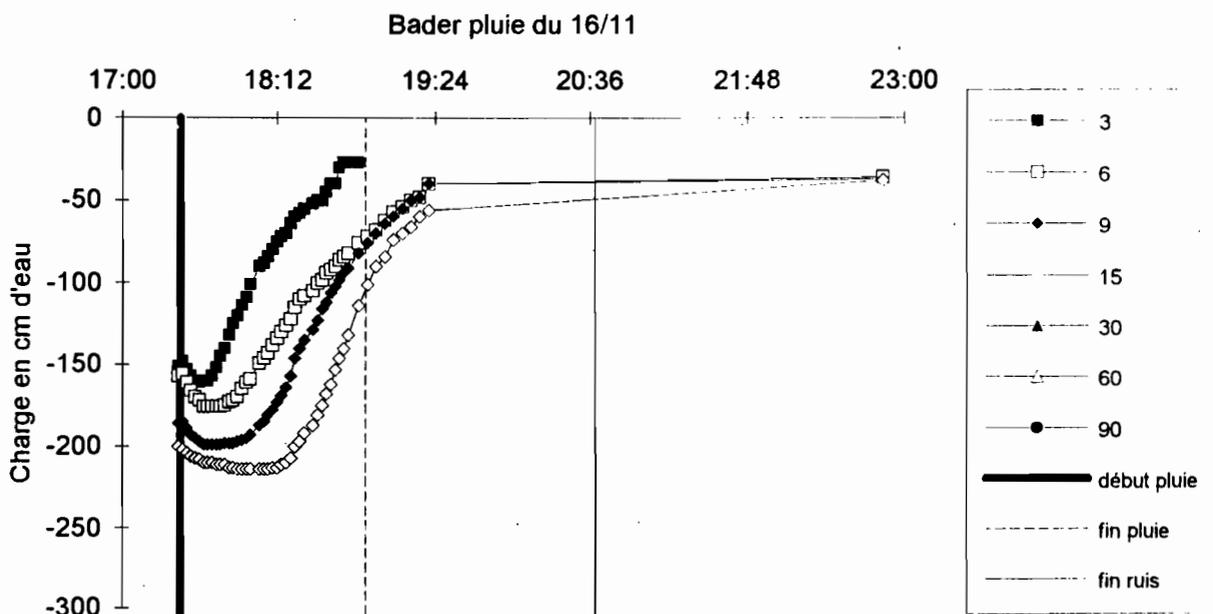
4.2) Parcelle Bader

La figure 6a montre la variation des charges au cours de la première averse, le 15/11 à 18h 25:



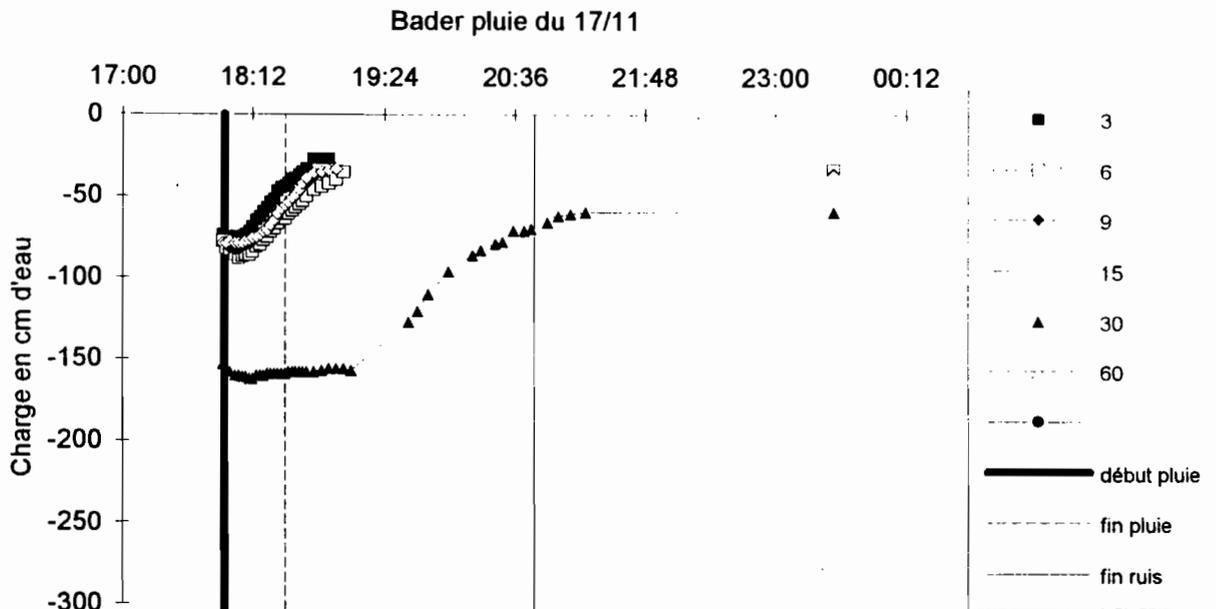
Dans un premier temps, on voit les tensiomètres qui ne sont pas encore équilibrés, le 60 cm, avec une bulle d'air a été mal purgé. On repère cependant correctement l'arrivée du front d'humectation: 18h48 pour 3cm, 19h12 pour 6cm, entre 20h 08 et 23h06 pour 9cm, entre 23h06 et 8 h le lendemain pour 15 cm. La lame infiltrée au cours de la première pluie est estimée à 16,7 mm, l'eau arrive plus profondément mais plus lentement que sur la parcelle témoin.

Figure 6 b : parcelle Bader, pluie du 16/11 à 17 h 27



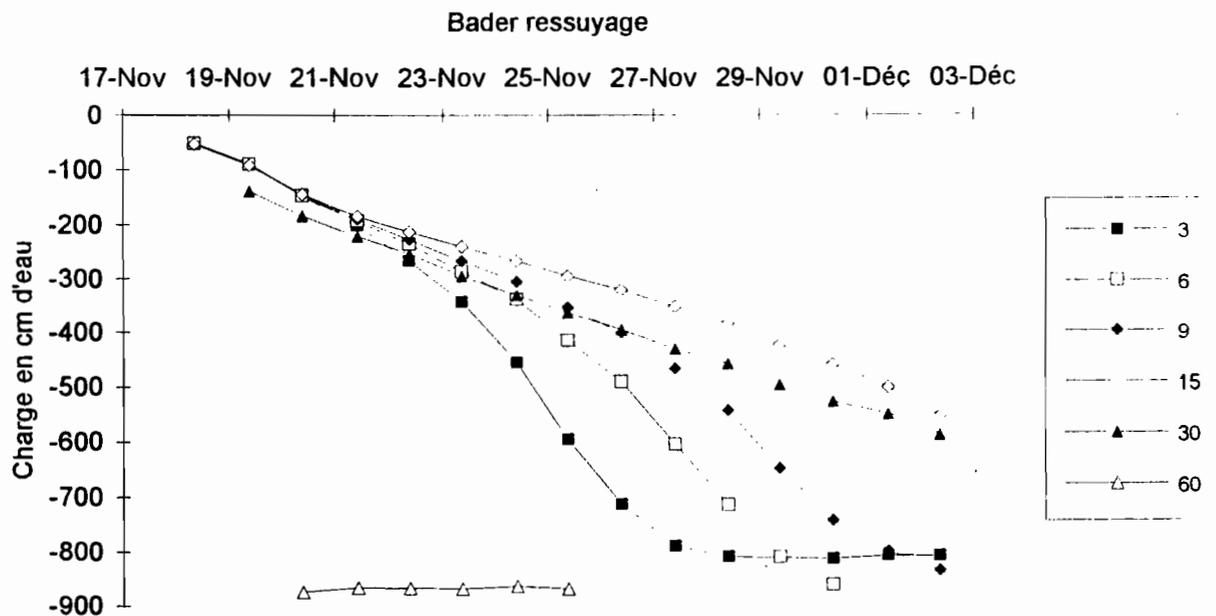
Au cours de la deuxième averse, les tensiomètres 3,6,9, 15 montrent un assèchement du sol qui se poursuit en début de pluie, la charge remonte rapidement à 17h 48, on obtient un pallier de charge net -27 pour le 3, et moins assurément à 22 h 50 pour le 6: -36, le 9: -39 et le 15 :-38.

Figure 6 c : parcelle Bader, pluie du 17/11 à 17 h 56



Pendant la troisième averse, les tensiomètres 3, 6, 9, 15 en phase de dessèchement du sol réagissent rapidement au début de la pluie, les réactions beaucoup plus lentes que sur la parcelle témoin s'expliquent par la faiblesse de l'intensité (25 mm/h). Le tensiomètre 30 cm est en équilibre à une charge -160 en début de la pluie, il décolle vers 19h 06 et reprend un profil d'équilibre à -60, vers 21 heures. Les paliers plus ou moins marqué en phase d'infiltration sont -27 pour le tensiomètre 3 cm, -30 à 6 cm, -34 à 9cm, -33 à 15 cm.

Figure 6d : profils de charges dans la phase de ressuyage



Les tensiomètres 3, 6, 9, 15 et 30 qui ont été atteints par le front d'humectation sont en phase de dessèchement, le tensiomètre 3cm retrouve la charge d'avant les pluies vers -810, l'assèchement par évaporation a été total.

N'ayant pas installé de tube neutronique dans la parcelle "Bader", nous ne pouvons pas construire les courbes $h=f(Hv\%)$.

5) Calcul de la résistance hydraulique des organisations pelliculaires de surfaces

Les auteurs de ce paragraphe se considérant comme apprentis sorciers en physique des sols déclinent toute responsabilité dans les énormités qu'ils pourront sortir et font confiance à leur grand satan " Jo Touma" qui se fera un plaisir de les reprendre et de leur donner les vraies formules magiques de la conductivité hydraulique à saturation dans une croûte.

5.1) Le modèle de Hillel " L'eau dans le sol " p 157 et suivantes

Hillel propose le modèle suivant pour décrire une infiltration dans un sol encroûté :

Dans le cas d'une infiltration permanente, les conditions d'écoulement impliquent que le flux à travers la croûte q_c soit égal au flux passant dans la zone de transmission q_u en dessous de la croûte :

$$q_c = q_u$$

soit

$$K_c \left(\frac{dH}{dz} \right)_c = K_u \left(\frac{dH}{dz} \right)_u$$

où $K_c, (dH/dz)_c, K_u$ et $(dH/dz)_u$ sont la conductivité hydraulique et le gradient hydraulique de la croûte et de la zone de transmission sous la croûte respectivement. Le gradient dans la zone de transmission tend vers l'unité quand l'infiltration devient constante, puisque le gradient de succion diminue au fur et à mesure que la profondeur humidifiée augmente en sorte que le gradient gravitationnel demeure en fait la seule force motrice. En l'absence d'un gradient de succion dans la zone sous la croûte on obtient (en prenant la surface du sol comme base de référence) :

$$q = K_u(\psi_u) = K_c \frac{H_0 + \psi_u + z_c}{z_c}$$

où $K_u(\psi_u)$ est la conductivité hydraulique non saturée de la zone sous la croûte fonction de la succion ψ_u dans cette zone; H_0 est la charge hydraulique positive imposée par la hauteur de submersion en surface et z_c est l'épaisseur de la croûte.

Si l'épaisseur de la lame d'eau H_0 est négligeable (ce qui révoltera mon ami J.C. Bader, mais il reprendra les équations avec H_0 , moi je recopie bêtement le livre de Hillel) et si la croûte elle-même est très fine et peu perméable, par exemple, si z_c est très petit par rapport à la succion ψ_u , qui se forme à l'interface inférieure de la croûte c , on peut faire l'approximation suivante :

$$q_u = q_c = K_c \frac{\psi_u}{z_c}$$

Pour que la croûte demeure saturée même lorsque sa partie inférieure est sous succion, il faut que sa pression critique d'entrée d'air ne soit pas dépassée (c'est-à-dire $\psi_u < \psi_a$). Cette condition de concurrence avec celle du gradient unitaire dans la zone en-dessous de la croûte conduisent à l'approximation :

$$\frac{K_u}{\psi_u} = \frac{K_c}{z_c} = \frac{1}{R_c} \quad (\text{équation 1})$$

c'est-à-dire que le rapport entre la conductivité hydraulique de la zone de transmission sous la croûte et sa succion est approximativement égal au rapport entre la conductivité hydraulique saturée de la croûte et son épaisseur. Le dernier rapport est l'inverse de la résistance hydraulique par unité de section de la croûte R_c . Et on obtient :

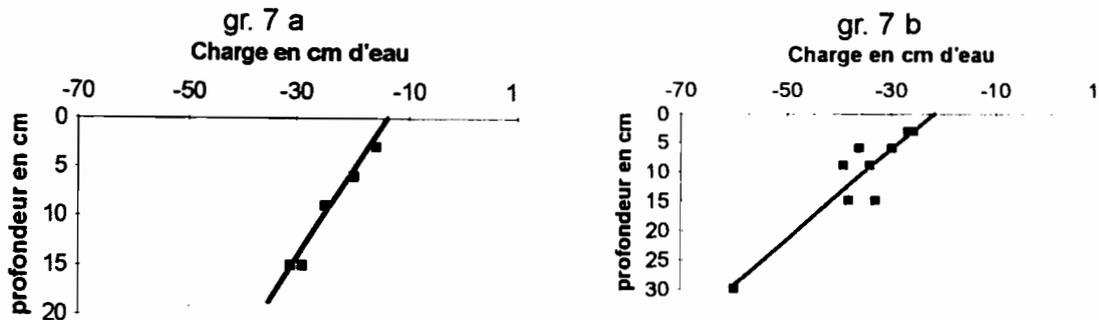
$$q = K_u(\psi_u) = \psi_u / R_c$$

5.2) Interprétation expérimentale

On enlève les filets et on se jette dans le vide. On reprend l'équation 1

$$\frac{K_u}{\psi_u} = \frac{K_c}{z_c} = \frac{1}{R_c} \quad (\text{équation 1})$$

On considère qu'en cours d'infiltration, on a un régime permanent d'écoulement dans le sol sous la croûte lorsque la charge atteint un palier maximal. ψ_u est alors estimée graphiquement en reportant les paliers de charge en fonction de la cote. La droite qui s'ajuste sur ces points représente le gradient de charge et son abscisse à l'origine ψ_u (gr. 7 a pour la parcelle témoin et 7 b pour la parcelle Bader).



parcelle témoin $\psi_u = -14$ cm, $\frac{dH}{dz} = 0,770$

parcelle Bader $\psi_u = -22$ cm, $\frac{dH}{dz} = 0,894$

Nous allons faire quelque chose de peut être encore plus contestable, nous allons dire que K_u est égale à l'intensité minimale d'infiltration stabilisée que nous avons observée pendant les simulations de pluie :

- Parcelle Témoin pluie a et c: 12 mm/h
- Parcelle Témoin pluie b : 9 mm/h
- Parcelle Bader sur pluie c (les débordements des pluies a et b ne permettent pas d'estimer une valeur): 5.5 mm/h

En reportant ces valeurs dans l'équation 1 on obtient les résistances hydrauliques suivantes :

Parcelle Témoin pluie a et c : $R_c = 11\text{h}40\text{mn}$

Parcelle Témoin pluie b : $R_c = 15\text{ h } 33\text{ mn}$

Parcelle Bader pluie c : $R_c = 40\text{ h}$

Hillel donne dans son livre des valeurs de R_c pour différentes croûtes formées sur des loess du Négev, (qui n'ont rien à voir sûrement avec nos croûtes de Thyssé) des valeurs variant entre 12h et 240 heures qui correspondent à vitesse d'infiltration en régime permanent allant de 10,5 mm/h à 1,5 mm/h.

On remarquera que sur la parcelle où on a effectué un recyclage du ruissellement, la croûte à une valeur R_c supérieure à la parcelle témoin, on n'a malheureusement pas de possibilité d'apprécier si on était parti de valeurs équivalentes (mais on peut l'imaginer, cf dossier états de surface)! Sur la parcelle témoin on observe une valeur de R_c supérieure à la seconde pluie et égale pour la première et troisième pluie (quelqu'un aurait-il une explication?).

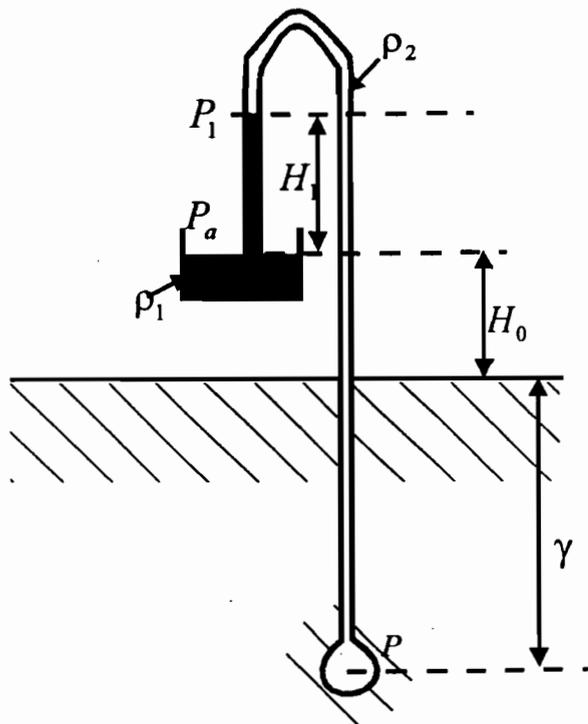
Les estimations de R_c auraient été plus probantes si les lectures des tensiomètres avaient été plus sûres, si quelqu'un avait pensé à monter les flacons de mercure sur le support. La colonne de mercure aurait été plus longue et serait sortie de la zone difficile à lire. La correction aurait été ensuite faite au dépouillement.

Conclusions

Si cette façon d'interpréter le modèle proposé par Hillel ne comporte pas de faute fondamentale, ce travail ouvre un champ d'investigation important sur les O.P.S., au catalogue de Casenave et Valentin on pourrait proposer une fourchette de valeur de R_c pour chaque famille. Aussi intéressant, serait de suivre au cours de la saison des pluies ou de simulations de pluies, l'évolution de R_c en fonction des travaux du sol et des précipitations.

Pour mettre de telles manip en routine il faudra bien sûr améliorer le dispositif d'acquisition des données tensiométriques. Notre ami P. Boivin expérimente en ce moment des micro-tensiomètres dont les mesures peuvent être enregistrées sur centrale d'acquisition de données Campbell.

Idee pour améliorer le système de lecture des tensiomètres



$$H_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g} = \frac{P_a}{\rho_1 g} \Rightarrow P_1 = P_a - H_1 \rho_1 g$$

$$\frac{P_1}{\rho_2 g} + H_1 + H_0 + \gamma = \frac{P}{\rho_2 g}$$

$$P_a - H_1 \rho_1 g + (H_1 + H_0 + \gamma) \rho_2 g = P$$

$$\Rightarrow \frac{P - P_a}{\rho_2 g} - \gamma = H_0 - H_1 \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}$$

$\frac{P - P_a}{\rho_2 g} - \gamma$ est la charge au niveau de la bougie mesurée par rapport au niveau du sol et à la pression atmosphérique

Avec des graduations dans le rapport $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}$ (=12,55), la lecture de H_1 donne directement la charge mesurée par rapport au niveau du sol, à la condition que la graduation zéro donne :

$$0 = H_0 - 12,55 H_1 \Leftrightarrow H_1 = 0,08 H_0$$

Pour éviter les problèmes de lecture relatifs aux courtes colonnes de mercure (capillaires courbés) tout en conservant l'avantage de la lecture directe donnée par les graduations de la règle Nardeux, il faut monter le flacon de mercure suffisamment haut pour que la colonne de mercure ait une dimension lui permettant de dépasser la zone de courbure des capillaires :

$$H_1 = 5 \text{ cm, avec } H_0 = 62,7 \text{ cm}$$

$$H_1 = 2 \text{ cm, avec } H_0 = 25,1 \text{ cm}$$

UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



**Dossier 5 : Description pédologique,
caractérisation pédo-hydrique,
rétractométrie in-situ**

Dossier 5: Description pédologique, caractérisation pédo-hydrrique des parcelles de simulation de pluie, et rétractométrie in situ.

1) Description pédologique

L'emplacement des deux parcelles a été choisi en haut de pente, sur pente très faible. On est dans une zone de sols ferrugineux lessivés, à taches et concrétions. Une fosse pédologique a été creusée à une dizaine de mètres de la parcelle témoin:

Description:

- * 0-10: massif, sec, gris beige, sableux, sans gravillon; quelques gros pores biologiques.
- * 10-20: gris beige, sablo argileux, porosité biologique plus forte, légèrement moins gris, agrégé par endroit. Gravillons irrégulièrement répartis. Horizon discontinu, limites irrégulières.
- * 20-50: Gravillonnaire, gravillons de 0.5-2mm durs + gros cailloux 2 à 5cm. Nodules ferrugineux violets et noirs, de forme arrondie, patinés, assez nombreux
- * 50-140: Massif, pseudogley, taches et concrétions ferruginisées peu indurées rouges, carapacé, cassable à la main sec, difficilement friable humide; matrice 20% argile jaune-rouge, se débite en agrégats à facettes nettes, taches contrastées gris-blanchâtre.

Interprétation pédogénétique:

Site en haut de pente qui évolue peu. Les formes polychromes du fond du profil correspondent à une ancienne phase de carapacement qui date d'une période humide ancienne, certainement stoppée à l'heure actuelle. Les nodules de carapace évoluent vers les gravillons noirs mais non cortifiés des horizons 2 et 3. (prose en un seul jet de O. Planchon transcrite par E. Braudeau).

2) Caractérisation pédohydryque

Trois semaines après la pluie simulée (du 15 au 17 nov), un profil a été creusé dans chaque parcelle pour y prélever des échantillons non remaniés.

Parcelle Bader. semblable au profil de la grande fosse

1er horizon 0-15 cm tassement des 2-3 cm.

2ème horizon 15 - 50 cm, gravillonnaire

3ème horizon 50-85 cm et +: les gravillons disparaissent progressivement et laissent la place à la carapace peu indurée.

Prélèvements à 10 cm, 50 cm, 80 cm.

Parcelle témoin

1er horizon: 0-15 cm; tassé en surface

2ème horizon: 15-75 cm; gravillonnaire; transition graduelle avec l'horizon précédent sur 15cm. Bonne porosité faunique.

3ème horizon 75-110 cm: carapace, plus de gravillons

Prélèvements à 5 cm, 10 cm, 35 cm, 75 cm, 85 cm.

Les fichiers de données sont disponibles à la demande:

- fichiers *.ret sont les fichiers de données brutes venant du retracto; les fichiers *.dep sont les données traitées: volume, teneur en eau, teneur en air, temps; + les points particuliers, et les mesures complémentaires: densité apparente sèche, poids échantillon sec, densité réelle.

- fichiers *.erk: teneur en eau w(t); volume apparent vms(t); volume calculé (modélisé) vcalc(t); vol. poral micro vmi(t); vol. poral macro vma; teneur en eau micro wmic(t)

* fichiers TEM10.* TEM35.* et TEM75.* de la parcelle témoin

* fichiers BAD10.* BAD50.* et BAD80.* de la parcelle Bader

Les caractéristiques pédohydrauliques sont données dans le tableau suivant:

nom échantillon	teneurs en eau caractéristiques				eau macro et micro		volumes apparents caractéristiques				vol. poral micro	constantes de retrait		
	θ_A	θ_B	θ_C	θ_E	θ_{sat}	θ_{maE}	θ_{miE}	vA	vB	vE	v _{sat}	v _{pmiA}	kst	kno
	g d'eau / 100 g sol sec							cm ³ eau / 100 g sol sec				cm ³ /g		
TEM05	1.38	2.58	4.08	6.16	25.99	1.21	4.95	0.63	0.63	0.63	0.64	2.08	0.02	0.09
TEM10	2.75	4.22	5.52	8.64	31.96	1.82	6.82	0.68	0.69	0.69	0.69	3.61	0.02	0.12
TEM35	5.89	7.87	9.09	10.81	28.22	1	9.81	0.62	0.62	0.63	0.63	7.04	0.03	0.21
TEM75	5.96	7.78	8.52	9.76	18.28	0.72	9.04	0.55	0.55	0.55	0.55	7.02	0.01	0.13
BAD10	2.39	4.07	5.59	7.70	32.50	1.23	6.48	0.69	0.69	0.69	0.70	3.37	0.02	0.11
BAD50	8.93	10.62	11.54	15.51	27.59	2.31	13.2	0.63	0.63	0.63	0.63	9.91	0	0.12
BAD80	7.44	8.71	9.76	12.37	21.15	1.51	10.85	0.57	0.57	0.57	0.58	8.18	0.02	0.13

Les courbes de retrait brutes et traitées de chaque échantillon sont données en annexe, avec leur interprétation quantitative en termes de points d'humidité caractéristiques (états hydriques), de volumes poraux micro et macroscopique, et de réserves en eau:

Rappelons sommairement que la *porosité micro* déterminée ici est la porosité du plasma argileux (amas ou agrégats de particules fines: argile, limon fin, amorphes, oxyhydroxydes etc) qui a les propriétés de gonflement-retrait d'une argile; l'eau s'y trouve retenue par des forces de gonflement, de nature osmotique.

La *porosité macroscopique* est définie comme le complément de la microporosité à la porosité totale. Elle correspond à la porosité inter-agrégats. Cette porosité est beaucoup plus rigide, et l'eau y est retenue par des forces de type capillaire ($h=1/r$).

Les deux volumes poraux micro et macro correspondants sont calculables en fonction de la teneur en eau par les équations données dans Braudeau (1988 et 1993).

Les *réserves en eau* sont déduites de l'interprétation que l'on donne aux points particuliers de la courbe de retrait:

le point E est le point de rétention du sol (= état du sol à la capacité au champ) se situe toujours, pour les sols à kaolinite analysés jusqu'à présent, aux environs de pF 2 (100 KPa) et au moment où le potentiel de l'eau s'accroît fortement (Boivin 90, Colleuille 93, Braudeau 94). On a donc toutes les raisons de prendre ce point comme repère de l'état du sol à sa capacité de rétention (Braudeau 1988b) (il n'existe pas d'autre point d'une courbe aussi nettement déterminé qui puisse servir de repère à la capacité de rétention).

Le point B est associé au point de flétrissement permanent: c'est le point à partir duquel l'air rentre dans la phase argileuse microporale. Le plasma argileux n'étant plus saturé d'eau, il n'assure plus la circulation de l'eau à l'état liquide qui ainsi n'accède plus aux racines. Une très forte corrélation existe entre ce point et le pF 4.2 mesuré à la presse de Richards (Braudeau 1994). On peut remarquer que cette façon d'interpréter tendrait à dire que le pF 4.2 mesuré sous pression sur plaque poreuse (appareil de Richards) ne serait qu'un artefact: que l'on applique une pression d'air de 16 bars ou 20 bars sur l'échantillon, qui est en général un lit d'agrégats tassé dans un anneau, on obtiendra le même résultat: la teneur en eau au point d'entrée d'air dans la phase argileuse; c'est à dire l'eau résiduelle bloquée dans l'échantillon, ne pouvant pas accéder à la plaque poreuse.

La réserve utile RU est la quantité d'eau retenue par le sol et disponible à la plante dans une épaisseur de sol donnée; elle correspond donc à l'eau que cède le sol en passant du point E au point B de sa courbe de retrait. Calculée pour une épaisseur de sol ΔZ donnée, et exprimée en hauteur d'eau, elle a pour expression:

$$RU = (\theta_E - \theta_B) \cdot \Delta Z / (v_E \cdot \rho_w) \quad \text{ou} \quad RU = (\theta_{vE} - \theta_{vB}) \cdot \Delta Z / \rho_w$$

avec: θ la teneur en eau gravimétrique en g/g; et θ_v la teneur en eau volumétrique: en cm^3/cm^3 .

v_E le volume massique apparent à la capacité de rétention, en cm^3/g

ρ_w la masse volumique de l'eau $\approx 1\text{g}/\text{cm}^3$

ΔZ l'épaisseur de la couche de sol, en mm pour obtenir la RU en mm.

La réserve facilement utilisable RFU est aussi une notion qui reconnaît, dans la réserve utile, une fraction de l'eau plus accessible à la plante. Elle est évaluée difficilement au champ en fonction de plusieurs paramètres comme le type de sol, la culture, la demande évaporative. De manière simplifiée, on la prend généralement égale à 1/3 ou 2/3 de la RU selon les situations. S'il est permis de ramener cette notion aux caractéristiques du sol uniquement, la RFU correspondrait à l'eau capillaire qui se trouve dans la macroporosité inter-agrégat quand le sol est à la capacité de rétention (point E), et qui se trouve directement accessible aux racines. D'après les équations du modèle MRS (Braudeau 1988) cette quantité d'eau, par unité de masse du sol sec, est égale à :

$$\theta_{E\text{macro}} = (\theta_E - \theta_C) / (\exp(1) - 1) = 0.58 \cdot (\theta_E - \theta_C)$$

d'où une première définition de la RFU:

$$RFU1 = 0.58 \cdot (\theta_E - \theta_C) \cdot \Delta Z / (v_E \cdot \rho_w)$$

Mais la RFU pourrait aussi correspondre à la quantité d'eau micro et macro cédée par le sol entre les points E et C (point sec macro). En effet, si la demande évaporative est peu intense, l'équilibre entre l'eau matricielle et l'eau capillaire a le temps de s'effectuer et de l'eau reste facilement disponible dans la macroporosité jusqu'au point C.

$$RFU2 = (\theta_E - \theta_C) \cdot \Delta Z / (v_E \cdot \rho_w) \quad (\Delta Z \text{ et } RFU \text{ en mm})$$

Notons que telles que définies ici, $RFU1 = 0.58$, $RFU2$, et que la *partie de la réserve en eau qui réside dans l'argile* a pour expression: $RU_{ag} = RU - RFU1$

Commentaires sur les résultats:

Dans le tableau des données pédo-hydriques, on observe une assez bonne cohérence entre les données de la parcelle témoin et de la parcelle Bader. Elles sont quand-même à prendre avec précaution car il n'y a pas eu de répétition. On peut s'étonner de la forte densité de l'horizon profond, 1.81 et 1.76 qui n'a plus rien à voir avec les densités des sols ferrallitiques ferrugineux en général entre 1.4 et 1.5. C'est peut être une caractéristique des horizons carapacés, une étude ultérieure nous le dira. L'horizon profond est carapacé mais pas encore induré ou rigidifié; de fait il présente une belle courbe de retrait même si celui-ci est faible. Il aurait fallu quelques analyses physico-chimiques pour en dire plus: taux d'argile, de fer total, fer libre.

3) Rétractométrie in situ

La variation du stock d'eau dans le sol s'accompagne d'un retrait ou d'un gonflement de la couche de sol concernée. Si minime soit-il, on l'a vu sur échantillon, le retrait s'effectue selon un schéma bien tranché en phases de retrait distinctes, qui indiquent l'état de saturation de la phase argileuse.

En disposant des capteurs d'élongation in situ, pour mesurer la variation d'épaisseur d'une couche de sol, on ne prétend pas évaluer pour autant le stock d'eau du sol, mais on peut espérer avoir des indications intéressantes sur son état d'humidité: en effet, d'après les courbes de retrait de laboratoire, une première phase de ressuyage s'effectue pratiquement sans retrait (Kst 10-2); puis, vers 200 kPa au point E sur la courbe de retrait, le retrait devient effectif et augmente de manière sensible jusqu'au point de flétrissement. Un tel capteur, une fois calibré in situ, peut constituer un bon signal pour la conduite d'une irrigation ou d'une culture puisqu'il intervient dans la gamme de l'Eau Utile, qui échappe en grande partie au tensiomètre.

Cette manipe est donc un premier essai "pour voir"

Des capteurs, représentés à la figure 1, ont été placés dans la parcelle témoin, en ligne à 15 cm derrière les tensiomètres pour mesurer la variation de l'épaisseur d'une couche de sol pendant la simulation de pluie et les trois semaines qui ont suivi.

capteur 1 Z = 5 cm; h = 15cm

capteur 2 Z = 20 cm; h = 15 cm

capteur 3 Z = 50 cm; h = 20 cm

capteur 4 Z = 1m; h = 20 cm

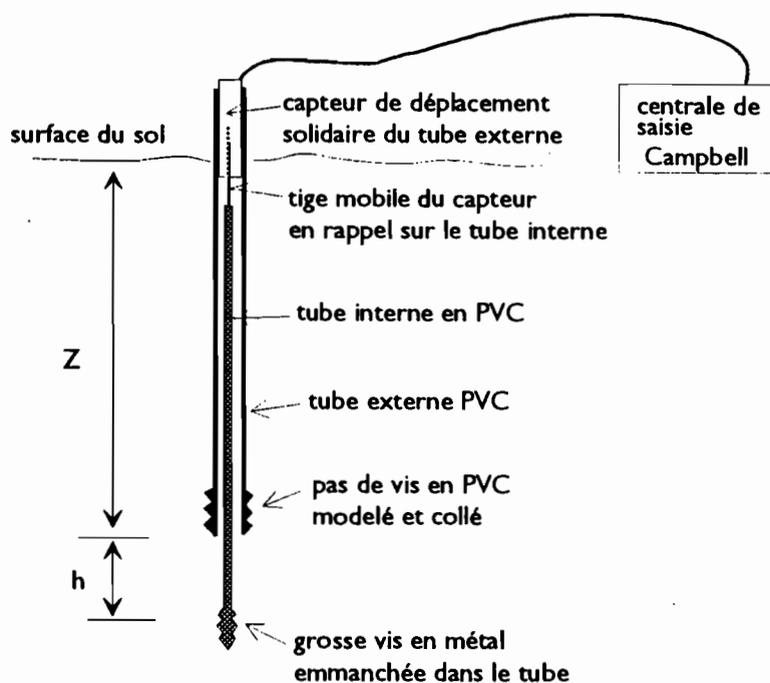


figure 1: capteur d'élongation in situ
(ou canne rétractométrique: un nom est à donner pour ce truc!)

Pour les poser, un avant-trou est fait à l'aide d'un tube tranchant (le même que celui utilisé pour installer les tensiomètres) puis raboté et aménagé façon - façon, pour que le tube intérieur soit bien vissé au fond, à la profondeur voulue, et que le tube externe soit aussi correctement vissé à $h = 20$ ou 15 cm plus haut.

Le tube externe est fendu à son extrémité supérieure pour recevoir le capteur, de même diamètre, qui est simplement introduit et maintenu serré à la bonne position par un serre-joint.

La Campbell saisit un signal entre 0 et 10 v, qu'il convertit en un nombre de 5 chiffres: on a estimé que 1 point de la Campbell fait 10 mm de déplacement

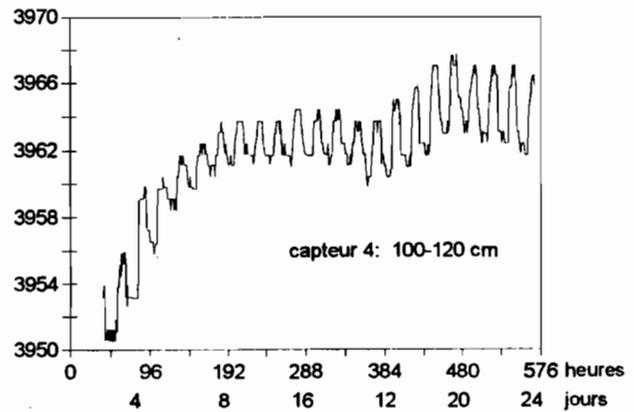
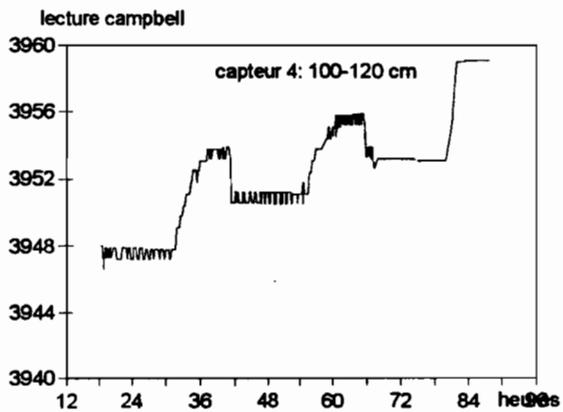
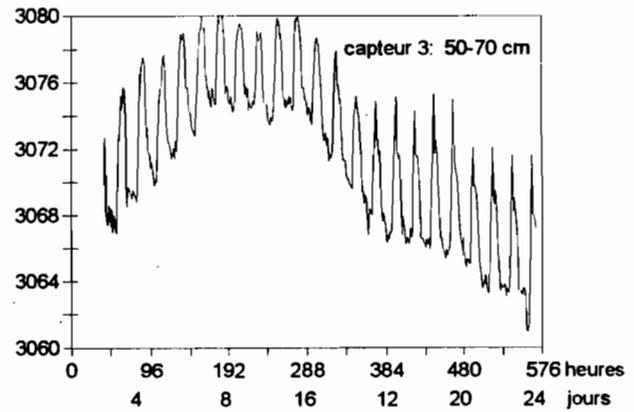
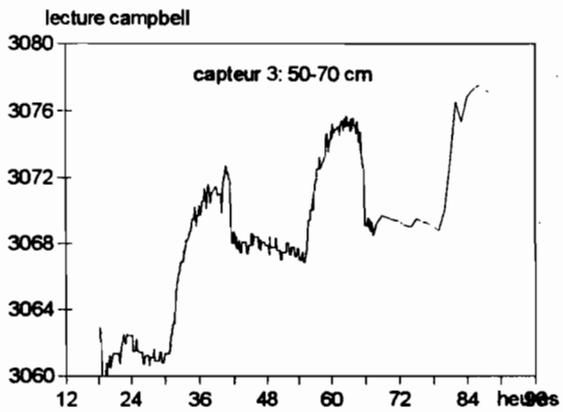
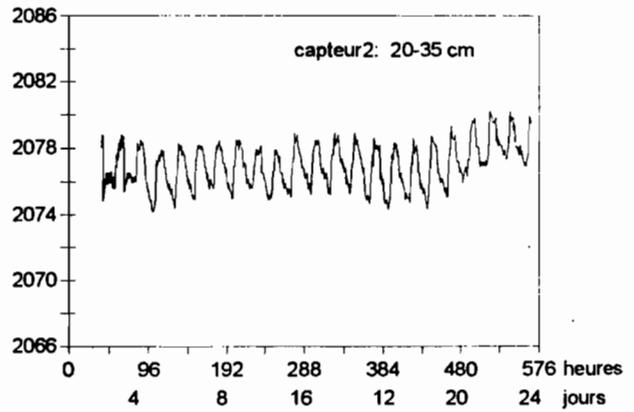
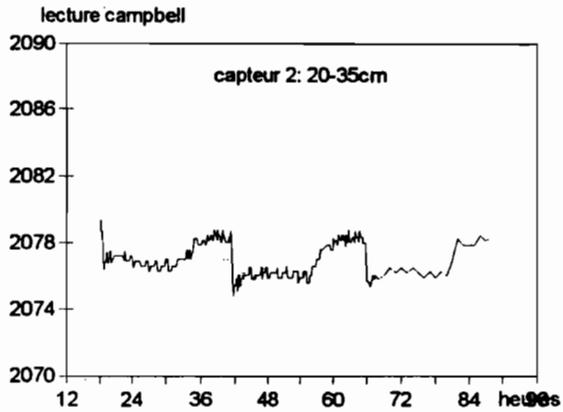
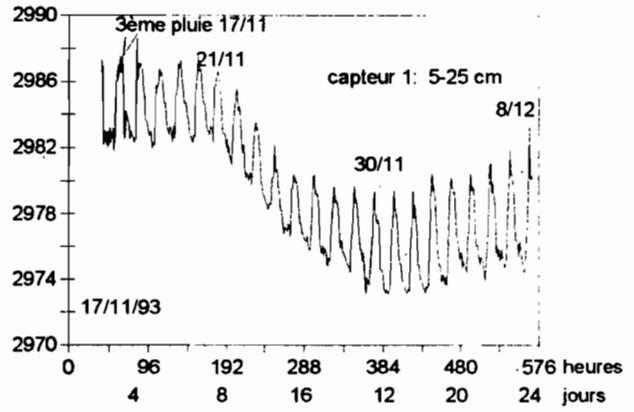
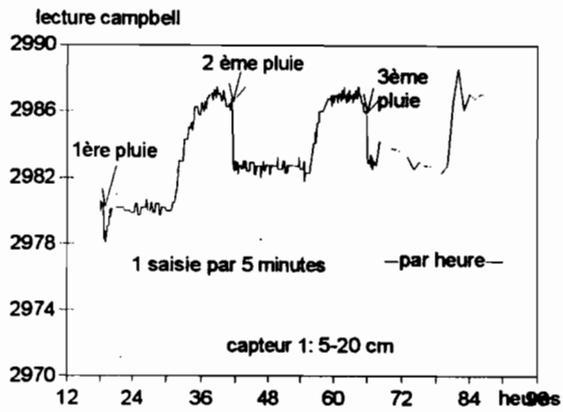


figure 2: lecture des capteurs de déplacement in situ: 1 unité de lecture représente 0.1 mm

Résultats:

Les fichiers résultats de la campbell sont aidcapt1.prn et aidcapt2.prn. Ils correspondent respectivement:

- aux 3 premiers jours de saisie (intervalle 1, 5 ou 10 mn)
- aux 22 jours suivants (intervalle de saisie: 1 heure)

On y lit le jour, l'heure, le voltage batterie, la température de la centrale, et les quatre capteurs.

Commentaires:

Les bosses et pics que l'on voit sur les graphes correspondent à la variation diurne de la température: excellent indicateur du jour et de la nuit ! on peut compter le nombre de jours, le compte y est. Les cannes en PVC ont un coefficient de dilatation non négligeable (supérieur à de nombreux métaux); et comme on le voit sur le graphique, elles réagissent aussi très vite au changement de température au moment de la pluie simulée: le scénario est le même pour les 4 capteurs, à plus ou moins grande amplitude. Cette variation d'amplitude du pic de température d'un capteur à un autre vient certainement du fait que toutes les cannes n'ont pas la même longueur hors sol; elles sont donc plus ou moins exposées aux variations de température.

L'interférence avec la température, difficilement évitable, n'est pas trop gênante ici vu les rythmes de variations très différents de la température et du volume du sol. Sans rechercher un traitement sophistiqué du signal, on peut facilement tracer une courbe qui joint la base des pics, ou bien un point tous les jours à la même température et dans la même période du jour ou de la nuit.

Remarquons que le capteur 2 n'a pas bougé. Serait-ce parce qu'il se trouve en plein dans l'horizon gravillonnaire à gravillons indurés et gros cailloux? c'est très probable, car on avait observé une abondance de cailloux et gravillons au moment du creusement du trou. Les trois autres ont réagi.

- le niveau 1 semble avoir atteint son maximum de gonflement au cours de la journée du 16/11 qui a suivi la première pluie. En effet, la 3^{ème} pluie n'a pas d'effet, la ligne de base reste à 2983 et ceci jusqu'au 21/11, début du retrait de cette couche de sol, visible sur le graphique adjacent. (On serait "théoriquement" vers 200 kPa au labo). L'horizon se dessèche progressivement et devient complètement sec le 30/11 (limite de retrait, après le point de flétrissement)

- le niveau 3, à 60 cm c'est à dire en dessous du niveau caillouteux, a commencé à gonfler fortement 24 h après la première pluie, entre 6H et 18 h de la journée du 17, caché par l'effet de la température. La deuxième pluie a moins d'effet que la première mais le sol continue à gonfler régulièrement jusqu'au 21/11 (sur le 2^{ème} graphique) où il atteint son maximum. Est ce le maximum possible ou bien ne reçoit il plus assez d'eau de son voisin au dessus pour continuer à gonfler ? Le début du retrait a lieu quelques jours plus tard, à partir du 27/11, et l'horizon se dessèche lentement, sans s'arrêter: il arrive à un état de d'humidité proche de son état avant les pluies.

- le niveau 4, à 1m, dans la couche carapacée, commence aussi à gonfler dans les 18 heures qui ont suivi la 1^{ère} pluie. Comme le niveau précédent, il se recharge en eau progressivement jusqu'au 22/11 (1 jour après le niveau 3), puis reste stable. On observe une légère augmentation du stock en eau (rappelons que le gonflement est directement relié à l'absorption de l'eau dans l'argile) du 30/11 au 4/11. On est tenté de faire un

rapprochement avec ce que l'on observe sur le graphe du capteur 3: un ralentissement du dessèchement de ce niveau à partir du 30/11 qui pourrait s'expliquer par l'arrêt du drainage vers le bas indiqué par le capteur 4.

On pourrait penser à un artefact dû à une augmentation générale de la température, ou autre (le capteur 2 se met à grimper sans raison explicable. La figure 3, donnant les variations de température et du voltage de la batterie au cours des 22 jours de suivi, n'est pas concluante sur ce point.

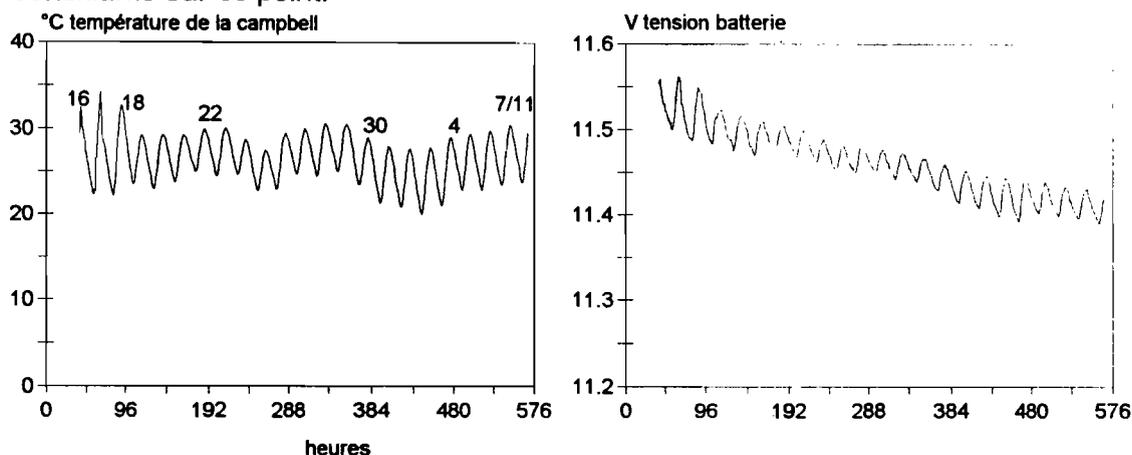


figure 3: température de la campbell et voltage de la batterie d'alimentation (capteurs et campbell) au cours des 22 jours de suivi rétractométrique.

Par ailleurs, les profils hydriques faits à la sonde à neutron ne sont pas assez précis pour rendre compte de ces variations de l'état hydrique du sol et donner un calibrage correcte de la courbe de gonflement retrait in situ. Ce calibrage pourrait être obtenu par contre par des mesures pondérales de teneur en eau sur prélèvement d'échantillons à la tarière.

Conclusion:

Les résultats sont cohérents et méritent d'être vérifié par un suivi de plusieurs cycles d'humectations dessiccations. Si la reproductibilité du signal du capteur in situ en fonction de l'état hydrique du sol est acquise, on entrevoit facilement les implications que cela entraîne dans le domaine de la gestion de l'eau du sol.

au début du retrait structural: wF % =24.89
au point de saturation maximum: w0 % =33.32

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm³/100g sol sec et en cm³/100cm³ de sol):
Vol. poral total % = 18.18 cm³/g ... 33.20 cm³/cm³
Vol. poral macro % = 9.14 cm³/g ... 16.69 cm³/cm³
Vol. poral micro % = 9.04 cm³/g ... 16.51 cm³/cm³

** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm³/100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol):
Vol. poral total % = 17.96 cm³/g ... 32.93 cm³/cm³
Vol. poral macro % = 10.94 cm³/g ... 20.06 cm³/cm³
Vol. poral micro % = 7.02 cm³/g ... 12.87 cm³/cm³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)
(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)
RU inter-agrégats = RFU % = 0.72 cm³/g ... 1.31 cm³/cm³
RU intra-agrégats % = 1.26 cm³/g ... 2.29 cm³/cm³
RU = WE-WB % = 1.98 cm³/g ... 3.60 cm³/cm³
Capacité a l'air % = 8.42 cm³/g ... 15.38 cm³/cm³

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm³/100g sol sec et en cm³/100cm³ de sol):

Vol. poral total %	= 27.79 cm ³ /g	...	44.45 cm ³ /cm ³
Vol. poral macro %	= 17.98 cm ³ /g	...	28.76 cm ³ /cm ³
Vol. poral micro %	= 9.81 cm ³ /g	...	15.69 cm ³ /cm ³

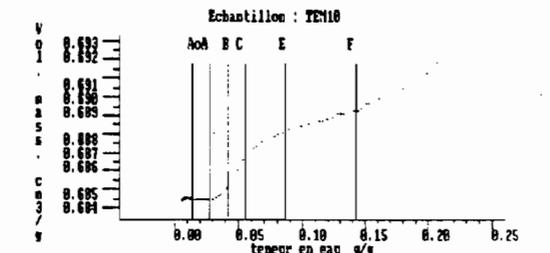
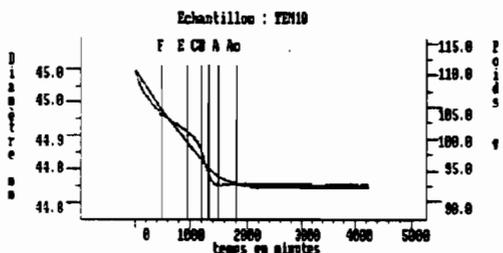
** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm³/100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol):

Vol. poral total %	= 27.30 cm ³ /g	...	44.01 cm ³ /cm ³
Vol. poral macro %	= 20.26 cm ³ /g	...	32.66 cm ³ /cm ³
Vol. poral micro %	= 7.04 cm ³ /g	...	11.35 cm ³ /cm ³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)
(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)

RU inter-agrégats = RFU	% = 1.00 cm ³ /g	...	1.60 cm ³ /cm ³
RU intra-agrégats	% = 1.94 cm ³ /g	...	3.10 cm ³ /cm ³
RU = WE-WB	% = 2.94 cm ³ /g	...	4.70 cm ³ /cm ³
Capacité a l'air %	= 16.98 cm ³ /g	...	27.16 cm ³ /cm ³

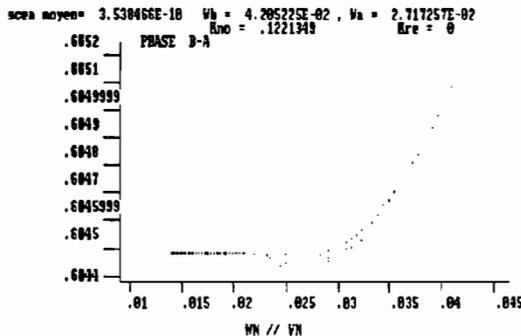
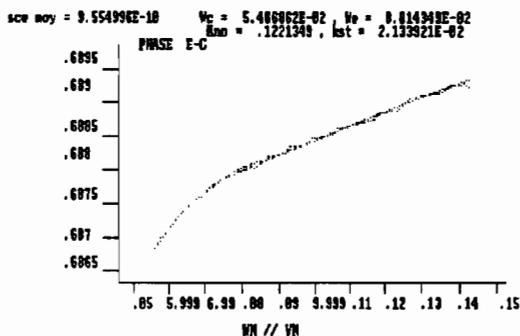
- témoin à 10 cm:



retour au menu (D), recherche de Points (P), Réajustage (R), Corrections (C) ?

encadrer par I1 et I2 -> (P) avant de faire (C)....

Lissage du poids (L)



NOM DE L'ECHANTILLON : TEM10 (c:\albergel)

Kst = 2.133921E-02 Kno = .1221349 Kre = 0
 Kn(structural) = 0 Kn(residuel) = 0
 SCE(E-C) = 9.554996E-10 SCE(B-A) = 3.538466E-10 exposant = 3
 MS = 90.98 PN = .54 VmsA = .6844362

** MASSES VOLUMIQUES SECHES :
 -de la phase solide : MVs = 2.68 g/cm3
 -de l'échantillon sec : Dsec = 1.46 g/cm3
 -de l'échantillon humide : Dhum = 1.44 g/cm3
 -de l'échantillon au point E D = 1.45 g/cm3

** RETRAIT GLOBAL : 1.26 %
 ** RETRAIT MICRO : 89.25 %

** POINTS CARACTERISTIQUES : (en cm3/100g de sol sec)
 à la limite de retrait : wA % = 2.75 VmsA % = 68.45
 au point d'entree d'air micro : wB % = 4.22 VmsB % = 68.52
 au point de saturation micro : wC % = 5.52 VmsC % = 68.68
 au début du retrait micro : wE % = 8.64 VmsE % = 68.82
 au début du retrait structural : wF % = 14.24 VmsF % = 68.93
 au point de saturation maximum : w0 % = 31.96 Vms0 % = 69.31

..... en cm3/100cm3 de sol
 à la limite de retrait : wA % = 4.01
 au point d'entree d'air micro : wB % = 6.16
 au point de saturation micro : wC % = 8.03
 au début du retrait micro : wE % = 12.55
 au début du retrait structural : wF % = 20.67
 au point de saturation maximum : w0 % = 46.10

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm3/100g sol sec et en cm3/100cm3 de sol :
 Vol. poral total % = 31.46 cm3/g ... 45.71 cm3/cm3
 Vol. poral macro % = 24.64 cm3/g ... 35.80 cm3/cm3

Vol. poral micro % = 6.82 cm³/g ... 9.91 cm³/cm³

** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm³/100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol):

Vol. poral total % = 31.09 cm³/g ... 45.42 cm³/cm³

Vol. poral macro % = 27.48 cm³/g ... 40.15 cm³/cm³

Vol. poral micro % = 3.61 cm³/g ... 5.27 cm³/cm³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)

(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)

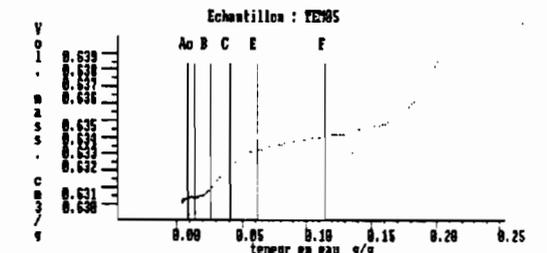
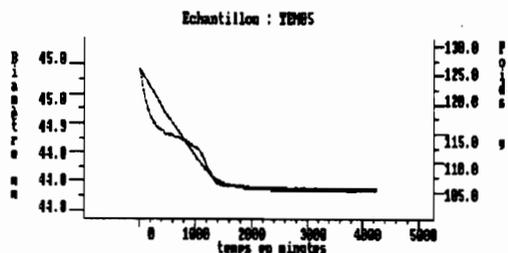
RU inter-agrégats = RFU % = 1.82 cm³/g ... 2.64 cm³/cm³

RU intra-agrégats % = 2.60 cm³/g ... 3.78 cm³/cm³

RU = WE-WB % = 4.02 cm³/g ... 6.42 cm³/cm³

Capacite a l'air % = 22.82 cm³/g ... 33.16 cm³/cm³

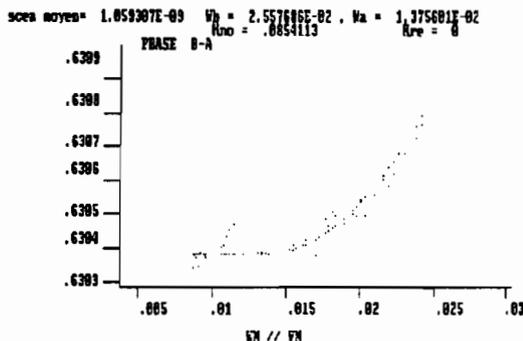
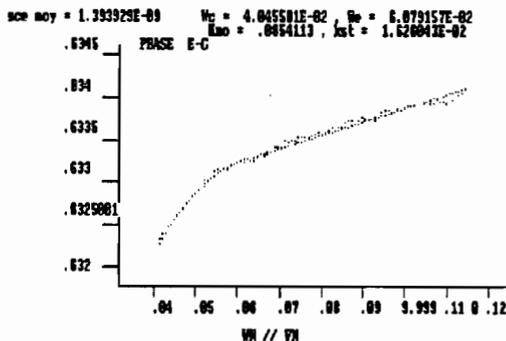
à 5 cm:



retour au Menu (M), recherche de Points (P), Dégraissage (B), Corrections (C) ?

encadrer par I1 et I2 -> (P) avant de faire (C)....

Lissage du poids (L)



NOM DE L'ECHANTILLON :TEM05 (c:\albergel)

Kst = 1.626043E-02 Kno = .0854113 Kre = 0
 Kn(structural)= 0 Kn(residuel)= 0
 SCE(E-C)= 1.393929E-09 SCE(B-A)= 1.059307E-09 exposant = 3
 MS= 104.13 PN= .68 VmsA= .6301739

** MASSES VOLUMIQUES SECHES :
 -de la phase solide : MVs = 2.66 g/cm3
 -de l'échantillon sec : Dsec = 1.59 g/cm3
 -de l'échantillon humide : Dhum = 1.57 g/cm3
 -de l'échantillon au point E D = 1.58 g/cm3

** RETRAIT GLOBAL : 0.96 %
 ** RETRAIT MICRO : 137.74 %

** POINTS CARACTERISTIQUES : (en cm3/100g de sol sec)
 à la limite de retrait : wA % = 1.38 VmsA % = 63.04
 au point d'entree d'air micro : wB % = 2.58 VmsB % = 63.10
 au point de saturation micro : wC % = 4.08 VmsC % = 63.23
 au début du retrait micro : wE % = 6.16 VmsE % = 63.32
 au début du retrait structural: wF % = 11.42 VmsF % = 63.41
 au point de saturation maximum: w0 % = 25.99 Vms0 % = 63.65

..... en cm3/100cm3 de sol
 à la limite de retrait : wA % = 2.19
 au point d'entree d'air micro : wB % = 4.09
 au point de saturation micro : wC % = 6.46
 au début du retrait micro : wE % = 9.72
 au début du retrait structural: wF % = 18.01
 au point de saturation maximum: w0 % = 40.84

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm3/100g sol sec et en cm3/100cm3 de sol):
 Vol. poral total % = 25.67 cm3/g ... 40.54 cm3/cm3
 Vol. poral macro % = 20.72 cm3/g ... 32.72 cm3/cm3

Vol. poral micro % = 4.95 cm³/g ... 7.81 cm³/cm³

** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm³/100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol):

Vol. poral total % = 25.38 cm³/g ... 40.27 cm³/cm³

Vol. poral macro % = 23.30 cm³/g ... 36.97 cm³/cm³

Vol. poral micro % = 2.08 cm³/g ... 3.30 cm³/cm³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)
(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)

RU inter-agrégats = RFU % = 1.21 cm³/g ... 1.91 cm³/cm³

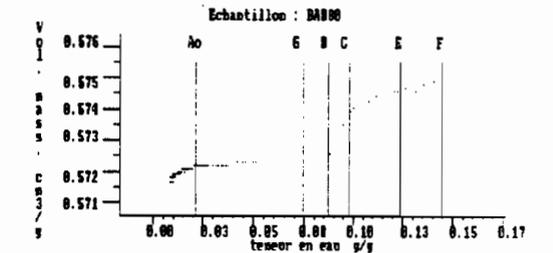
RU intra-agrégats % = 2.37 cm³/g ... 3.74 cm³/cm³

RU = WE-WB % = 3.58 cm³/g ... 5.65 cm³/cm³

Capacite a l'air % = 19.51 cm³/g ... 30.82 cm³/cm³

2°) Parcelle Bader

à 80 cm:



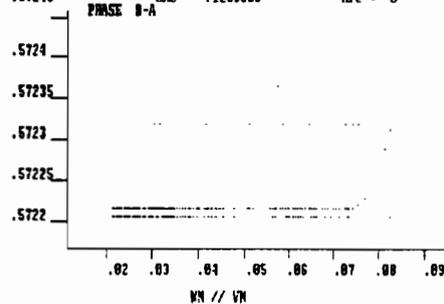
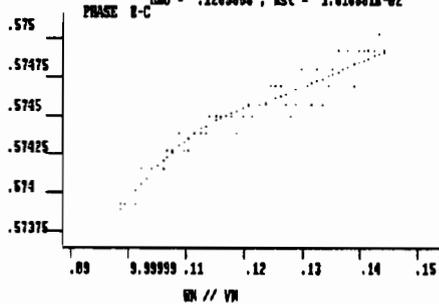
retour au fleuve (M), recherche de Points (P), Rééchantillonnage (D), Corrections (C) ?

encadrer par I1 et I2 -> (P) avant de faire (C)....

Lissage du poids (L)

sce moy = 5.992343E-09 $H_0 = 8.757785E-02$, $H_1 = .1211027$
 $K_{no} = .1289855$, $K_{st} = 1.616881E-02$

scea moyen = 3.90996E-09 $V_h = 8.672262E-02$, $V_a = 7.369392E-02$
 $K_{no} = .1289855$, $K_{re} = 0$



NOM DE L'ECHANTILLON :BAD80

(c:\albergel)

Kst = 1.616881E-02 Kno = .1289855 Kre = 0
 Kn(structural) = 0 Kn(residuel) = 0
 SCE(E-C) = 5.992343E-09 SCE(B-A) = 3.90996E-09 exposant = 3
 MS = 94.53 PN = .74 VmsA = .5716704

** MASSES VOLUMIQUES SECHES :

-de la phase solide : MVs = 2.74 g/cm3
 -de l'échantillon sec : Dsec = 1.75 g/cm3
 -de l'échantillon humide : Dhum = 1.74 g/cm3
 -de l'échantillon au point E : D = 1.74 g/cm3

** RETRAIT GLOBAL : 0.64 %

** RETRAIT MICRO : 32.74 %

** POINTS CARACTERISTIQUES : (en cm3/100g de sol sec)

à la limite de retrait : wA % = 7.44 VmsA % = 57.23
 au point d'entree d'air micro : wB % = 8.71 VmsB % = 57.24
 au point de saturation micro : wC % = 9.76 VmsC % = 57.38
 au début du retrait micro : wE % = 12.37 VmsE % = 57.46
 au début du retrait structural : wF % = 14.43 VmsF % = 57.49
 au point de saturation maximum : w0 % = 21.15 Vms0 % = 57.60

..... en cm3/100cm3 de sol

à la limite de retrait : wA % = 12.99
 au point d'entree d'air micro : wB % = 15.21
 au point de saturation micro : wC % = 17.02
 au début du retrait micro : wE % = 21.52
 au début du retrait structural : wF % = 25.10
 au point de saturation maximum : w0 % = 36.71

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm3/100g sol sec et en cm3/100cm3 de sol):

Vol. poral total % = 21.00 cm3/g ... 36.56 cm3/cm3
 Vol. poral macro % = 10.15 cm3/g ... 17.67 cm3/cm3
 Vol. poral micro % = 10.85 cm3/g ... 18.89 cm3/cm3

** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm3/100g de sol sec et en cm3/100cm3 de sol):

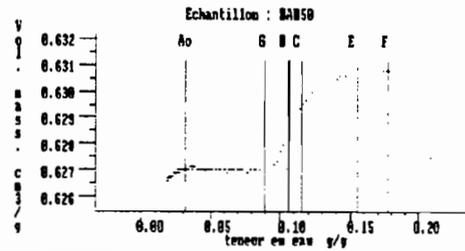
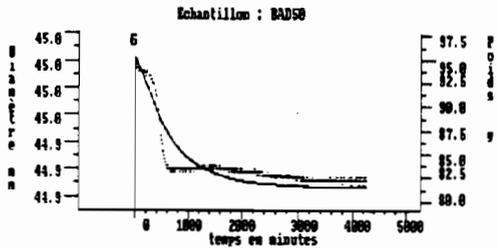
Vol. poral total % = 20.78 cm³/g ... 36.31 cm³/cm³
Vol. poral macro % = 12.60 cm³/g ... 22.02 cm³/cm³
Vol. poral micro % = 8.18 cm³/g ... 14.28 cm³/cm³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)

(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)

RU inter-agrégats = RFU % = 1.51 cm³/g ... 2.64 cm³/cm³
RU intra-agrégats % = 2.15 cm³/g ... 3.73 cm³/cm³
RU = WE-WB % = 3.66 cm³/g ... 6.37 cm³/cm³
Capacité a l'air % = 8.64 cm³/g ... 15.03 cm³/cm³

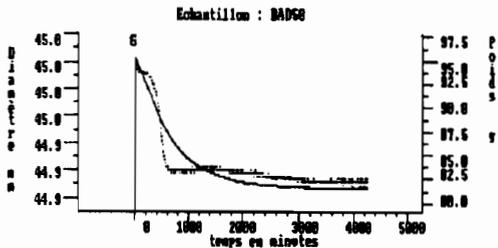
- Bader 50cm



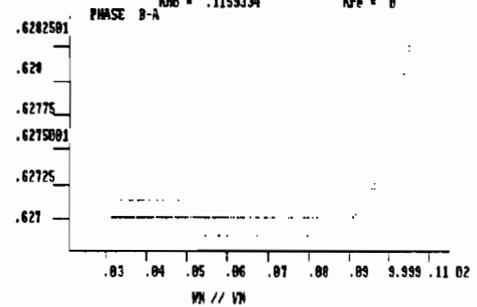
retour au Menu (M), recherche de Points (P), Dégraissage (D), Corrections (C) ?

encadrer par I1 et I2 -> (P) avant de faire (C)....

Lissage du poids (L)



scea moyen= 3.870809E-09 $V_b = .1057074$ $V_a = 8.921982E-02$
 $K_{no} = .1159334$ $K_{re} = 0$



retour au Menu (M), recherche de Points (P), Dégraissage (D), Corrections (C) ?

encadrer par I1 et I2 -> (P) avant de faire (C)....

Lissage du poids (L)

NOM DE L'ECHANTILLON :BAD50 (c:\albergel)

Kst = 3.263434E-03 Kno = .1159334 Kre = 0
 Kn(structural)= 0 Kn(residuel)= 0
 SCE(E-C)= 3.597727E-09 SCE(B-A)= 3.870809E-09 exposant = 3
 MS= 79.1 PN= 1.05 VmsA= .6265487

** MASSES VOLUMIQUES SECHES :

-de la phase solide : MVs = 2.82 g/cm3
 -de l'echantillon sec : Dsec = 1.59 g/cm3
 -de l'echantillon humide : Dhum = 1.58 g/cm3
 -de l'echantillon au point E D = 1.59 g/cm3

** RETRAIT GLOBAL : 0.63 %

** RETRAIT MICRO : 33.20 %

** POINTS CARACTERISTIQUES : (en cm3/100g de sol sec)

à la limite de retrait : wA % = 8.93 VmsA % = 62.70
 au point d'entree d'air micro : wB % = 10.62 VmsB % = 62.84
 au point de saturation micro : wC % = 11.54 VmsC % = 62.94
 au début du retrait micro : wE % = 15.51 VmsE % = 63.06
 au début du retrait structural: wF % = 17.74 VmsF % = 63.08
 au point de saturation maximum: w0 % = 27.59 Vms0 % = 63.10

..... en cm3/100cm3 de sol

à la limite de retrait : wA % = 14.23
 au point d'entree d'air micro : wB % = 16.90
 au point de saturation micro : wC % = 18.34
 au début du retrait micro : wE % = 24.60
 au début du retrait structural: wF % = 28.12
 au point de saturation maximum: w0 % = 43.73

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm3/100g sol sec et en cm3/100cm3 de sol:

Vol. poral total % = 27.55 cm3/g ... 43.69 cm3/cm3
 Vol. poral macro % = 14.35 cm3/g ... 22.76 cm3/cm3
 Vol. poral micro % = 13.20 cm3/g ... 20.94 cm3/cm3

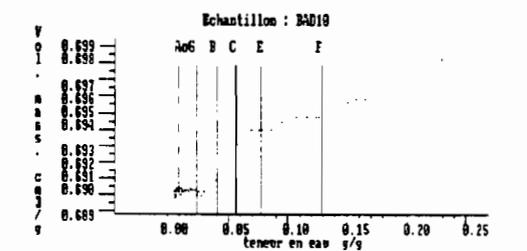
** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm³/100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol):

Vol. poral total %	= 27.20 cm ³ /g	...	43.37 cm ³ /cm ³
Vol. poral macro %	= 17.28 cm ³ /g	...	27.57 cm ³ /cm ³
Vol. poral micro %	= 9.91 cm ³ /g	...	15.81 cm ³ /cm ³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)
(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)

RU inter-agrégats = RFU	% = 2.31 cm ³ /g	...	3.66 cm ³ /cm ³
RU intra-agrégats	% = 2.58 cm ³ /g	...	4.10 cm ³ /cm ³
RU = WE-WB	% = 4.89 cm ³ /g	...	7.76 cm ³ /cm ³
Capacité a l'air %	= 12.04 cm ³ /g	...	19.09 cm ³ /cm ³

- Bader 10 cm

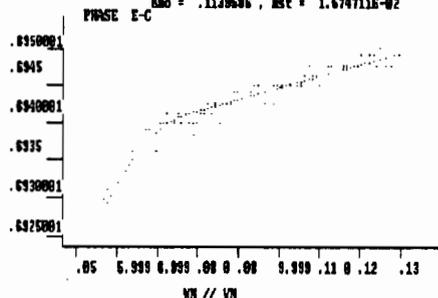


retour au Menu (M), recherche de Points (P), Dégraissage (D), Corrections (C) ?

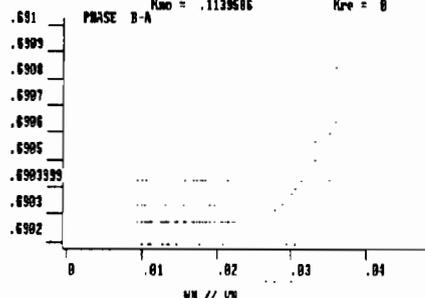
encadrer par 11 et 12 -> (P) avant de faire (C)....

Lissage du poids (L)

soa moy = 1.395128E-08 $V_g = 5.628277E-02$, $V_e = 7.095155E-02$
 $K_{no} = .1139586$, $K_{st} = 1.674711E-02$



soa moy = 1.922927E-08 $V_b = 4.009764E-02$, $V_a = 2.365935E-02$
 $K_{no} = .1139586$, $K_{re} = 0$



NOM DE L'ECHANTILLON : BAD10 (c:\albergel)

Kst = 1.574711E-02 Kno = .1139586 Kre = 0
 Kn(structural) = 0 Kn(residuel) = 0
 SCE(E-C) = 1.395128E-08 SCE(B-A) = 1.922927E-08 exposant = 3
 MS = 84.01 PN = .54 VmsA = .6899179

** MASSES VOLUMIQUES SECHES :

-de la phase solide : MVs = 2.68 g/cm3
 -de l'échantillon sec : Dsec = 1.45 g/cm3
 -de l'échantillon humide : Dhum = 1.43 g/cm3
 -de l'échantillon au point E D = 1.44 g/cm3

** RETRAIT GLOBAL : 1.14 %

** RETRAIT MICRO : 92.18 %

** POINTS CARACTERISTIQUES : (en cm3/100g de sol sec)

à la limite de retrait : wA % = 2.39 VmsA % = 69.02
 au point d'entree d'air micro : wB % = 4.07 VmsB % = 69.09
 au point de saturation micro : wC % = 5.59 VmsC % = 69.26
 au début du retrait micro : wE % = 7.70 VmsE % = 69.41
 au début du retrait structural: wF % = 12.93 VmsF % = 69.49
 au point de saturation maximum: w0 % = 32.50 Vms0 % = 69.80

..... en cm3/100cm3 de sol

à la limite de retrait : wA % = 3.47
 au point d'entree d'air micro : wB % = 5.89
 au point de saturation micro : wC % = 8.08
 au début du retrait micro : wE % = 11.10
 au début du retrait structural: wF % = 18.60
 au point de saturation maximum: w0 % = 46.55

** VOL. PORAUX DE L'ECH. AU PT E (en cm3/100g sol sec et en cm3/100cm3 de sol:

Vol. poral total % = 32.10 cm3/g ... 46.25 cm3/cm3
 Vol. poral macro % = 25.63 cm3/g ... 36.92 cm3/cm3
 Vol. poral micro % = 6.48 cm3/g ... 9.33 cm3/cm3

** VOL. PORAUX DE L'ECH. SEC (cm³/100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol):

Vol. poral total %	= 31.71 cm ³ /g	...	45.95 cm ³ /cm ³
Vol. poral macro %	= 28.34 cm ³ /g	...	41.06 cm ³ /cm ³
Vol. poral micro %	= 3.37 cm ³ /g	...	4.88 cm ³ /cm ³

** RESERVES EN EAU DE LA PHASE ARGILEUSE (au point E)

(cm³ pour 100g de sol sec et en cm³/100cm³ de sol)

RU inter-agrégats = RFU	% = 1.23 cm ³ /g	...	1.77 cm ³ /cm ³
RU intra-agrégats	% = 2.40 cm ³ /g	...	3.46 cm ³ /cm ³
RU = WE-WB	% = 3.63 cm ³ /g	...	5.23 cm ³ /cm ³
Capacité à l'air %	= 24.40 cm ³ /g	...	35.16 cm ³ /cm ³

UR 4 DEC AID 93 Thyssé-Kaymor



Dossier 6 : Réaction des participants

Dossier "Réaction des participants"

Pour répondre à la demande du CAID, voici quelques réflexions inspirées par l'AID. Elles concernent la simulation de pluie et, plus particulièrement, l'évolution qu'en propose Jean Claude BADER.

Depuis quelques temps, la crue de projet ne nourrit plus son chercheur et les simulateurs de pluie sont de plus en plus utilisés pour des expérimentations à caractère plus physique, plus cognitif, par opposition à la grande période des bassins-versants, à caractère opérationnel et orientés vers la prédétermination.

Cette évolution est logique et doit être assumée pleinement.

Dans la période précédente, la simulation de pluie était avant tout un test de ruissellement. Les conditions du test s'approchaient suffisamment des conditions naturelles pour permettre une caractérisation efficace du phénomène tout en réalisant une économie de moyens conceptuels assez remarquable, ce qui n'est pas le cas, par exemple, du double anneau.

Actuellement, le simulateur est utilisé sur des sites moins nombreux et plus lourdement équipés. Les objectifs des expérimentations sont plus pointus : résistance hydraulique de la croûte, degré de saturation du sol, comportement des argiles, etc. On cherche à étudier séparément les composantes de l'infiltration, comme les agronomes étudient les composantes du rendement.

Une des composantes de l'infiltration est l'épaisseur de la lame d'eau. Elle conditionne la charge hydraulique et, si la parcelle n'est pas plane, la surface mouillée. Un des atouts importants du système de recyclage proposé par Jean Claude BADER est qu'il permet de simuler une épaisseur de lame d'eau réaliste : celle qui recouvrirait la parcelle si celle-ci était précédée sur le versant par une infinité de parcelles identiques et si, en aucun endroit, l'eau ne se concentre en rigoles.

Selon la façon de voir de chacun, on peut trouver que le versant imaginaire ainsi décrit est plus, moins, ou identiquement irréaliste que celui qui serait constitué de parcelles d'un mètre carré indépendantes et juxtaposées. Cependant, le débat, posé en ces termes, apparaît quelque peu byzantin et réducteur. Nous devons abandonner, au moins provisoirement, l'idée de test et d'économie conceptuelle qui a fait la grandeur de l'époque précédente (celle de pionniers ?) et qui a abouti au "catalogue" dont chacun s'accorde sur ses qualités et ses limites. Nous sommes entrés dans la période de l'étude des composantes de l'infiltration. Dans cette optique, le système de recyclage est intéressant car il joue sur une composante importante de l'infiltration : l'épaisseur de la lame d'eau. Cependant, et cette remarque est valable dans tous les cas, avec ou sans recyclage, il faut mesurer cette épaisseur.

Le modèle d'infiltration proposé par Jean Claude BADER sur les parcelles sans recyclage calcule non seulement le débit à l'exutoire de la parcelle, mais aussi l'épaisseur de la lame d'eau. Le débit à l'exutoire sert au calage du modèle. Pourquoi ne pas utiliser la seconde sortie en validation ? Si la validation échoue, il sera certainement possible d'aménager le modèle en remplaçant, par exemple, l'unique trou du "sphincter" par un nombre paramétrable de trous plus petits. Cela revient à ajouter un paramètre au modèle.

Pour la mesure de l'épaisseur de la lame d'eau, je vois deux possibilités. Un capteur de pression ou un capteur de déplacement asservi à un flotteur. Le capteur de pression présente l'inconvénient d'être peu précis, environ 1% de la gamme, ce qui oblige à utiliser à chaque fois LE capteur correspondant exactement à la gamme recherchée. Les capteurs de déplacements utilisés par Erik Braudeau sont plus souples d'emploi. Ils fournissent une réponse de 1V/cm sur la gamme 0-5cm avec une résolution et une linéarité quasi parfaite qui font que la précision de la mesure est limitée par la sensibilité de la centrale et non par le capteur.

Je suggère donc le montage suivant :

- à aménager un système de vase communiquant qui prendrait la pression sur la parcelle dans un tube affleurant à la surface du sol à proximité de l'exutoire de la parcelle. Ce tube peut être métallique et soudé au cadre de la parcelle. Il peut avoir un diamètre de 10 mm. Une tôle le protège de l'écrasement lors de l'installation du cadre. à communiquer cette pression à un tube de plus grand diamètre situé à l'extérieur de la parcelle. La différence de diamètre (de 1 à 5 ?) permet d'utiliser un flotteur suffisamment puissant mais aussi d'amortir le batillage provoqué par les allées et venues du jet d'eau sur la parcelle. à faire flotter un flotteur lesté dans le tube extérieur.
- à relier le flotteur à un capteur de déplacement installé verticalement.

Toujours sur le thème de l'épaisseur de la lame d'eau sur la parcelle, on remarque que le système de recyclage modifie cette épaisseur par rapport au dispositif classique, mais ni l'un ni l'autre ne permettent de contrôler ce facteur. Il serait intéressant et peu coûteux de modifier une parcelle de simulation en remplaçant l'exutoire traditionnel (une plaque percée de trous) par un déversoir horizontal réglable en hauteur de manière à pouvoir forcer une hauteur d'eau minimale dans la parcelle quelle que soit l'intensité de la pluie. Ce dispositif permettrait peut être de fournir un modèle unifié de l'infiltration dans les trois dispositifs que nous avons vus à THYSSE : infiltromètre classique, à recyclage et à double anneau. Le déversoir baissé est équivalent à l'infiltromètre à aspersion classique. Le déversoir levé à 20 mm ou plus est équivalent au double anneau (à l'anneau de garde près) et, dans les positions intermédiaires, on doit certainement se trouver dans les conditions d'infiltration simulées par le système à recyclage (si l'on néglige l'influence de la vitesse sur la géométrie du plan d'eau).

Les deux pages demandées par le CAID sont remplies et je ne dépasserais pas mon quota. Ces quelques notes pourront peut-être amorcer un débat et déboucher sur une expérimentation concrète.