



Burkina Faso

L'Institut
français
de recherche
scientifique
pour le
développement
en coopération

ORGANISATION STRUCTURALE ET COMPORTEMENT PHYSIQUE DU SOL SOUS L'EFFET DE LA CULTURE ET DE LA JACHERE

II - Effet d'un précédent Jachère sur le profil cultural sous culture de mil

Philippe de BLIC

Février 1998

Laboratoire de Pédologie

Fonds Documentaire ORSTOM



010014970

SOMMAIRE

RESUME	1
INTRODUCTION	2
PROBLEMATIQUE - OBJECTIFS	2
MATERIEL ET METHODES	
LA ZONE D'ETUDE	3
LES SOLS	4
DISPOSITIF EXPERIMENTAL, CALENDRIER	4
METHODE D'ETUDE	5
RESULTATS	
CARACTERISATION DE L'ESPACE PORAL	7
EVOLUTION SAISONNIERE DE LA POROSITE	11
MESURES D'INFILTRATION EN REGIME PERMANENT	11
SORPTIVITE EN REGIME INITIAL D'INFILTRATION	14
GEOMETRIE DU SYSTEME RACINAIRE	15
DISCUSSION	23
CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE	26
ANNEXES	

RESUME

Dans le cadre du programme ORSTOM *Mil et contrainte hydrique en Afrique de l'Ouest*, un volet recherche d'accompagnement a été conduit au Burkina Faso pour évaluer l'effet des précédents culturaux - et notamment de la jachère - sur l'état structural du sol en relation avec le développement racinaire du mil.

On a suivi l'évolution du système racinaire du mil après défriche de jachère puis au cours d'une deuxième année de culture. Les données ont été comparées à celles obtenues dans une parcelle voisine cultivée depuis dix ans. L'état structural de l'épipédon a été caractérisé en matière de porosité et d'infiltrabilité.

Les résultats présentés ici montrent qu'un effet dépressif peut se manifester après mise en culture et affecter défavorablement l'installation et le développement du système racinaire. Il disparaît en deuxième année de culture.

Si l'on n'a pu relier de façon certaine cet effet dépressif à l'état structural du sol, la mise en évidence d'une différence significative dans la répartition de la macroporosité fonctionnelle entre *défriche* et *vieille culture* peut cependant apporter un élément d'explication.

Mots clés

Etat structural - Infiltration - Jachère - Mil - Porosité - Système racinaire.

INTRODUCTION

Le programme de recherche intitulé "**Organisation structurale et comportement physique du sol sous l'effet de la culture et de la jachère**" a été initié en 1993 par le laboratoire des Sols Cultivés de l'ORSTOM à Ouagadougou, Burkina Faso. Il se rattache à deux grands programmes :

& *Fonctionnement du peuplement végétal cultivé*, dans le cadre de l'Unité de recherche MAA-35 de l'ORSTOM.

& *Etude, amélioration et gestion de la jachère en Afrique Tropicale*, projet financé par la Communauté Economique Européenne (DG VIII) et initié par l'ORSTOM en partenariat avec les Organismes Nationaux de Recherche de l'Afrique de l'Ouest, dont il représente un volet de recherche d'accompagnement.

L'opération de recherche *Effet d'un précédent Jachère sur le profil cultural sous culture de mil* a été conduite en complément des recherches menées par l'ORSTOM, notamment au Niger, sur la résistance du mil à la sécheresse et qui font depuis 1996 l'objet d'un Contrat de Programme intitulé *Mil et contrainte hydrique en Afrique de l'Ouest (1996-98)*.

Le choix du terroir de Sobaka est lié à l'histoire récente de cette zone qui, classée en 1954 par l'administration coloniale, a connu depuis une vingtaine d'années un très fort déboisement et d'intenses activités agricoles et pastorales. La mise en oeuvre du Programme national d'aménagement des forêts naturelles a conduit au "déguerpissement" des populations illégalement installées et à la récupération de la zone en vue d'un aménagement forestier.

Elle présente de ce fait aujourd'hui l'aspect d'une mosaïque où sont juxtaposés des formations arborées plus ou moins denses, des groupements végétaux post-cultureux arbustifs et herbacés d'âges variés et des champs en culture appartenant à l'enclave constituée par le village de Sobaka.

PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS

Le grand programme de l'ORSTOM précité développe la thématique du fonctionnement du peuplement végétal cultivé à l'échelle de la parcelle, de la plante, et de son adaptabilité aux contraintes du milieu.

Au Niger, ce programme est axé depuis plusieurs années sur l'étude de la résistance du mil à la sécheresse. Dans les régions sub-sahariennes le mil forme en effet la base de l'autosuffisance alimentaire mais ses rendements restent très faibles, ce qui conduit à rechercher les moyens d'assurer une sécurisation et une élévation des rendements.

Dans la zone Soudano-sahélienne, la culture du mil se caractérise par des risques agroclimatiques élevés au premier rang desquels figure la sécheresse. Des travaux nombreux montrent que la résistance du mil à la sécheresse n'est pas dûe à une adaptation physiologique particulière. Elle repose davantage sur la plasticité morphologique et phénologique de la plante (*T. Winkel, 1995*). A ce niveau, le rôle du système racinaire reste encore mal connu. Au champ, la plasticité du mil est influencée

par les pratiques culturales et l'on peut se demander quelle place y tient l'histoire culturale de la parcelle.

Cela a conduit à développer au Burkina Faso, où le mil tient également une place importante dans la production agricole, un volet d'étude spécifique visant à mieux connaître l'effet des précédents culturaux - et notamment de la jachère - sur les propriétés physiques du sol en relation avec le développement racinaire.

Objectif général : Etudier l'effet d'un précédent *jachère* ou *culture* sur le profil cultural et la croissance du mil.

Objectif spécifique : Evolution de la morphologie du système racinaire du mil au cours du cycle cultural.

MATERIEL ET METHODES

LA ZONE D'ETUDE

Situé à quatre vingt kilomètres au sud de Ouagadougou, dans la province de la Sissili, le terroir du village de Sobaka, où est conduite notre étude, constitue une enclave de la forêt classée du Nazinon.

Le climat de type sud-soudanien comprend deux saisons bien contrastées. La pluviosité annuelle moyenne (1983-1992) est de 772 mm avec un coefficient de variation de 16%. La saison pluvieuse s'étend de mai à octobre avec un maximum au mois d'août.

La végétation est caractéristique de la zone nord du secteur phytogéographique soudanien méridional, district Est Mouhoun (*Guinko, 1984*). Il s'agit d'une savane boisée.

Le substratum géologique est constitué principalement de migmatites et granites indifférenciés. Le paysage correspond à un plateau ondulé d'altitude moyenne 300 m, disséqué par les tributaires du fleuve Nazinon selon un réseau hydrographique digité. Les dénivelées maximales ne dépassent pas 40 m et les pentes sont généralement inférieures à 2%.

La communauté rurale installée actuellement à Sobaka a pris possession de l'espace depuis environ 80 ans. L'occupation de l'espace se fait en auréoles concentriques autour du village :

- Champs de case cultivés en maïs.
- Champs de village cultivés en sorgho rouge et sorgho blanc.
- Champs de brousse où mil et sorgho sont cultivés en association avec le niébé et en rotation avec l'arachide.

Champs de case et de village sont régulièrement fumés, les champs de brousse, qui font l'objet de notre étude, ne sont pas fumés et sont régulièrement laissés en jachère. La culture est surtout manuelle, avec introduction de la culture attelée depuis moins de 10 ans. Le temps de repos des terres est très variable. D'une façon générale, abandon et remise en culture d'une parcelle dépendent de l'apparition de plantes qui, pour le paysan, sont indicatrices de la chute ou du retour de la fertilité de la terre.

LES SOLS

Le terroir de Sobaka montre une nette dominance des sols ferrugineux tropicaux lessivés (SFTL) indurés avec des profondeurs variables de l'horizon induré en carapace ferrugineuse (Zombre et al, 1994). La texture, sableuse à sablo-limoneuse en surface, passe à argilo-sableuse en profondeur. La toposéquence type est la suivante :

Sommet d'interfluve :	Lithosols sur cuirasse plus ou moins démantelée,
Versants :	SFTL indurés dominants associés à SFTL à taches et concrétions,
Bas de pente :	SFTL à pseudogley de profondeur,
Axes de drainage :	Sols peu évolués d'apport colluvo-alluvial hydromorphes, Sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble.

A partir de la carte pédologique, nous avons choisi une zone d'étude où une cartographie détaillée (55 sondages à la tarière) a permis d'identifier une aire de sols profonds, de 8 ha environ, englobant des champs cultivés depuis 10 ans et des jachères herbacées associant *Andropogon gayanus* et *Andropogon ascinodis*.

Le profil type observé dans cette zone est un sol tropical lessivé induré, l'horizon induré apparaissant à une profondeur généralement supérieure à 80 cm. Il montre la succession d'horizons suivante :

- Un horizon humifère A11 épais de 10 cm, de couleur brun grisâtre foncé à très foncé (10YR 3/2 à 4/2) à l'état humide, de texture sableuse.
- Un horizon de pénétration humifère A12, épais de 10 cm, de couleur brun foncé (10YR 4/3) à l'état humide s'éclaircissant à la base (10YR 5/6), de texture sableuse à sableuse faiblement argileuse.
- Un horizon B1 épais de 60 cm et plus, de couleur brun jaunâtre (10YR 5/4 à 5/6) à taches rougeâtres et peu contrastées, de texture sablo-argileuse.
- Un horizon induré en carapace ferro-manganifère, à plages rouges fortement indurées dominantes séparées par des plages gris clair contrastées et moins indurées. Cet horizon peut être surmonté d'un petit horizon gravillonnaire.

Les caractéristiques analytiques moyennes de l'épipédon dans les parcelles d'étude (défriche, vieille culture et jachère) sont présentées en annexe.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL, CALENDRIER

Mars 1996 - Observation des opérations de défrichement dans une jachère à *A. ascinodis* et *A. gayanus* jouxtant des champs cultivés de façon continue depuis 10 ans.

Avril 1996 - Délimitation de deux parcelles de 20x12 m : 12/96 en zone défrichée et 13/96 en vieille culture. Vérification de la profondeur du sol (> 80 cm) au moyen de 4 sondages à la tarière sur chaque parcelle.

Juin 1996 - Labour à la charrue et semis en ligne du mil sur les deux parcelles.

Juillet 1996 - Le mil n'ayant pas ou très mal levé sur la parcelle 12/96, il est remplacé le 24 juillet par des pieds de mil issus des semis de juin et repiqués en place. Levée et croissance correctes sur la parcelle 13/96.

Août à Novembre 1996 - Observations et mesures concernant le système racinaire.
Prélèvement d'échantillons de sol pour caractérisation de l'espace poral.

Novembre 1996 - Récolte du mil sur les deux parcelles.

Janvier à Mars 1997 - Mesures d'infiltration en régime permanent sur les parcelles 12/96, 13/96 et 14/96 (jachère témoin).

Avril 1997 - Délimitation de deux parcelles contigües de 20x12 m : 12/97 à la suite de 12/96 et 13/97 à la suite de 13/96.

Mai 1997 - Mesure de la sorptivité en régime d'infiltration initial sur les parcelles 12/96, 12/97, 13/96 et 13/97.

Juin 1997 - Labour à la charrue et semis en ligne du mil sur les parcelles 12/97 et 13/97.

Août à Octobre 1997 - Observations et mesures concernant le système racinaire et la porosité totale du sol.

Fin octobre et début novembre 1997 - Récolte du mil sur les deux parcelles.

METHODE D'ETUDE

1°) Porosité totale

Pendant la campagne 96, la porosité totale a été estimée à partir des mesures de la densité apparente (cylindres de 100 cm³) et de la densité réelle (pycnomètre à eau) selon le plan de sondage suivant :

Parcelles 12/96 et 13/96	1-10 cm	30 répétitions *	
	10-20 cm	30 répétitions *	
Parcelle 14/96 (jachère)	1-10 cm	7 répétitions	contre touffe
		8 répétitions	hors touffe
	10-20 cm	6 répétitions	contre touffe
		8 répétitions	hors touffe

(* regroupement des mesures effectuées en août et octobre).

On a également mesuré la densité apparente de petites mottes (20 g) selon la méthode au pétrole (*Gras, 1988*) : Parcelles 12/96 et 13/96, profondeurs 0-10 cm et 10-20 cm, 10 répétitions/ profondeur.

Au cours de la campagne 97, on a suivi l'évolution de la porosité totale de l'horizon de surface (1-10 cm) des parcelles 12/97 et 13/97. Les mesures ont été effectuées au moyen d'un cylindre de 220 cm³ aux mêmes dates et emplacements que les profils racinaires :

Interbillon	3 profils x 4 répétitions
Billon	3 profils x 4 répétitions.

2°) Distribution dimensionnelle des pores

La distribution des pores de diamètre inférieur à 200 µm a été déterminée par extraction progressive d'eau sur un bac à sable et en marmite à pression à partir des mêmes échantillons de 100 cm³ préalablement saturés (*annexe 2e*).

La proportion de pores de diamètre supérieur à 200 μm a été estimée globalement par différence avec la porosité totale.

3°) Infiltration, macroporosité fonctionnelle

Les débits d'infiltration ont été mesurés *in situ* au moyen d'un infiltromètre à membrane poreuse (TRIMS) susceptible de délivrer l'eau sous des tensions négatives réglables. Fonction des caractéristiques dimensionnelles de l'espace poral, ces débits d'infiltration ainsi que les paramètres dérivés (sorptionité, conductivité hydraulique, rayon poral moyen) fournissent une mesure de l'état structural (*annexes 2b, 2c, 2d*).

La mesure des débits d'infiltration a été conduite à trois tensions différentes, après établissement d'un régime permanent (*Reynolds et Elrick, 1991*). Les tensions de mesure ont été choisies de façon à seuiliser les catégories de pores suivantes :

- tension 10 mm pores de $\Phi < 3$ mm,
- tension 30 mm pores de $\Phi < 1$ mm,
- tension 60 mm pores de $\Phi < 0.5$ mm.

Les mesures ont été effectuées deux mois après la récolte selon le schéma suivant :

Parcelles 12/96 et 13/96	13 répétitions/ tension	surface et 10 cm de profondeur
Parcelle 14/96	10 répétitions/ tension	surface, contre touffe
	8 répétitions/ tension	surface, hors touffe.

Les mesures en surface ont été réalisées après décapage du centimètre supérieur.

On a établi à l'aide de la formule de Poiseuille les valeurs correspondantes de la macroporosité (*Dunn et Philipps, 1991*).

Parallèlement, on a testé une méthode permettant d'estimer la conductivité hydraulique et les autres paramètres de l'infiltration au moyen de deux mesures de la sorptivité réalisées à deux tensions différentes (*White et Perroux, 1989*). La sorptivité est déterminée à partir des flux d'infiltration mesurés au tout premier stade de l'infiltration et cette méthode peut donc offrir une mesure rapide et aisée des paramètres hydriques du sol. On a utilisé les couples de tensions 10-30 mm et 30-60 mm.

4°) Géométrie du système racinaire

Elle a été étudiée par la méthode du profil racinaire avec 3 répétitions/ parcelle aux dates suivantes :

Campagne 96	Parcelle 13	31/07	03/09	04/10	05/11
	Parcelle 12	07/08	04/09	09/10	07/11
Campagne 97	Parcelle 13	12/08	11/09	16/10	
	Parcelle 12	14/08	15/09	21/10	

A noter que les observations réalisées en octobre 1997 l'ont été juste avant la récolte du mil effectuée plus précocement qu'en 1996.

Le traitement des données a été réalisé suivant la méthodologie exposée plus loin (*annexe 2a*).

RESULTATS

CARACTERISATION DE L'ESPACE PORAL

Un premier essai de partition de l'espace poral peut consister à identifier une *porosité texturale* qui représente les vides du sol provenant de l'existence des arrangements élémentaires et une *porosité structurale* qui regroupe les vides se trouvant entre les éléments structuraux. Leur somme est égale à la *porosité totale*.

On admet généralement (Gras, 1988) que la porosité mesurée sur de petites mottes ou fragments de terre est une bonne approximation de la *porosité texturale*. La différence entre la porosité-cylindre et la porosité-motte fournit alors une assez bonne image de la *porosité structurale*.

Tableau 1 - Evaluation de la porosité structurale sur les parcelles expérimentales

Parcelle	Profondeur	Porosité cylindre %	Porosité motte %	Porosité structurale %
12/96 Défriche	0-10 cm	40.5	34.6	5.9
	10-20 cm	39.7	33.0	6.7
13/96 Mil	0-10 cm	40.8	35.5	5.3
	10-20 cm	39.4	32.0	7.4

Une autre approche consiste à utiliser la loi de la capillarité pour effectuer une partition de l'espace poral suivant le diamètre des *pores équivalents* : Si l'on extrait progressivement l'eau du matériau préalablement saturé, à chaque état d'équilibre tous les pores de diamètre supérieur à un diamètre limite fixé par la loi de la capillarité sont vidés. La courbe pression de ressuyage-humidité est alors une courbe cumulative de répartition dimensionnelle des *pores équivalents*.

Le choix des pressions de ressuyage a été effectué de façon à identifier les trois catégories porales suivantes :

- les macropores de diamètre supérieur à 50 μm ,
- les mésopores de diamètre compris entre 50 et 10 μm ,
- les micropores de diamètre inférieur à 10 μm .

Les situations suivantes ont été caractérisées (*annexes 3a et 3b*) :

Parcelle 13/96	0-10 cm	<i>Mil 00</i>
	10-20 cm	<i>Mil 10</i>
Parcelle 12/96	0-10 cm	<i>Déf 00</i>
	10-20 cm	<i>Déf 10</i>
Parcelle 14/96	0-10 cm	<i>Jac 00</i>
	10-20 cm	<i>Jac 10</i>

En ce qui concerne la parcelle 14/96, nous avons regroupé les mesures effectuées *contre touffe* et *hors touffe*, étant donné qu'elles ne présentent, pour les échantillons étudiés dans ces deux populations, aucune différence statistiquement significative (*annexe 3a*).

L'examen des valeurs de porosité totale dans les horizons de surface des trois situations étudiées (*figure 1*) appelle les commentaires suivants :

- La porosité totale, ainsi que la répartition entre macropores et méso-micropores sont identiques dans les situations *Mil 00* et *Déf 00*.
- La porosité totale de *Jac 00* accuse une baisse de deux points par rapport à *Mil 00* et *Déf 00*. Cette baisse, qui est statistiquement significative (*annexe 3b*), n'affecte que les macropores > 50 μm . En effet, les valeurs relatives aux méso-micropores sont identiques pour l'horizon 0-10 cm dans les trois situations étudiées.
- La porosité totale, ainsi que la répartition entre macropores et méso-micropores, sont rigoureusement identiques pour l'horizon 10-20 cm dans les trois situations étudiées.
- Sous culture et sous défriche, l'horizon 0-10 cm est plus poreux que l'horizon 10-20 cm. Le gain de porosité au niveau des méso-micropores compense le déficit observé pour les macropores.
- Sous jachère, l'horizon 0-10 cm est par contre significativement moins poreux que l'horizon 10-20 cm et la baisse de porosité n'affecte que les macropores.

L'examen des schémas de répartition de la porosité entre les différentes classes dimensionnelles de pores (*figure 2*) permet d'affiner la comparaison :

- La quasi-identité des schémas caractérisant *Mil 00* et *Déf 00* se confirme, tandis que *Jac 00* se distingue par une augmentation forte et significative des pores < 10 μm et une diminution corrélative des autres classes de pores, surtout marquée pour les pores > 200 μm .
- Les schémas relatifs à l'horizon 10-20 cm (*Mil 10*, *Déf 10* et *Jac 10*) sont confirmés très semblables. On note toutefois des différences statistiquement significatives entre *Mil 10* et *Déf 10* pour les pores > 50 μm , ainsi qu'entre *Mil 10* et *Jac 10* pour les pores compris entre 200 μm et 10 μm (macro-mésopores)

Concernant la comparaison entre les horizons 0-10 cm et 10-20 cm, on remarque que (*annexe 3b*) :

- *Jac 00* et *Jac 10* diffèrent significativement pour toutes les classes de pores, y compris les pores < 10 μm .
- *Mil 00* et *Mil 10* ne diffèrent significativement que pour les pores de diamètre compris entre 10 et 200 μm .
- *Déf 00* et *Déf 10* diffèrent significativement pour tous les pores > 10 μm (mésopores et micropores).

Figure 1 : Porosité des horizons de surface

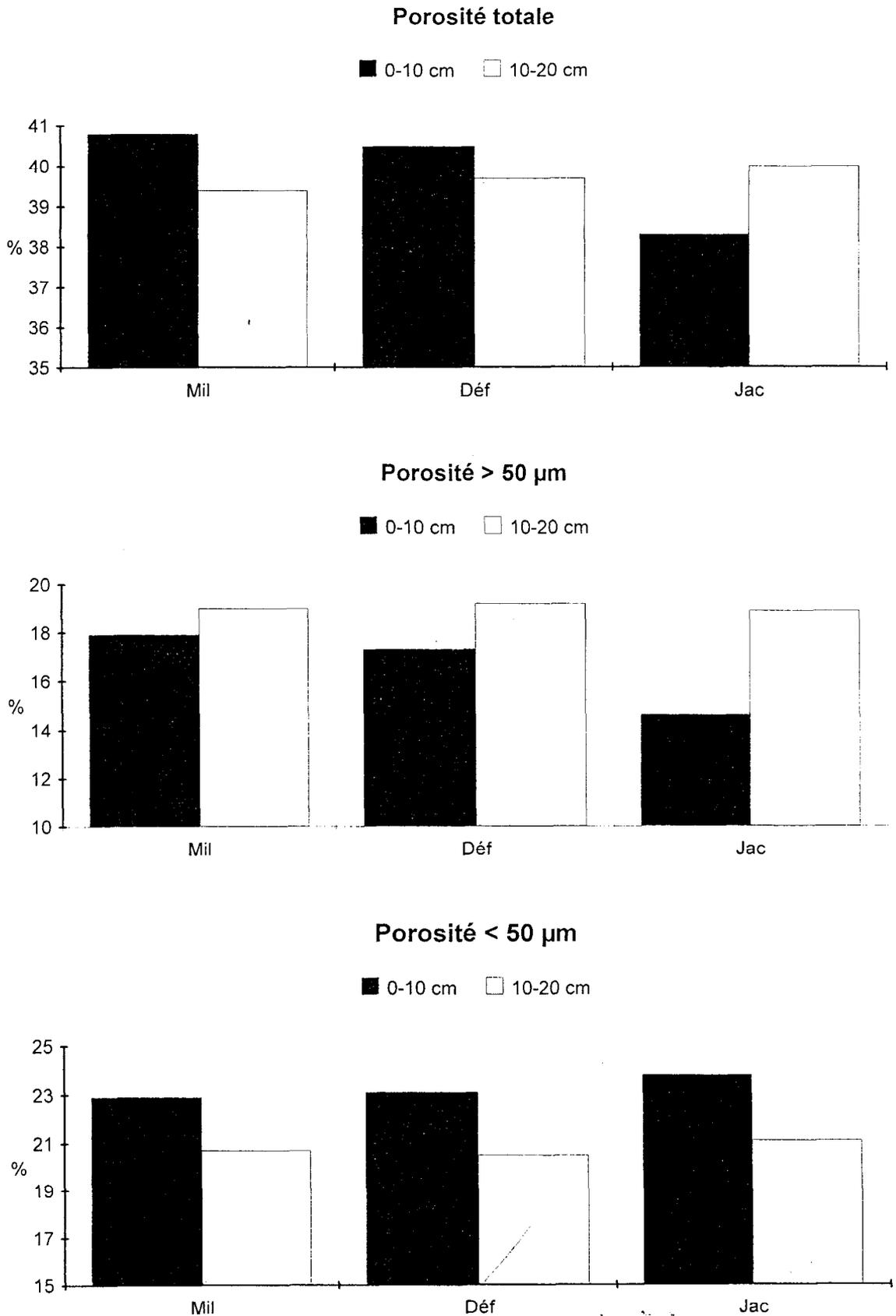
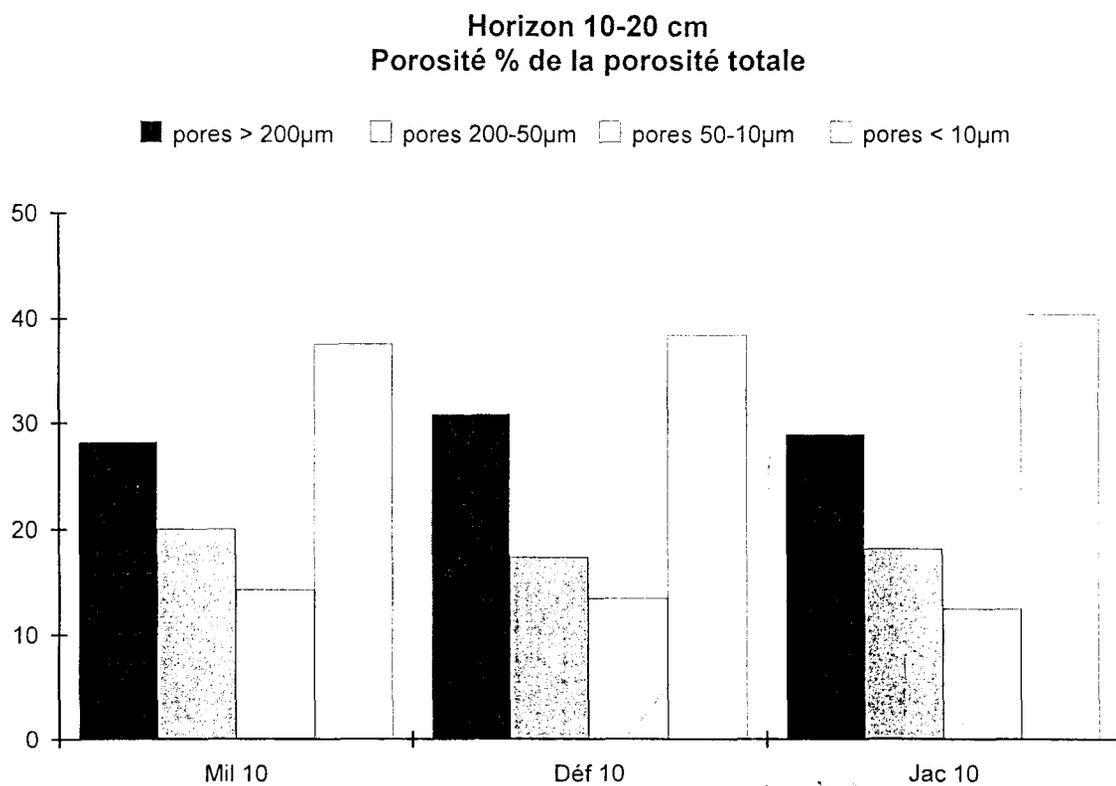
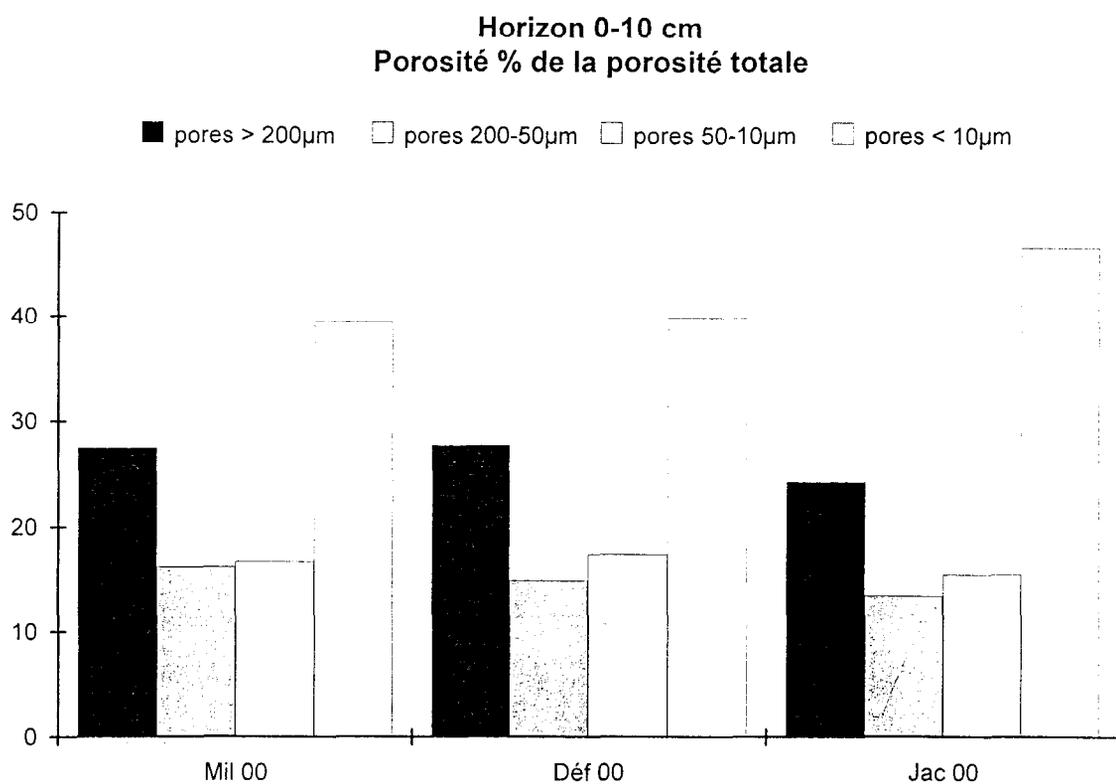


Figure 2 : Distribution dimensionnelle des pores



EVOLUTION SAISONNIERE DE LA POROSITE

La densité apparente de l'horizon de surface a été mesurée à trois reprises au cours de la saison culturale 1997 au moyen d'un cylindre de 220 cm³. Les mesures ont été effectuées dans les parcelles 12/97 et 13/97, sur les lignes et interlignes de la culture de mil. Les données ainsi obtenues ont permis le calcul de la porosité totale (*annexe 3c*).

Tableau 2 : Evolution de la porosité totale % de l'horizon de surface au cours de la saison culturale

	Parcelle 13/97		Parcelle 12/97	
	Interligne	Ligne	Interligne	Ligne
Août 97	39	40	40	40
Septembre 97	41	44.5	39.5	45.5
Octobre 97	40	44.5	40.5	44.5

Ce tableau montre quelques faits intéressants :

- Invariabilité dans le temps et dans l'espace de la porosité mesurée en interligne.
- Uniformité porale au mois d'août, c'est à dire après implantation de la culture mais avant la campagne de sarclages.
- Par la suite, apparition d'une différence nette et significative entre ligne et interligne liée au sarclage en culture attelée.
- Aucune différence, tout au long de la saison culturale, entre les deux parcelles.

MESURES D'INFILTRATION EN REGIME PERMANENT

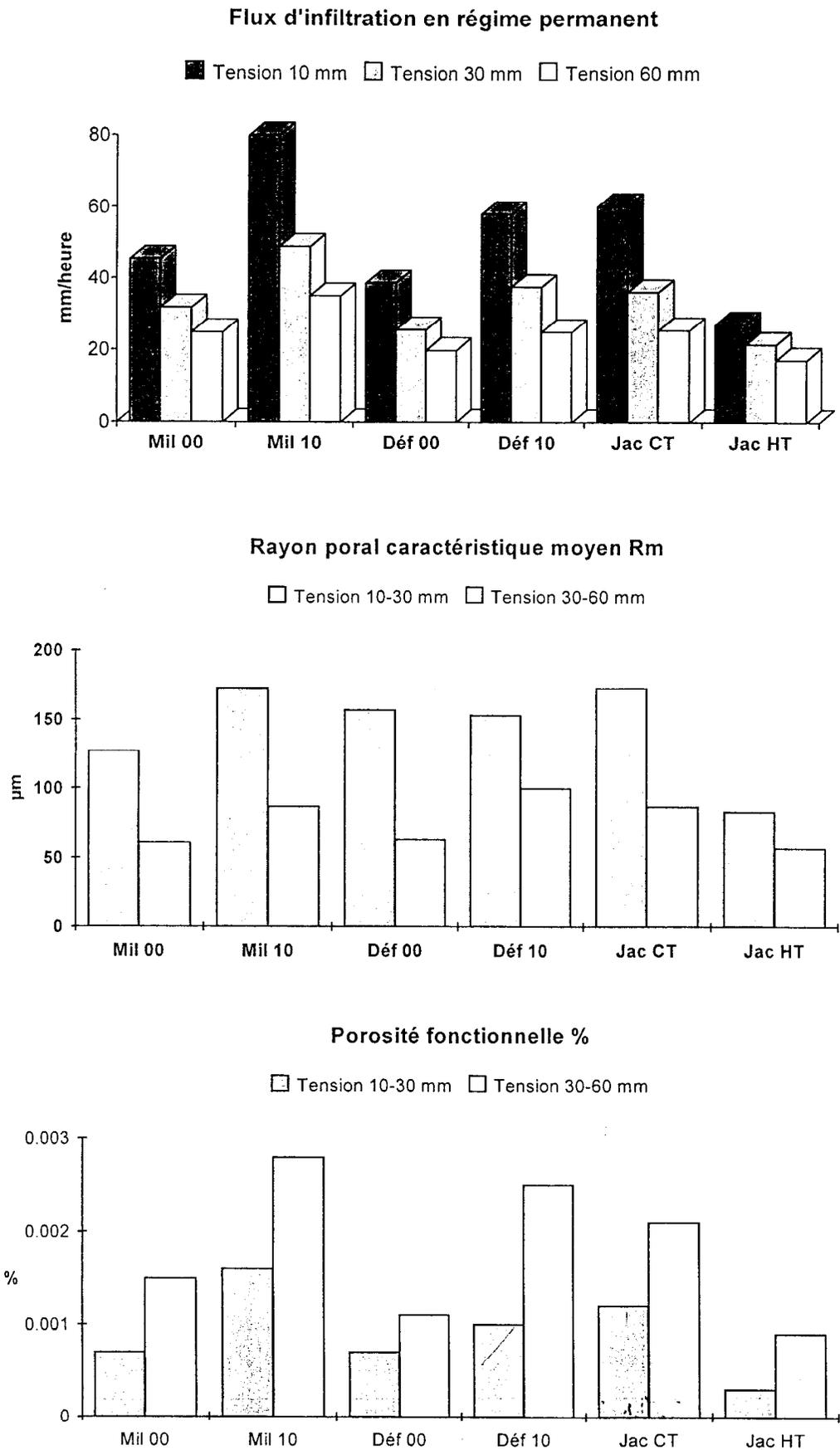
Les flux d'infiltration ont été mesurés à trois tensions différentes, autorisant un classement des macropores fonctionnels selon leur diamètre :

Tension 10 mm - macropores fonctionnels < 3 mm
 Tension 30 mm - " " < 1 mm
 Tension 60 mm - " " < 0.5 mm

Six situations ont été caractérisées (*annexe 4a*) :

Mil 00	vieux champ de mil	mesures en surface
Mil 10	" "	mesures à 10 cm de profondeur
Déf 00	mil sur défriche 96	mesures en surface
Déf 10	" "	mesures à 10 cm de profondeur
Jac CT	jachère à andropogonées	mesures en surface, contre touffe
Jac HT	" "	mesures en surface, hors touffe

Figure 3
Paramètres hydriques et structuraux de l'infiltration



Flux d'infiltration

Les valeurs mesurées sont affectées de coefficients de variation dont les ordres de grandeur sont les suivants (*annexe 4a*) : 30% à 40% pour *Mil* et *Déf*, 50% pour *Jac CT* et 20% à 25% pour *Jac HT*.

Deux populations se distinguent assez nettement (*figure 3 et annexe 4b*) :

Une population A comprenant *Mil 00*, *Déf 00*, *Jac HT*

Une population B comprenant *Mil 10*, *Déf 10*, *Jac CT*

Les flux d'infiltration moyens de la population A sont moins élevés que ceux de la population B, aux trois tensions de mesure ; la plupart des différences sont statistiquement significatives.

Les différences intra-population sont rarement significatives, sauf dans deux cas :

- *Mil 00* significativement plus élevé que *Jac HT* aux trois tensions de mesure.
- *Mil 10* significativement plus élevé que *Déf 10* aux trois tensions de mesure.

La différence *Mil 00* - *Déf 00*, bien que toujours positive, n'est pas significative.

Le tableau suivant exprime la manière dont se répartit le flux d'infiltration dans les macropores fonctionnels.

Tableau 3 : Répartition du flux d'infiltration suivant la taille des pores, en % du flux total mesuré dans les pores < 3 mm

	Pores 3-1 mm	Pores 1-0.5 mm	Pores < 0.5 mm
<i>Mil 00</i>	30	15	55
<i>Déf 00</i>	34	15	51
<i>Jac HT</i>	20	16	64
<i>Jac CT</i>	40	18	42
<i>Mil 10</i>	39	17	44
<i>Déf 10</i>	35	22	43

La population A est caractérisée par la prédominance accentuée des macropores fonctionnels de diamètre < 0.5 mm. La population B voit par contre un renforcement du rôle des pores 1-0.5 mm et surtout 3-1 mm.

Rayon poral caractéristique moyen λ_m (ou R_m)

λ_m est calculé pour les deux couples de tensions 10-30 mm et 30-60 mm (*figure 3, annexes 4a et 4b*).

Tension 10-30 mm - Les valeurs moyennes de λ_m sont étroitement regroupées autour de la valeur 150 μm , excepté pour *Jac HT* qui affiche une valeur significativement plus faible.

Tension 30-60 mm - Les valeurs de λ_m s'ordonnent selon les deux populations A et B :

- valeurs voisines de 60 μm pour la population A,
- valeurs voisines de 95 μm pour la population B.

Toutes les différences inter-populations sont significatives, aucune différence intra-population n'est par contre significative.

Macroporosité fonctionnelle

Les valeurs calculées pour les deux couples de tensions s'ordonnent selon les deux populations A et B (*figure 3, annexes 4a et 4b*). Faibles pour la population A, elles sont significativement plus élevées pour la population B.

SORPTIVITE EN REGIME INITIAL D'INFILTRATION

Les mesures de sorptivité effectuées sur les parcelles 12/96 (*Déf 00*) et 13/96 (*Mil 00*) permettent de comparer les valeurs des paramètres hydriques obtenues par la méthode RE (*Reynolds et Elrick*) en régime permanent et la méthode WP (*White et Perroux*) en régime d'infiltration initiale.

Tableau 4 - Comparaison des valeurs de λ_m (en μm) obtenues par deux méthodes différentes

	Tension 10-30 mm		Tension 30-60 mm	
	méthode RE	méthode WP	méthode RE	méthode WP
<i>Mil 00</i>	127	323	61	37
<i>Déf 00</i>	157	467	63	108

Pour comparer les deux méthodes, on a admis implicitement que les forces capillaires régissant l'entrée de l'eau dans le sol sont les mêmes en régime permanent qu'en régime initial d'infiltration (*Cook et Broeren, 1994*).

Il est clair que cette hypothèse n'est pas vérifiée dans le cas présent et que les deux méthodes ne mesurent pas la même macroporosité fonctionnelle.

Ceci étant, en 1996, les valeurs de sorptivité sont plus élevées sous vieille culture (parcelle 13) qu'en défriche (parcelle 12), pour les trois tensions de mesure (*Annexe 4c*). Bien que la différence ne soit significative qu'à la tension 60 mm, cela va bien dans le même sens que les observations réalisées à propos des flux d'infiltration en régime permanent.

En 1997, par contre, les valeurs de sorptivité mesurées à chacune des trois tensions sont du même ordre de grandeur sur les deux parcelles.

GEOMETRIE DU SYSTEME RACINAIRE

1°) Profils de densité racinaire

Les données sont disponibles en *annexes 5a et 5b*.

Les faits marquants de la campagne 1996 (*figure 4*) sont les suivants :

- Le semis de la parcelle 12 a été un échec, ce qui a obligé à effectuer un repiquage du mil. La mise en place définitive de la culture a donc été beaucoup plus tardive que sur la parcelle 13. Malgré ce handicap, la profondeur de pénétration racinaire a été satisfaisante dans les deux parcelles.
- Par contre, les densités racinaires de la parcelle 12 restent toujours inférieures à celles de la parcelle 13 ; la différence est surtout marquée dans les 30 centimètres supérieurs du sol.
- C'est en octobre que le décalage entre les profils moyens de densité racinaire des deux parcelles est le plus marqué, affectant toute l'épaisseur de sol observée.

Les observations effectuées pendant la campagne 1997 montrent que l'évolution du système racinaire dans les deux parcelles est très comparable, avec un léger avantage à la parcelle 12 (*figure 5*) :

- En août et septembre, la densité racinaire des 20 centimètres supérieurs du sol est un peu plus élevée dans la parcelle 12.
- En octobre, les profils représentatifs des deux parcelles sont pratiquement confondus dans les 35 centimètres supérieurs du sol ; en dessous, la densité racinaire est un peu plus élevée dans la parcelle 12.

Si l'on examine, pour chaque parcelle, l'évolution des profils de densité racinaire au cours du cycle cultural (*figure 6*), on constate les faits suivants :

- *Parcelle 12/96* - La densité racinaire a augmenté régulièrement au cours du cycle, à toutes les profondeurs.
- *Parcelle 13/96* - C'est essentiellement entre les observations réalisées en septembre et octobre que l'on a constaté une augmentation significative des densités racinaires.
- *Parcelles 12/97 et 13/97* - L'évolution des profils de densité racinaire a été surtout marquée entre les observations d'août et septembre.

2°) Indice de régularité de l'enracinement

Cet indice a été établi (*annexe 2a*) en rapportant le nombre de cases de la grille de comptage renfermant au moins une racine au nombre total de cases. Dépendant de la dimension de la maille de la grille, son utilisation est strictement comparative.

Campagne 1996 (figure 7) :

- La courbe Indice de régularité-profondeur de la parcelle 12 est toujours très en dessous de celle de la parcelle 13 et ne s'en rapproche qu'en fin de cycle.

- C'est en octobre que l'on observe la plus grande régularité dans l'enracinement de la parcelle 13.
- Si l'on considère l'indice de régularité global du profil racinaire (*annexe 5c*), on constate que cet indice reste toujours inférieur à 0.50 dans la parcelle 12 et n'atteint jamais, même en fin de cycle, le niveau le plus faible enregistré, en début de cycle, dans la parcelle 13.

Campagne 1997 (figure 8) :

- Au mois d'août, la parcelle 12 présente une régularité de l'enracinement nettement supérieure à celle de la parcelle 13.
- En septembre et octobre, les deux parcelles présentent des courbes Indice de régularité-profondeur identiques.
- Ces constatations sont confirmées par l'indice de régularité global : plus faible en août dans la parcelle 13, puis identique dans les deux parcelles.

3°) Indice de répartition verticale

C'est le pourcentage de racines présentes dans les 20 centimètres du sol.

Tableau 5 : Quantité de racines présentes dans les 20 centimètres supérieurs du sol, en % du nombre total de racines

	Parcelle 12	Parcelle 13
<i>Campagne 1996</i>		
Août	100.0	87.4
Septembre	83.0	80.2
Octobre	78.0	63.3
Novembre	67.0	65.2
<i>Campagne 1997</i>		
Août	91.7	94.7
Septembre	82.0	77.3
Octobre	71.5	73.6

- Les valeurs relativement plus faibles enregistrées dans la parcelle 13/96 indiquent une bonne exploitation, dès le mois d'octobre, des couches de sol inférieures à 20 cm ; la parcelle 12/96 ne rattrape qu'en fin de cycle.
- L'abondance relative des racines dans l'horizon 0-20 cm est plus élevée en octobre 97 qu'en octobre 96, dans les deux parcelles, indiquant donc une moins bonne exploitation des couches plus profondes.
- Le comportement des parcelles 12 et 13 est très voisin tout au long du cycle cultural 97.

4°) Indices de répartition latérale

Il convient de se référer, pour le calcul des indices, à l'*annexe 2a*.

L'indice L1, dont le calcul est très rapide, permet une première approche de la distribution latérale des racines :

- *Parcelle 13/96* - L1 tend dès le mois de septembre vers la valeur 50, ce qui indique une répartition latérale très homogène des racines.
- *Parcelle 12/96* - Les valeurs de L1 indiquent, pendant tout le cycle cultural, une concentration relative des racines sous les lignes.
- *Pendant la campagne 1997*, les parcelles 12 et 13 évoluent de manière assez proche et montrent, aux trois dates d'observation, une concentration relative des racines sous les lignes.

L'indice L2, dont le calcul est plus précis, permet d'affiner les indications précédentes. Plus cet indice se rapproche de 100, plus la répartition latérale des racines est régulière.

Tableau 6 : Indice de répartition latérale des racines L2

	<i>Parcelle 12</i>	<i>Parcelle 13</i>
<i>Campagne 1996</i>		
<i>Août</i>	252	137
<i>Septembre</i>	138	117
<i>Octobre</i>	125	110
<i>Novembre</i>	113	104
<i>Campagne 1997</i>		
<i>Août</i>	136	139
<i>Septembre</i>	149	130
<i>Octobre</i>	126	128

Pendant la campagne 1996, le développement du système racinaire s'est fait de façon à exploiter progressivement tout l'espace disponible, cette évolution étant plus rapide dans la parcelle 13 que dans la parcelle 12.

En 1997, l'indice L2 est parti de valeurs très voisines de l'indice observé dans la parcelle 13 en août 96 ; il n'a ensuite que fort peu évolué dans les deux parcelles, mettant en évidence un développement latéral incomplet du système racinaire.

Figure 4
Profils de densité racinaire
Parcelles 12/96 et 13/96

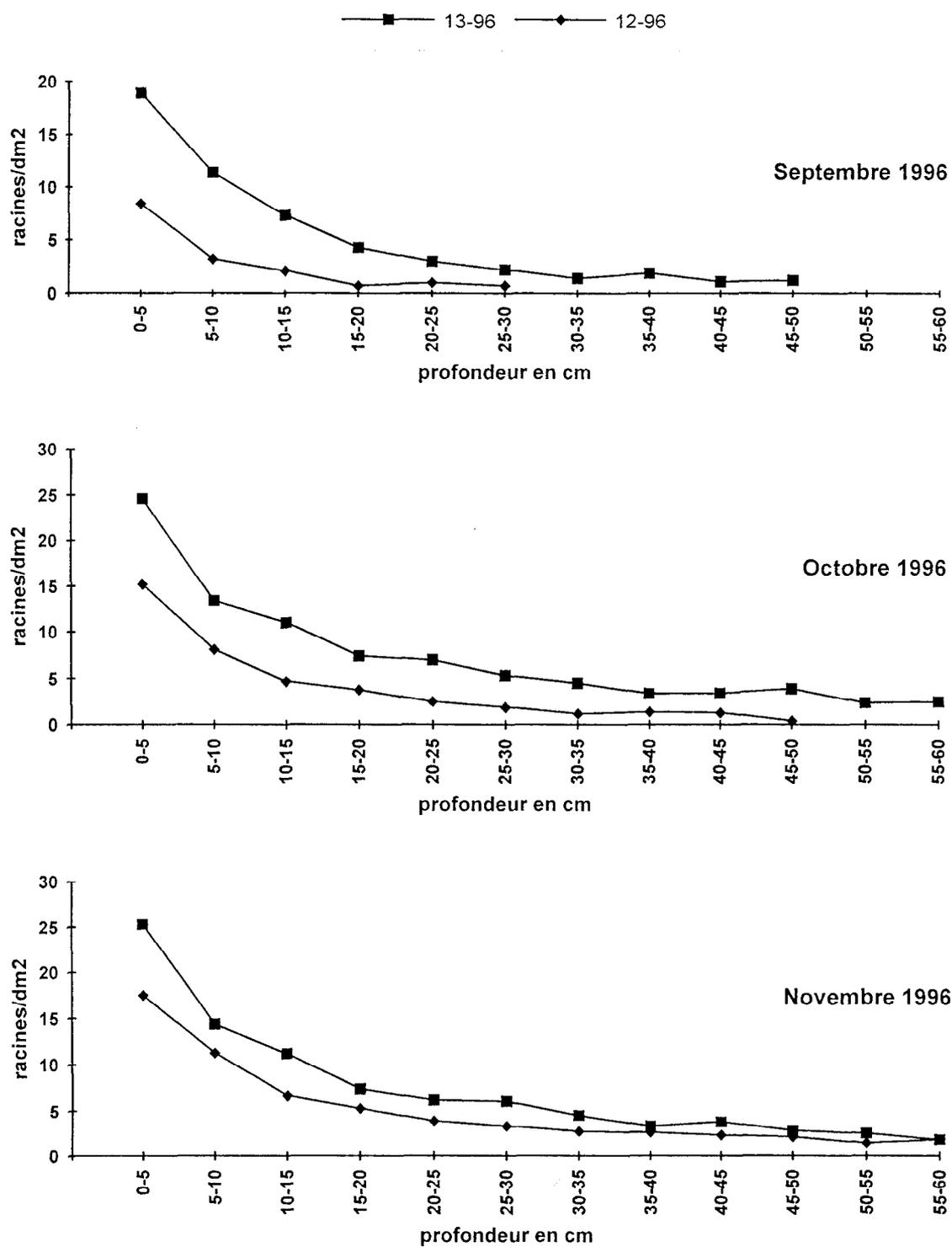


Figure 5
Profils de densité racinaire
Parcelles 12/97 et 13/97

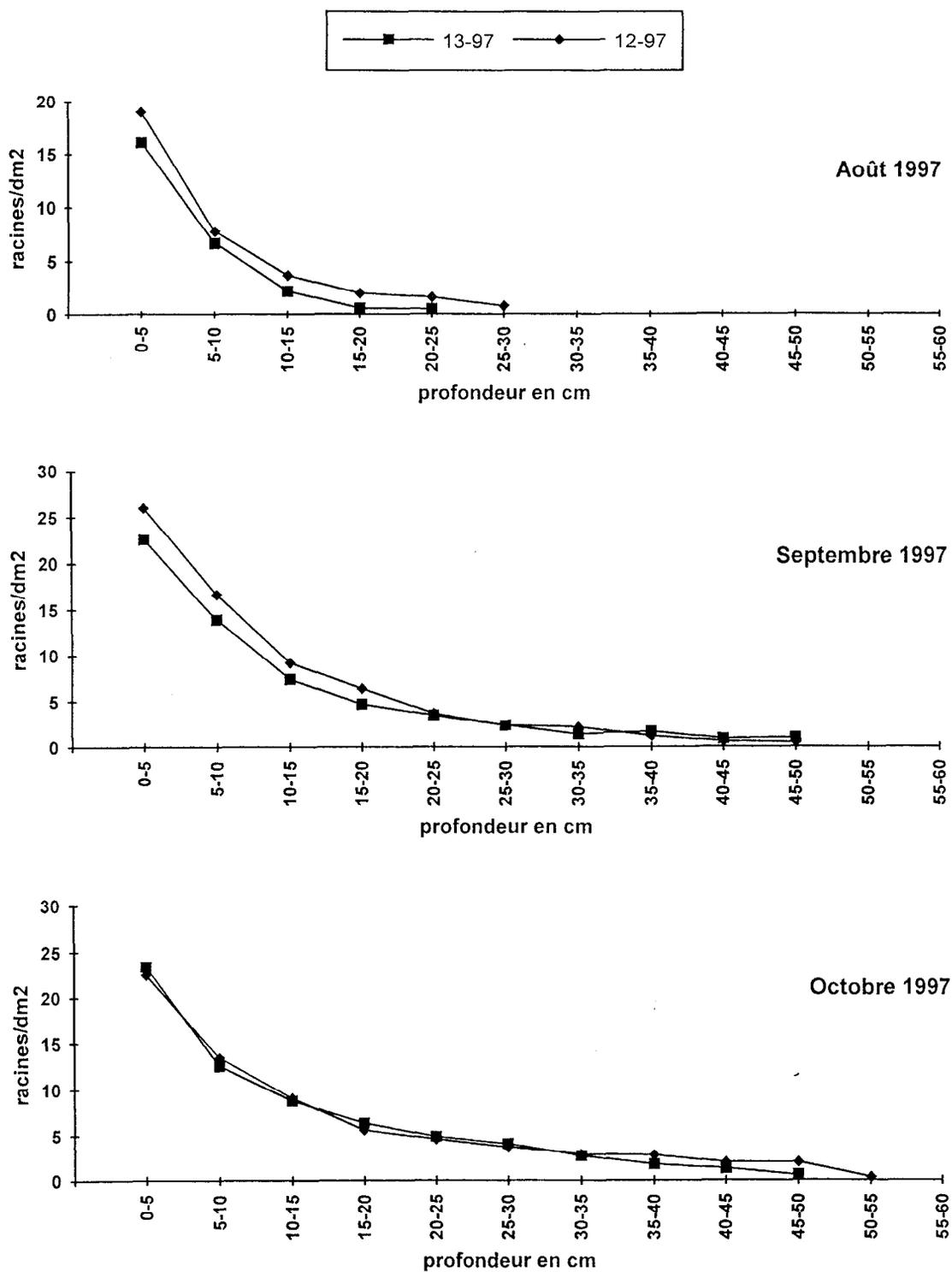


Figure 6
Evolution des profils de densité racinaire
au cours des cycles culturaux 1996 et 1997

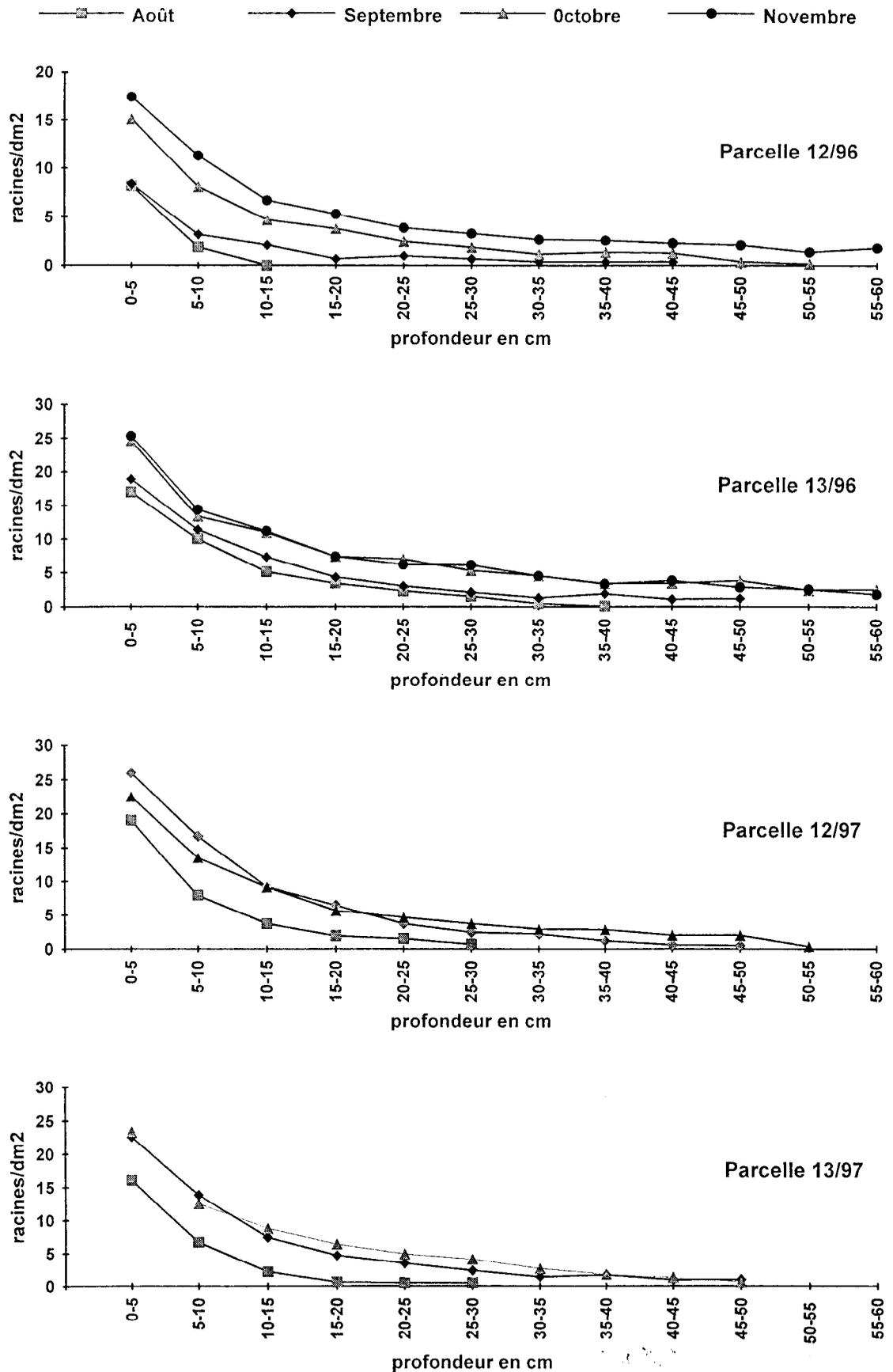


Figure 7
Indice de régularité de l'enracinement

Parcelles 12/96 et 13/96

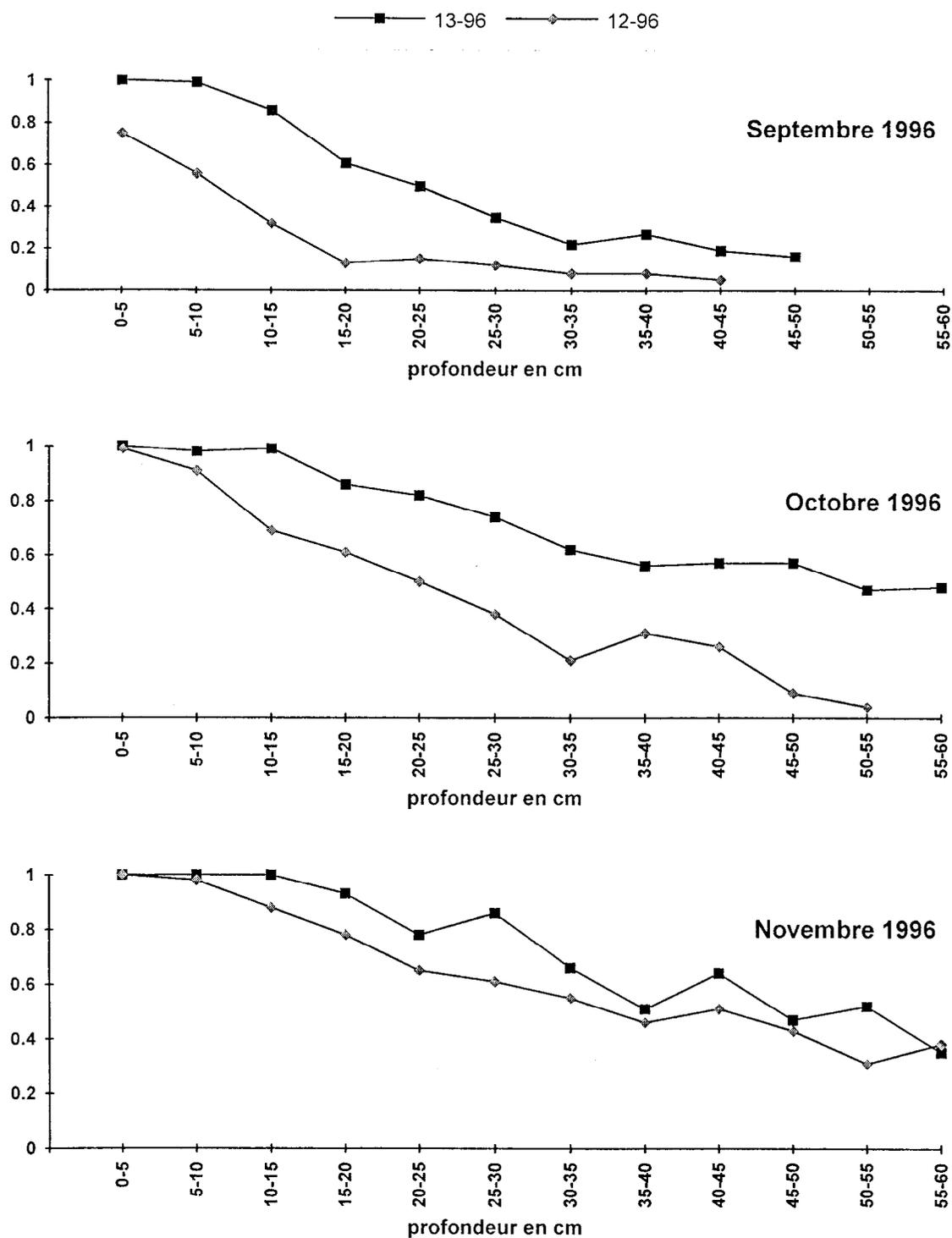
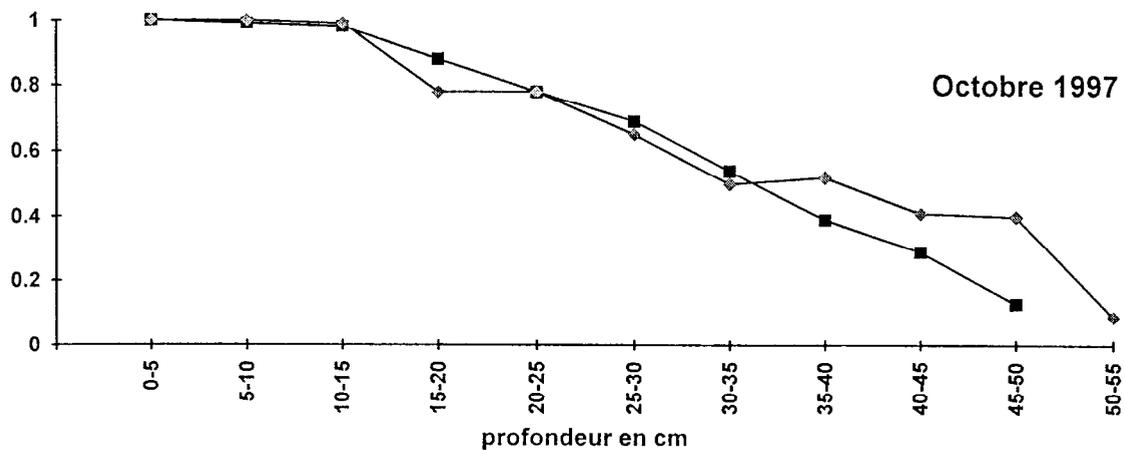
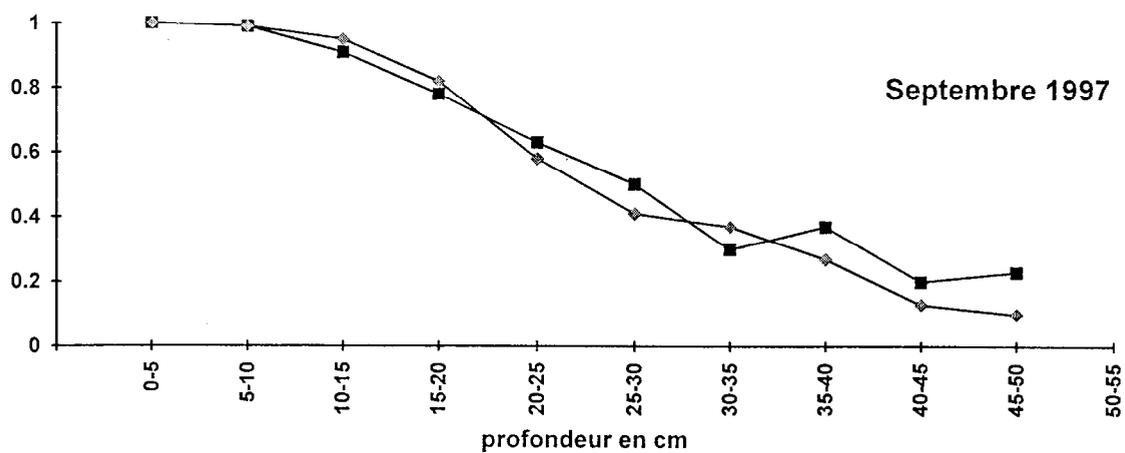
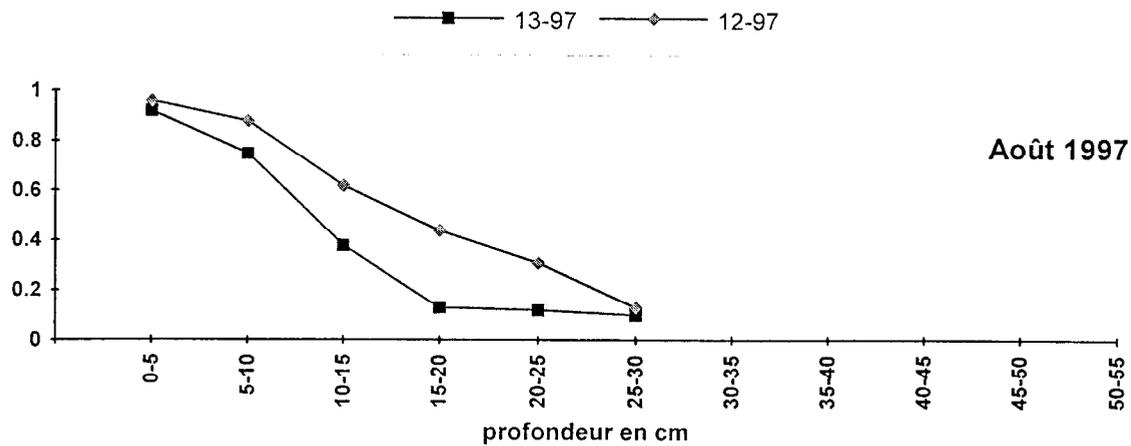


Figure 8
Indice de régularité de l'enracinement

Parcelles 12/97 et 13/97



DISCUSSION

Les trois situations étudiées ici sont représentatives de modes de gestion différents :

- Une jachère herbacée à *A. gayanus* et *A. ascinodis*, âgée de plus de 20 ans.
- Un champ vivrier cultivé de façon continue depuis 10 ans.
- Une mise en culture vivrière après défriche de jachère.

On peut s'attendre à ce que cette différenciation du milieu se reflète dans l'organisation structurale de l'horizon humifère A11 (0-10 cm). A cet égard, la porosité totale est généralement considérée comme un paramètre fiable et sensible de l'état structural.

1°) Porosité totale et distribution dimensionnelle des pores

Première constatation : La porosité totale de l'horizon de pénétration humifère A12 (10-20 cm) ainsi que la distribution dimensionnelle des pores sont identiques dans les trois situations, témoignant d'une emprise très superficielle de l'homme sur l'organisation structurale du sol. Le système poral de A12 représente *un repère stable dans l'espace et le temps* auquel on peut confronter la porosité mesurée dans l'horizon humifère.

L'état structural de l'horizon humifère A11 montre alors, par comparaison avec A12 :

- Une diminution de la macroporosité ($> 50 \mu\text{m}$) qui, peu marquée dans les situations de *culture* et de *défriche*, atteint près de 50% sous *jachère*.
- Une augmentation concomitante de la méso-microporosité ($< 50 \mu\text{m}$), à peu près identique dans les trois situations.

Cela se traduit globalement, par rapport à A12, par une augmentation de la porosité totale de l'horizon A11 sous *culture* et sous *défriche*, marquant un rôle prédominant des *facteurs d'allègement* tels que le travail du sol.

De la même manière, on observe une diminution globale, par rapport à A12, de la porosité de l'horizon A11 sous *jachère* indiquant un rôle prédominant des *facteurs de densification* tels que le piétinement du bétail.

Quant aux schémas caractérisant la distribution dimensionnelle des pores dans l'horizon A11, ils sont identiques sous *culture* et sous *défriche*. Sous *jachère*, par contre, ils sont décalés de façon significative vers les pores les plus fins (micropores $< 10 \mu\text{m}$), ce qui traduit bien un tassement superficiel généralisé.

On peut constater aussi l'extrême rapidité avec laquelle les valeurs de porosité de l'horizon A11 sous *défriche* s'alignent sur les valeurs correspondantes relevées en vieille *culture* ; cela montre l'efficacité du travail du sol qui reprend et efface très rapidement les effets du piétinement du bétail.

L'état structural ainsi créé au cours du premier cycle cultural apparaît stable dans le temps, au moins sur une durée de 10 ans, en ce qui concerne la porosité.

2°) Macroporosité fonctionnelle

Avec la mesure des flux d'infiltration en régime permanent, on peut effectuer une partition de la macroporosité fonctionnelle comprise entre 3 mm et 0.5 mm. Cela complète et précise les mesures précédentes dans une gamme de taille où le rôle des facteurs biologiques est particulièrement important

Sous *culture* et sous *défriche*, les flux d'infiltration sont significativement plus faibles dans l'horizon A11 que dans l'horizon A12 pour les tensions de mesure 10 mm et 30 mm, ce qui correspond à une diminution de la macroporosité fonctionnelle dans la gamme des pores > 500 µm.

Sous *jachère*, l'effet *touffe* apparaît beaucoup plus marqué qu'avec les mesures au bac à sable et la macroporosité fonctionnelle > 500 µm est significativement plus élevée *contre touffe* que *entre touffes*.

Dans l'horizon A12, les flux d'infiltration mesurés sous *culture* sont significativement plus élevés que sous *défriche*. Cela correspond (*tableau 3*) à une participation plus importante des pores 3-1 mm à l'infiltration, sous *culture*, au détriment essentiellement des pores 1-0.5 mm dont le rôle, par contre, s'accroît sous *défriche*. Le meilleur développement des pores 3-1 mm sous culture est susceptible d'influer favorablement sur la croissance des racines primaires de mil.

Les mesures de sorptivité effectuées en 1997 tendent à indiquer une uniformisation des valeurs d'infiltration sous culture récente ou ancienne.

Nous avons vu (*tableau 4*) que les résultats obtenus par la méthode RE (*Reynolds et Elrick*) en régime permanent diffèrent de ceux fournis par la méthode WP (*White et Perroux*) en régime initial d'infiltration. Il semble bien qu'au premier stade de l'infiltration les macropores concernés par l'entrée de l'eau aient un diamètre moyen supérieur à ceux qui fonctionnent en régime permanent.

Le choix de la méthode peut alors dépendre du résultat recherché :

- Si l'on souhaite disposer d'un paramètre structural permettant de comparer le comportement du sol soumis à divers modes de gestion, la méthode WP offre un moyen de caractérisation rapide et aisé.
- Si l'on s'intéresse à la mesure de la conductivité hydraulique du sol, ou bien si l'on ne souhaite pas être assujéti au taux d'humidité initial du sol, il est préférable d'opérer en régime permanent avec la méthode RE.

3°) Développement du système racinaire

En première année de culture sur *défriche*, l'implantation du mil et le développement de son système racinaire ont été beaucoup plus difficiles qu'en *vieille culture*. Il semble en particulier que la culture de mil sur *défriche* se soit montrée plus sensible aux aléas climatiques de début de cycle, en raison peut-être d'une macroporosité 3-1 mm significativement plus faible que dans l'horizon A12 de la parcelle *vieille culture*. Ce handicap initial de la *défriche* a perduré pendant tout le cycle cultural 1996 avec notamment :

- Une densité racinaire et un indice de régularité racinaire toujours très inférieurs aux valeurs correspondantes relevées dans la parcelle 13 *vieille culture*.
- Un développement latéral moindre du système racinaire.

Cet *effet défriche* affectant défavorablement le développement du système racinaire n'a pas été constaté en 2^e année de culture où tous les paramètres racinaires sont pratiquement identiques et même supérieurs à ceux de la *vieille culture*.

En 1997, la pluviosité a été moins abondante et régulière qu'en 1996, ce qui peut expliquer les moindres performances constatées dans le développement du système racinaire par rapport à la parcelle 13/96 et notamment :

- Une pénétration plus faible en profondeur,
- Un développement latéral incomplet.

CONCLUSION

Cette étude montre que :

1°) La culture continue depuis dix ans n'affecte pas de façon défavorable les propriétés physiques du sol ni le développement du système racinaire du mil.

2°) Après la mise en culture de la jachère, un effet dépressif peut affecter l'implantation et le développement du mil. Cet effet est d'ailleurs connu empiriquement des agriculteurs qui préfèrent généralement implanter du sorgho sur défriche de jachère.

3°) Cet effet dépressif ne peut être attribué de façon certaine aux propriétés physiques du sol. La mise en évidence d'une différence significative dans la répartition de la macroporosité fonctionnelle entre *défriche* et *vieille culture* peut cependant apporter un élément d'explication.

4°) L'effet dépressif ne perdure pas et, dès la deuxième année de culture, le développement racinaire du mil est identique à celui que l'on observe dans la parcelle cultivée depuis dix ans.

Sur le plan méthodologique, nous avons montré qu'il peut être hasardeux de comparer des paramètres hydriques établis en régime permanent et en régime initial d'infiltration. Le choix de la méthode doit être réfléchi en fonction des résultats recherchés.

REMERCIEMENTS

Ils vont à ZONNE Tignandé, technicien pédologue expérimenté, dont le dévouement et la compétence, tant au champ qu'à la paillasse, ont grandement contribué à la réalisation de ce programme

BIBLIOGRAPHIE

- Affholder F., 1986 - Suivi multilocal de l'enracinement du sorgho au Mali. Conséquences sur la réserve utile racinaire. *Mémoire Diplôme Agronomie Tropicale, ENSAM, ENGREF, INA Paris-Grignon, multigr., 40 p. + annexes.*
- de Blic P., 1990 - L'examen du profil cultural : un outil pour mieux comprendre le comportement du sol soumis à des travaux aratoires. *Dans : Organic matter management and tillage in humid and subhumid Africa. IBSRAM Proceedings n°10, Bangkok, 385-399.*
- de Blic P. et Some N.A., 1997 - Etat structural d'horizons superficiels sableux sous culture ou jachère herbacée en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso). *Etude et Gestion des Sols, 4, 1, 17-24.*
- Bohm W., 1979 - Methods of studying root systems. *Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 188 p.*
- Cook F.J. et Broeren A., 1994 - Six methods for determining sorptivity and hydraulic conductivity with disc permeameters. *Soil Sci., 157 (1), 2-11.*
- C.P.C.S., 1967 - Classification des sols. *INRA, Paris, 87 p.*
- Dunn G.H. et Phillips R.E., 1991 - Macroporosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 817-823.*
- Floret C., Pontanier R. et Serpantié G., 1993 - La jachère en Afrique Tropicale. *UNESCO, Paris, (Dossier MAB 16), 86 p..*
- Gras R., 1988 - Physique du sol pour l'aménagement. *Masson, Paris, 587 p.*
- Guinko S., 1984 - Végétation de la Haute-Volta. *Thèse Doct. ès Sc. Nat., Univ. Bordeaux III, 318 p.*
- Hénin S., Gras R. et Monnier G., 1969 - Le profil cultural. L'état structural du sol et ses conséquences agronomiques. *2è édition, Masson, Paris, 332 p.*
- Massé J., 1989 - Les racines. *Perspectives agricoles, Tiré-à-part des n° 119, 122 et 128.*
- Manichon H., 1982 - L'action des outils sur le sol : appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. *Science du Sol, 3, 203-219.*
- Piéri C., 1989 - Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. *Ministère de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT, Paris, 444 p.*
- Reynolds W.D. et Elrick D.E., 1991 - Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 633-639.*
- Some N.A., 1996 - Les systèmes écologiques post-cultureux de la zone soudanienne (Burkina Faso). *Thèse Doct. ès Sc. Nat., Univ. ParisVI, 212 p.*

Tardieu F. et Manichon H., 1986 - Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II.- Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie*, 6 (5), 415-425.

Tardieu F. et Manichon H., 1987 - Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. II.- Croissance et disposition spatiale du système racinaire. *Agronomie*, 7 (3), 201-211.

Tardieu F., 1988 - Analysis of the spatial variability of maize root density. II.- Distance between roots. *Plant and soil*, 107, 267-272.

White I. et Perroux K.M., 1987 - Use of sorptivity to determine field soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 1093-1101.

White I. et Perroux K.M., 1989 - Estimation of unsaturated hydraulic conductivity from field sorptivity measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 324-329.

Winkel T., 1995 - Dans *Rapport d'activité de l'UR 35 pour l'année 1995*.

Zombre P., Madibaye D., Some N.A. et de Blic P., 1994 - Etude pédologique du terroir de Sobaka (forêt classée du Nazinon) - Texte et carte. *IRBET et ORSTOM, Ouagadougou*, 50 p.

ANNEXES

1 - Présentation

1a - Localisation géographique

1b - Caractéristiques analytiques de l'épipédon

2 - Méthodes

2a - Méthode d'étude in situ du système racinaire

2b - Mesure de la conductivité hydraulique, méthode Reynolds et Elrick

2c - Mesure de la sorptivité capillaire, méthode White et Perroux

2d - Estimation de la macroporosité, méthode Dunn et Philipps

2e - Caractérisation dimensionnelle de l'espace poral

3 - Données concernant la densité et la porosité

3a - Macroporosité, valeurs moyennes et écarts-types

3b - Macroporosité, comparaison des moyennes d'échantillons

3c - Porosité cylindre

4 - Données des mesures d'infiltration

4a - Infiltrations TRIMS, valeurs moyennes et écarts-types

4b - Infiltrations TRIMS, comparaisons entre moyennes

4c - Mesures de sorptivité

5 - Données relatives aux systèmes racinaires

5a - Parcelle 12 : profils racinaires

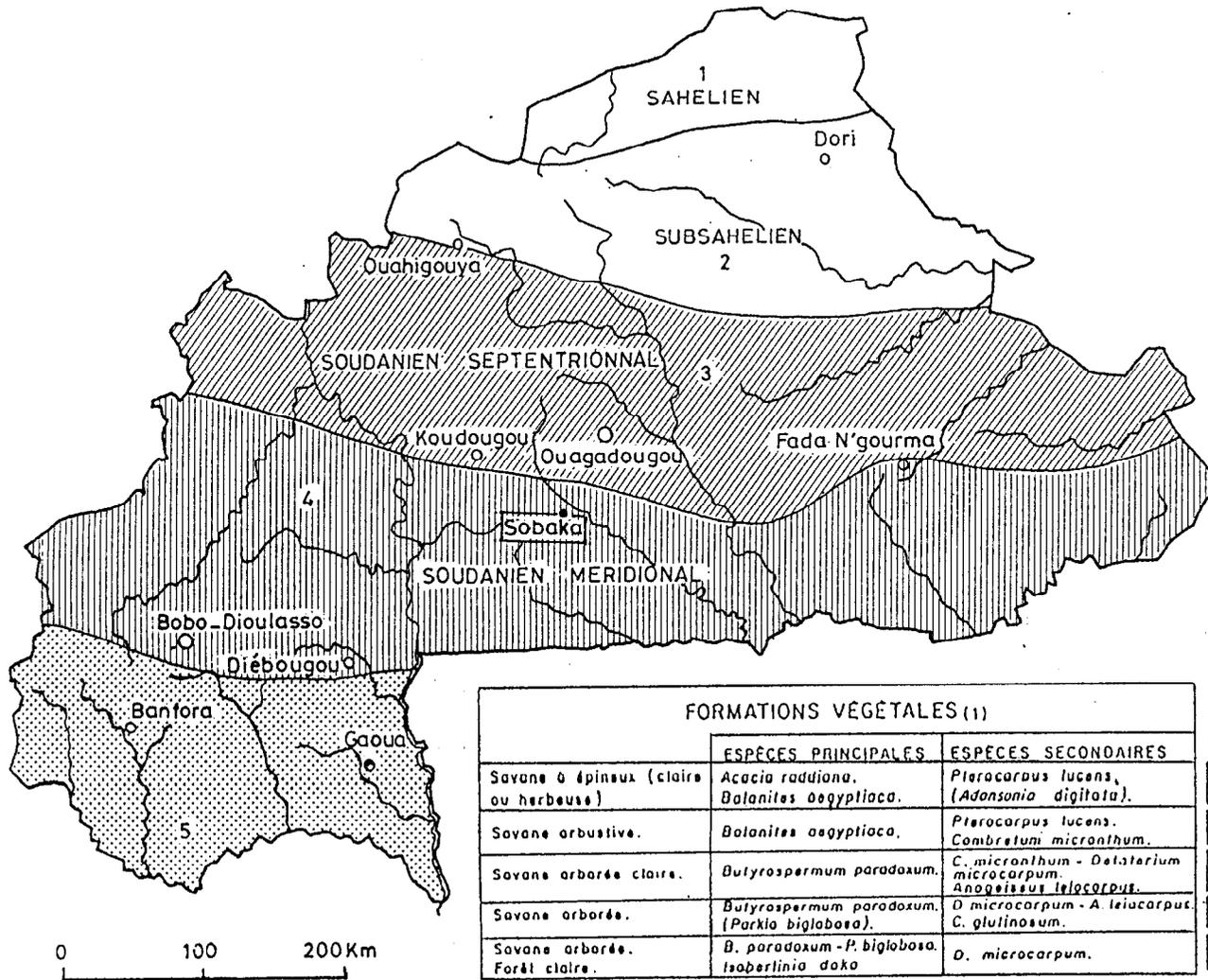
5b - Parcelle 13 : profils racinaires

5c - Indices synthétiques de distribution racinaire

5d - Indice de répartition latérale L2

5e - Deux exemples de profils racinaires

CARTE AGRO-PHYTO-CLIMATIQUE



	1	2	3	4	5
PETIT MIL	▴	▢	▨	▧	▩
ARACHIDE		▢	▨	▧	▩
NIÈBE		▢	▨	▧	▩
SORGHO			▨	▧	▩
PATATE			▨	▧	▩
SÈSAME			▨	▧	▩
COTON			▴	▧	▩
MAIS			▴	▧	▩
RIZ PLUVIAL				▧	▩
MANIOC				▧	▩
SOJA				▧	▩
IGNAME				▧	▩

	ESPÈCES PRINCIPALES	ESPÈCES SECONDAIRES	
Savane à épineux (clair ou herbeux)	<i>Acacia raddiana</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> .	<i>Pterocarpus lucens</i> , (<i>Adansonia digitata</i>).	1
Savane arbustive.	<i>Balanites aegyptiaca</i> .	<i>Pterocarpus lucens</i> , <i>Combretum micranthum</i> .	2
Savane arborée claire.	<i>Butyrospermum paradoxum</i> .	<i>C. micranthum</i> - <i>Delastarium microcarpum</i> , <i>Anogeissus leiocarpus</i> .	3
Savane arborée.	<i>Butyrospermum paradoxum</i> , (<i>Parkia biglobosa</i>).	<i>D. microcarpum</i> - <i>A. leiocarpus</i> , <i>C. glutinosum</i> .	4
Savane arborée. Forêt claire.	<i>B. paradoxum</i> - <i>P. biglobosa</i> , <i>Isaberrinia doko</i>	<i>D. microcarpum</i> .	5

Pluies	Température moyenne.	Longueur(2) de la saison des pluies	ETP/jour moyenne (Juil. Août Sept)
500 à 600 mm	29 °C	(70 jours	> 6 mm / jour
600 à 700 mm	29 à 28 °C	70 à 105 jours	6 à 5,4 mm/jour
700 à 950 mm	28 °C	105 à 130 jours	5,4 à 5,2 mm/jour
950 à 1100 mm	28 à 27 °C	130 à 150 jours	5,2 à 4,2 mm/jour
1100 à 1400 mm	27 à 26 °C	150 à 180 jours	4,8 à 4,5 mm/jour

(1) D'après M. TERRIBLE P.D. : Végétation de la Haute-Volta au 1/1000000.

(2) Période de végétation active

*EXTRAIT "CARTE DES MILIEUX NATURELS" S. GUILLOBEZ, 1985 (in SEDOGO 1993)

Caractéristiques analytiques de l'épipédon

Parcelle N°	Horizon 0-10 cm				Horizon 10-20 cm			
	12-DEF	13-MIL	14-JAC touffe	14-JAC hors touffe	12-DEF	13-MIL	14-JAC touffe	14-JAC hors touffe
Granulométrie %								
fraction < 2 μ	8.7	11.6	6.7	8.4	12.8	11.2	9.9	11.9
fraction 2-20 μ	10.1	9.2	4.9	3.9	8.5	7.3	4.9	3.5
fraction 20-50 μ	14.8	14.2	14.1	15.5	13.2	14.5	12.1	15.8
fraction 50-200 μ	26.0	26.6	34.5	29.2	24.5	27.7	30.5	26.3
fraction 200-2000 μ	40.4	38.4	39.8	43.0	41.0	39.3	42.6	42.5
Matière organique								
MO %	1.50	1.27	1.63	1.19	0.94	0.88	1.12	0.96
C orga %	0.87	0.74	0.95	0.69	0.55	0.52	0.65	0.56
N total %	0.81	0.72	0.79	0.64	0.47	0.47	0.58	0.49
Complexe d'échange (meq/100g)								
K	0.12	0.14	0.17	0.14	0.07	0.06	0.12	0.08
S	4.30	4.31	4.43	3.82	2.58	2.96	3.50	3.27
CEC	4.37	4.30	4.42	4.09	2.58	3.04	3.45	3.43
pH eau	6.55	6.50	6.55	6.55	6.30	6.25	6.45	6.35
pH KCl	5.60	5.50	5.60	5.45	5.00	5.05	5.15	4.85

UNE METHODE D'ETUDE *IN SITU* DES SYSTEMES RACINAIRES

adapté de Tardieu et Manichon (1986)

INTRODUCTION

Une méthode de cartographie *in situ* du système racinaire a été développée par les auteurs précités en vue d'établir, dans les conditions du champ cultivé, les relations entre l'état structural du sol et l'enracinement. Elle a été adaptée aux conditions culturales du terroir de Sobaka.

METHODE D'OBSERVATION DE L'ENRACINEMENT

1°) Echantillonnage

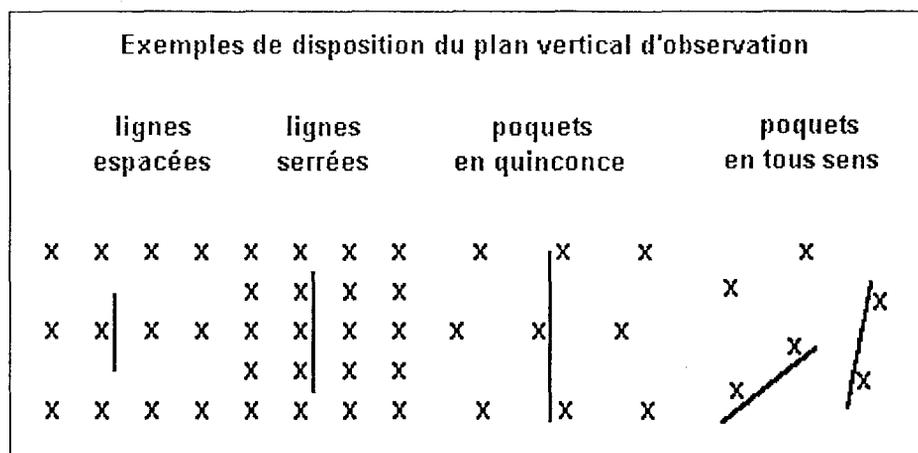
Les conditions du champ cultivé sont souvent marquées, en milieu paysannal traditionnel, par une forte hétérogénéité spatiale du peuplement végétal. Un problème de représentation se pose car le nombre de placettes étudié est forcément limité (méthode longue et destructrice).

Les placettes retenues pour l'observation du système racinaire ont été choisies de telle manière que les pieds étudiés aient des états de croissance similaires jugés représentatifs de l'état moyen de la parcelle.

2°) Technique utilisée

Pour chaque placette-échantillon, une fosse est creusée perpendiculairement à la ligne de semis, la face d'observation étant située à 5 cm en avant des poquets étudiés.

La largeur de la fosse est choisie de façon à englober une unité représentative du peuplement végétal. Le schéma suivant présente quelques exemples de disposition de la fosse d'observation en fonction des caractéristiques du champ :



La profondeur est fonction du stade auquel intervient l'observation : de 30 cm en début de cycle jusqu'à 80 cm en fin de cycle.

Après avoir préparé une surface plane verticale, les racines sont dégagées avec précaution sur un centimètre à l'aide d'un couteau et d'un soufflet.

La disposition des impacts de racines est ensuite relevée à l'aide d'une grille de maille carrée (5 cm de côté) placée contre le plan étudié.

Dans chaque case de la grille, on note le nombre de racines. On peut également (Tardieu et Manichon, 1986) attribuer une note de densité à l'intérieur de chaque case.

TRAITEMENT DES DONNEES

1°) Etablissement de cartes racinaires

Des exemples sont donnés en Annexe 5.

2°) Géométrie du système racinaire

Les paramètres explicatifs sont établis à l'échelle globale de la parcelle par regroupement des données relatives aux placettes-échantillon.

+ Régularité

Pour une couche de sol d'épaisseur donnée, on établit le rapport du nombre de cases contenant au moins une racine au nombre total de cases.

L'indice de régularité varie entre 0 (toutes les cases vides) et 1 (toutes les cases occupées).

+ *Courbe densité-profondeur* : Des exemples sont donnés en Annexe 5.

+ *Répartition latérale des racines*. Deux indices ont été calculés.

- *Indice L1* : C'est le pourcentage de racines relevées dans la tranche de sol située sous et au voisinage des lignes et correspondant à la moitié de la surface de mesure.

Un indice L1 voisin de 50% indique une répartition latérale homogène. Un indice supérieur à 50% indique une localisation préférentielle des racines au voisinage des lignes.

- *Indice L2* : C'est le rapport du pourcentage de racines présentes sous les lignes et dans la tranche de 5 cm de large jouxtant les lignes au pourcentage correspondant de la surface de mesure.

$$\text{Indice L2} = 100 \times (\% \text{ racines}) / (\% \text{ surface})$$

Plus l'indice se rapproche de 100, plus la répartition latérale est homogène.

BIBLIOGRAPHIE

Affholder F., 1986 - Suivi multilocal de l'enracinement du sorgho au Mali. Conséquences sur la réserve utile racinaire. *Mémoire Diplôme Agronomie Tropicale, ENSAM, ENGREF, INA Paris-Grignon, multigr.*, 40 p. + annexes.

Massé J., 1989 - Les racines. *Perspectives agricoles, Tiré-à-part des n° 119, 122 et 128.*

Tardieu F. et Manichon H., 1986 - Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II.- Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie*, 6 (5), 415-425.

Tardieu F. et Manichon H., 1987 - Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. I.- Modélisation d'états structuraux types de la couche labourée. *Agronomie*, 7 (2), 123-131.

Tardieu F. et Manichon H., 1987 - Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. II.- Croissance et disposition spatiale du système racinaire. *Agronomie*, 7 (3), 201-211.

DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE AVEC UN INFILTROMETRE A MEMBRANE POREUSE

Méthode de Reynolds et Elrick (1991)

Théorie

La méthode mise en oeuvre est fondée sur l'approximation de Wooding (1968) qui décrit une infiltration multidimensionnelle non confinée à partir d'un disque de rayon r :

$$q_o = (K_n - K_o) (1 + 4/\pi r \alpha) \quad (1)$$

q_o (LT^{-1}) flux d'infiltration en régime permanent, par unité de surface

α (L^{-1}) paramètre textural et structural correspondant à l'inverse de la longueur capillaire λ_c (ou encore L_c)

$K(h)$ (LT^{-1}) conductivité hydraulique fonction de h (tension de mesure)

L'indice "o" s'applique à la condition non saturée imposée au niveau du disque, tandis que l'indice "n" correspond aux conditions initiales.

L'approximation de Wooding est basée sur la relation exponentielle reliant la conductivité hydraulique à la tension (Gardner 1958) :

$$K(h) = K_{sat} \exp(\alpha h_o) \quad (2)$$

K_{sat} est la conductivité hydraulique à saturation

Si l'on mesure q_o pour plusieurs valeurs de h_o (Ankeny *et al.*, 1991 ; Reynolds et Elrick, 1991), les équations (1) et (2) permettent de calculer les paramètres α , K_{sat} et K_o .

Méthode de calcul

Lorsque K_n est très petit devant K_o (sols relativement secs), l'équation (1) devient :

$$q_o = K_o (1 + 4/\pi r \alpha) \quad (3)$$

En combinant (2) et (3), on peut écrire :

$$q_o = K_{sat} \exp(\alpha h_o) [1 + 4/\pi r \alpha] \quad (4)$$

qui peut encore s'écrire :

$$\ln q_o = \alpha h_o + \ln[(1 + 4/\pi r \alpha) K_{sat}] \quad (5)$$

L'équation (5) décrit une relation linéaire entre $\ln q_o$ et h_o . α peut être déterminé à partir de la pente de la droite. En toute rigueur, cette relation n'est linéaire que pour des intervalles (h_i, h_j) assez petits.

Si l'on opère à deux tensions h_1 et h_2 et que l'on mesure les flux d'infiltration q_1 et q_2 en régime permanent, on peut déterminer α à partir de la pente du segment de droite correspondant.

$$\alpha = [\ln(q_2/q_1)] / (h_2 - h_1) \quad (6)$$

K_{sat} est déterminé en reportant la valeur de α dans les équations (4) ou (5), pour q_1 ou q_2 .

Une fois α et K_{sat} connus, l'équation (2) fournit une estimation de $K(h)$, avec $h = h_1$ ou h_2 ou $(h_1 + h_2)/2$.

On opérera de la même manière pour les couples de potentiels de pression (h_2, h_3), (h_3, h_4),

La limitation théorique majeure de la méthode tient à l'obligation de $K_n \ll K_o$. Cela limite techniquement l'analyse à de faibles potentiels de pression (h_o élevé) appliqués à des sols relativement secs (h_n faible). Ce n'est pas un réel problème dans la mesure où l'on opère le plus souvent à des potentiels ≥ 0.15 m dans des sols dont l'humidité n'excède pas la capacité au champ (h_n de l'ordre de -1 m).

Si l'on considère que la constante α est l'équivalent de $1/\lambda_c$, on peut, pour chacun des couples de tensions (h_i, h_j), calculer les paramètres suivants en utilisant les expressions simplifiées de White et Sully (1987).

Sorptivité capillaire : $S_o = \text{Racine} [\lambda_c(W_o - W_n)K_o/b]$

Rayon poral caractéristique moyen : λ_m (ou R_m) = $\rho \alpha / \sigma g$

Echelle de temps gravitaire : $t_{\text{grav}} = (S_o/K_o)^2$

Echelle de temps géométrique : $t_{\text{géom}} = [r(W_o - W_n)S_o]^2$

en prenant la constante $b = 0,55$; σ est la tension superficielle de l'eau (MLT^{-2}), ρ est la masse spécifique de l'eau (ML^{-3}) et g est l'accélération de la pesanteur (LT^{-2}). λ_c est la longueur capillaire (L-1). W_o et W_n sont les teneurs en eau volumiques dans les conditions de la mesure et dans les conditions initiales respectivement.

Conduite des mesures

Cf la méthode de White et Perroux (*annexe 2c*). Etant donné que les calculs ne nécessitent pas de connaître la teneur en eau volumique, les mesures ne sont pas destructrices et peuvent être effectuées, aux différentes tensions utilisées, sans changer l'appareil de place.

BIBLIOGRAPHIE

- Ankeny M.D. *et al.* - 1991 - Simple field method for determining hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 : 467-470.
- Cook F.J., Broeren A. - 1994 - Six methods for determining sorptivity and hydraulic conductivity with disc permeameters. *Soil Sci.*, 157 : 2-10.
- Gardner W.R. - 1958 - Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.*, 85 : 228-232.
- Reynolds W.D., Elrick D.E. - 1991 - Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 : 633-639.
- White I., Sully M.J. - 1987 - Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. *Water Resour. Res.*, 23 : 1514-1522.
- Wooding R.A. - 1968 - Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resour. Res.*, 4 : 1259-1273.

ESTIMATION DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE NON SATUREE A PARTIR DE LA MESURE DE LA SORPTIVITE CAPILLAIRE IN SITU

Méthode de White et Perroux (1989)

Sorptivité capillaire

La capillarité exerce une influence dominante sur le flux d'infiltration initial émanant d'une surface circulaire alimentée en eau sous une pression effective h_o . Pour des temps d'infiltration assez petits, on peut écrire :

$$\lim_{t \rightarrow 0} [Q(t)/\pi r^2] = 1/2 S_o t^{-1/2}$$

$Q(t)$ est le flux émanant de la surface circulaire, r le rayon de celle-ci et t le temps. Le coefficient de proportionnalité $S(h_o, h_n)$ a été appelé *sorptivité capillaire* par Philip (1957). Les indices n et o correspondent respectivement aux conditions initiale et finale. L'intégration de l'équation précédente par rapport à t donne :

$$I = S_o t^{1/2}$$

où I représente l'infiltration cumulée (volume cumulé/ πr^2).

S_o correspond à la pente de la droite $I(t^{1/2})$ pour les premiers stades de l'infiltration (habituellement entre 30-45 s et 180 s). Sa valeur peut être obtenue par un calcul de régression.

La sorptivité capillaire peut être définie comme une mesure de l'entrée de l'eau dans un sol non saturé. Fonction de la teneur en eau initiale et de la teneur en eau à l'interface d'absorption, elle est étroitement reliée à la conductivité hydraulique et à la diffusivité.

Si l'on fait varier la pression d'alimentation en eau h_o , la sorptivité capillaire peut être utilisée pour caractériser la configuration porale du sol et la stabilité de cette configuration sous l'effet des pluies.

Conductivité hydraulique non saturée

White et Perroux (1989) utilisent l'équation suivante pour calculer $K(h)$ à partir de 2 mesures de la sorptivité, S_1 et S_2 , effectuées à 2 pressions négatives, h_1 et h_2 :

$$K_o = K(h_m) = (S_m \Delta S) / (\Delta \theta \Delta h) - [(S_m / 2 \Delta \theta)^2 (\theta_1 - \theta_2) / \Delta h]$$

$$S_o = S_m = (S_1 + S_2) / 2 \quad \Delta S = S_1 - S_2 \quad \Delta \theta = (\theta_1 + \theta_2) / 2 - \theta_n$$

$$h_o = h_m = (h_1 + h_2) / 2 \quad \Delta h = h_1 - h_2$$

θ_1 et θ_2 sont les teneurs en eau volumiques correspondant respectivement aux pressions h_1 , h_2 . θ_n est la teneur en eau volumique initiale.

Paramètres λ_c et λ_m

La longueur capillaire λ_c (ou encore L_c) est une échelle de longueur macroscopique qui exprime l'importance relative des forces capillaires et gravitaires agissant sur la pénétration de l'eau dans le sol. Elle est estimée à partir de la relation suivante (White et Perroux, 1989) :

$$\lambda_c = 2b \Delta h / [(S_1/S_2)^2 - 1 - (\theta_1 - \theta_2) / 2 \Delta \theta]$$

b est compris entre 0,5 et $\pi/4$. On retient habituellement, pour les sols dits normaux, la valeur 0,55.

Seuls K_o , θ_o , θ_n et λ_c sont nécessaires pour décrire, avec une étonnamment bonne approximation, l'infiltration multi-dimensionnelle (*White et Perroux, 1987*).

Il est également possible de définir (*Philip, 1987*) une échelle de longueur microscopique λ_m (ou encore R_m) inversement proportionnelle à λ_c :

$$\lambda_m = (\sigma/\rho.g).(1/\lambda_c)$$

σ est la tension superficielle, ρ la masse volumique de l'eau et g l'accélération de la pesanteur.

λ_m (autrement dit le "rayon poral moyen") définit une dimension moyenne de pores hydrauliquement fonctionnels à la pression h_o .

Le rapport $\sigma/\rho.g$ prend les valeurs suivantes, en fonction de la température de l'eau, lorsque λ_m est exprimé en mm :

température °C	$\sigma/\rho.g$
20	7,42
25	7,35
30	7,27
35	7,20
40	7,14

avec $g = 9,81 \text{ m s}^{-1}$

Echelles de temps caractéristiques

$t_{\text{géom}}$ représente le temps nécessaire pour que l'effet imposé par la géométrie à l'écoulement l'emporte sur celui de la capillarité exercée par le sol, c'est à dire pour que le caractère multidirectionnel de l'écoulement l'emporte sur le caractère unidirectionnel vertical.

$$t_{\text{géom}} = [r(\theta_o - \theta_n)/S_o]^2$$

θ_o et θ_n sont les teneurs en eau volumiques aux conditions initiale et finale.

t_{grav} est le temps nécessaire pour que l'effet de la gravité sur le processus d'infiltration devienne aussi important que celui de la capillarité.

$$t_{\text{grav}} = (S_o/K_o)^2$$

Unités utilisées

$Q(t)/\pi.r^2$	m s^{-1}	mm s^{-1}
S_o	$\text{m s}^{-1/2}$	$\text{mm h}^{-1/2}$
K	m s^{-1}	mm h^{-1}
t	s	h
l	m	mm
θ	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
h	m	mm
λ_c, λ_m	m	mm

Conduite des mesures

La première opération consiste en une préparation soignée de l'emplacement de la mesure. Après enlèvement des débris végétaux à l'aide d'un pinceau, une fine couche (1 à 2 mm d'épaisseur) de sable grossier est déposée en surface puis aplanie au moyen d'une taloche de diamètre légèrement supérieur à celui de l'embase. Cette couche a pour rôle de masquer les micro-aspérités et d'assurer un contact hydraulique horizontal aussi parfait que possible entre la membrane et le sol (Vauclin et Chopart, 1992).

On met en place l'infiltromètre, robinet d'entrée d'air fermé, en le pressant fermement sur le sable. On dispose éventuellement un anneau de protection contre le vent de façon à éviter le dessèchement de la membrane, en cas de faibles débits d'infiltration, et sa pollution par les poussières et débris végétaux.

On note le niveau de départ dans le réservoir, on ouvre le robinet d'entrée d'air et on démarre le chronomètre dès la montée de la première bulle dans le réservoir. On effectue alors les lectures de niveau d'eau dans le réservoir selon le pas de temps choisi (par exemple toutes les 15" jusqu'à 3', puis toutes les 30" jusqu'à 5').

A la fin de la mesure, on ferme le robinet d'air, on ôte l'infiltromètre, on écarte le sable de contact et on prélève immédiatement un échantillon de sol pour la détermination de la teneur en eau. On veille soigneusement à limiter l'échantillonnage à la zone humidifiée. On prélève également un échantillon de sol au voisinage immédiat de l'emplacement de mesure pour déterminer la teneur en eau initiale.

Les teneurs en eau massiques sont converties en teneurs volumiques. On mesure donc la densité apparente du sol en utilisant, par exemple, des cylindres de 50 mm de diamètre pour 30 mm de haut.

Références bibliographiques

- Philip J.R., 1957 - The theory of infiltration : 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.*, 84, 257-264.
- Philip J.R., 1986 - Linearized unsteady multidimensional infiltration. *Water Resources Research*, 23, 1514-1522.
- Vauclin M., Chopart J.L., 1992 - L'infiltrométrie multidisques pour la détermination in situ des caractéristiques hydrodynamiques de la surface d'un sol gravillonnaire de Côte d'Ivoire. *L'Agronomie Tropicale*, 46 (4), 11-27.
- White I., Perroux K.M., 1987 - Use of sorptivity to determine field soil hydraulic conductivities. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 1093-1101.
- White I., Perroux K.M., 1989 - Estimation of unsaturated hydraulic conductivity from field sorptivity measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 324-329.
- White I., Sully M.J., 1987 - Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. *Water Resources Research*, 22, 1717-1727.

ESTIMATION DE LA MACROPOROSITE

méthode de Dunn et Philipps (1991)

Mode de calcul

On calcule un nombre moyen de pores $N(r)$ et une porosité moyenne ε_m en tenant compte des limites inférieure et supérieure de la classe des pores.

$$N(r) = I_m * 8\mu/\rho\pi g * A$$

$$\text{avec } A = [\int_a^b r^{-4} dr / \int_a^b (dr)]$$

μ est la viscosité de l'eau (M L⁻¹ T⁻¹)

ρ est la masse spécifique de l'eau (M L⁻³)

g est l'accélération de la pesanteur (L T⁻²)

$$\varepsilon_m = N(r) * \pi * B$$

$$\text{avec } B = [\int_a^b r^2 dr / \int_a^b (dr)]$$

a et b sont les rayons mini et maxi (m) de la classe de pores envisagée.

I_m est la différence entre les flux d'infiltration correspondant aux pores de rayon a et de rayon b (m s⁻¹).

$$\int_a^b r^{-4} dr = -b^{-3}/3 - (-a^{-3}/3) = 1/3a^3 - 1/3b^3 = (b^3 - a^3) / 3a^3b^3$$

$$\int_a^b r^2 dr = (b^3 - a^3) / 3$$

$$\int_a^b (dr) = b - a$$

$$\text{d'où } A = (b^3 - a^3) / 3a^3b^3(b - a)$$

$$B = (b^3 - a^3) / 3(b - a)$$

$$\varepsilon_m = \pi * I_m / \pi * 8\mu/\rho g * A * B$$

$$\varepsilon_m = I_m * 8\mu/\rho g * [1/9a^3b^3 * \{(b^3 - a^3) / (b - a)\}^2]$$

	à 25°C :	à 30°C :	à 35°C	
$\mu =$	89.0 * 10 ⁻⁵	79.8 * 10 ⁻⁵	71.9 * 10 ⁻⁵	Kg m ⁻¹ s ⁻¹ (poiseuilles) Kg m ⁻³ m s ⁻²
$\rho =$	0.99708 * 10 ³	0.99568 * 10 ³	0.99406 * 10 ³	
$g =$	9.81	9.81	9.81	

Exemple : Opération Précédent Jachère

a) Tension 10 à 30 mm

$$a = 0.50 \text{ mm} = 5 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$b = 1.50 \text{ mm} = 15 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$[1/9a^3b^3 * \{(b^3 - a^3) / (b - a)\}^2] = 0.278 * 10^7$$

$$\text{à } 30^{\circ}\text{C} : \quad \varepsilon_m = I_m * (8*79.8*10^{-5}) / (0.99568*10^3*9.81) * 0.278*10^7$$

$$\varepsilon_m = 1.818 * I_m \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$\varepsilon_m = 181.87 * I_m \text{ (\%)}$$

b) Tension 30 à 60 mm

$$a = 0.25 \text{ mm} = 2.5 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$b = 0.50 \text{ mm} = 5 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$[1/9a^3b^3 * \{b^3 - a^3\}(b - a)^2] = 0.109 * 10^8$$

$$\text{à } 30^{\circ}\text{C} : \quad \varepsilon_m = I_m * (8*79.8*10^{-5}) / (0.99568*10^3*9.81) * 0.109*10^8$$

$$\varepsilon_m = 7.117 * I_m \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$\varepsilon_m = 711.7 * I_m \text{ (\%)}$$

Références bibliographiques

Dunn G.H., Philipps, 1991 - Macroporosity of a well drained soil under no-till and conventional tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 : 817-823.

Logsdon S.D. & al, 1993 - Macropore characterization by indirect methods. *Soil Sci.*, 155 (5) : 316-324.

Watson K.W., Luxmoore R.J., 1986 - Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 578-582.

Wilson G.V., Luxmoore R.J., 1988 - Infiltration, macroporosity and mesoporosity distributions on two forested watersheds. *Soil Sci. Soc. AM. J.*, 52 : 329-335.

CARACTERISATION DIMENSIONNELLE DE L'ESPACE PORAL AU MOYEN DE LA RELATION pF - HUMIDITE

PRINCIPE

Des échantillons non remaniés, préalablement saturés d'eau et disposés sur un support héli-perméable, sont mis à ressuyer sous l'action d'une succion ou d'une pression déterminée. L'eau en excès est éliminée jusqu'à la réalisation d'un équilibre entre la force appliquée et la force de rétention de l'eau par le sol. Cet équilibre définit un diamètre limite de pore Φ_m tel que tous les pores de diamètre supérieur ou égal à Φ_m soient drainés. La teneur en eau correspondant à l'équilibre mesure donc le volume des pores de diamètre $< \Phi_m$ et l'on peut, en répétant l'opération pour différentes valeurs de pF établir la distribution du volume poral suivant la taille des pores.

MATERIEL

Pour les $pF < 2.0$ ($Z = 102$ cm), les échantillons sont disposés sur un bac à sable relié à un plan d'eau à niveau réglable.

Pour les $pF > 2.0$, les échantillons sont disposés sur des plaques de céramique poreuse et soumis dans une enceinte fermée adéquate à une pression pneumatique déterminée

MODE OPERATOIRE

On opère sur échantillons non remaniés prélevés à l'aide de cylindres de 100 cc (diamètre 5 cm x hauteur 5 cm) à bord coupant. Les prélèvements sont effectués en sol humide et les cylindres sont ensuite obturés à l'aide de bouchons en plastique.

1 - Après enlèvement des bouchons, l'extrémité biseautée est munie d'une étamine maintenue par un bracelet de caoutchouc. Les cylindres sont alors disposés sur le bac à sable (par séries de 30) et mis à saturer pendant la nuit. Le niveau d'eau est maintenu au 0 de la règle, préalablement ajusté à mi-hauteur des cylindres.

2 - On calcule la valeur de succion Z (hauteur d'eau en cm) ou la pression P (kPa) à appliquer en fonction du diamètre poral limite Φ_m (μm) que l'on souhaite caractériser et en tenant compte de la température de l'eau :

. à 20°C	$Z = 2966 / \Phi_m$	$P = 290.6 / \Phi_m$
. à 25°C	$Z = 2934 / \Phi_m$	$P = 287.5 / \Phi_m$
. à 30°C	$Z = 2902 / \Phi_m$	$P = 284.4 / \Phi_m$
. à 35°C	$Z = 2868 / \Phi_m$	$P = 281.0 / \Phi_m$

3 - Après saturation, la succion est réglée à la valeur choisie au moyen du flacon à trop-plein et maintenue pendant 3 jours. Les échantillons sont alors pesés, puis replacés sur le bac, un jet de pissette en surface permettant d'assurer un bon contact hydrique.

4 - La séquence saturation-ressuyage est répétée pour chacune des valeurs de succion désirées. On opérera de préférence suivant une gamme croissante de succions. A la fin de la dernière séquence, les échantillons sont préparés pour les ressuyages sous pression pneumatique, ou bien séchés à 105°C et pesés.

5 - Les cylindres sont disposés sur une plaque poreuse préalablement saturée d'eau et mis à saturer pendant la nuit. La plaque est ensuite transférée dans l'enceinte fermée et soumise à la pression désirée. L'obtention de l'équilibre (cessation d'écoulement d'eau)

demande une semaine environ. Les échantillons sont ensuite pesés, replacés sur la plaque en assurant un bon contact hydrique (jet de pissette) et remis en saturation.

6 - A la fin de la dernière séquence saturation-ressuyage sous pression, les échantillons sont séchés à 105°C et pesés.

CALCULS

Soit W_1 le poids de l'échantillon humide (après correction pour le poids du cylindre vide + étamine + bracelet de caoutchouc).

Soit W_2 le poids de l'échantillon sec.

On obtient immédiatement la densité apparente d_a en divisant le poids de l'échantillon par son volume (100 cc) :

$$d_a = W_2 / 100$$

$$\text{Teneur en eau pondérale (g)} = (W_1 - W_2)$$

$$\text{Teneur en eau volumique (cc)} = (W_1 - W_2) d_a$$

$$= (W_1 - W_2) W_2 / 100$$

DOMAINE DE MESURE

Théoriquement, depuis pF 0 .

En pratique, la hauteur de l'échantillon (5 cm) entraîne une certaine imprécision des mesures pour les pF < 1,5.

A 25°C, par exemple, si l'on désire caractériser le volume des pores de diamètre < 200 μm au centre de l'échantillon, il faut appliquer une succion $Z = 14,6$ cm. La succion appliquée au sommet de l'échantillon est alors égale à $14,6 + 2,5 = 17,1$ cm correspondant à $\Phi_m = 171$ μm . De même, à la base de l'échantillon, $Z = 14,6 - 2,5 = 12,1$ cm avec $\Phi_m = 242$ μm .

MACROPOROSITE par mesure de pF au bac à sable

Valeurs moyennes et écarts types

n	densité appar.	porosité totale	porosité >200 μ	porosité 200-50 μ	porosité 50-10 μ	porosité <10 μ	porosité en fonction de la porosité totale				
							porosité >200 μ	porosité 200-50 μ	porosité 50-10 μ	porosité <10 μ	
Mil 00 30											
moyenne	1.54	40.8	11.3	6.6	6.8	16.1	27.5	16.2	16.7	39.5	
écartype	0.05	1.9	2.0	0.9	0.7	1.2	4.0	2.1	1.6	3.6	
Mil 10 30											
moyenne	1.56	39.4	11.1	7.9	5.6	15.1	28.2	20.0	14.3	37.5	
écartype	0.05	2.0	2.2	1.3	0.6	0.9	4.8	2.9	1.8	5.8	
Déf 00 30											
moyenne	1.50	40.5	11.3	6.0	7.0	16.1	27.8	14.9	17.4	39.9	
écartype	0.06	2.2	2.1	1.1	0.7	1.2	4.2	2.8	2.0	3.1	
Déf 10 30											
moyenne	1.54	39.7	12.3	6.9	5.4	15.1	30.8	17.3	13.5	38.3	
écartype	0.07	2.6	2.4	1.2	0.5	0.7	3.8	2.5	1.5	3.5	
Jac 00 15											
moyenne	1.60	38.3	9.4	5.2	5.9	17.9	24.3	13.4	15.5	46.7	
écartype	0.05	2.0	1.9	0.9	1.3	1.5	4.2	1.8	3.7	4.2	
Jac 10 14											
moyenne	1.56	40.0	11.6	7.3	5.0	16.1	28.9	18.1	12.5	40.5	
écartype	0.05	2.0	1.7	0.8	0.5	0.7	2.9	1.5	1.4	3.4	

Evaluation de l'effet touffe sous jachère

Jac 00 CT 7										
moyenne	1.58	38.9	8.9	5.5	5.7	18.8	22.8	14.1	14.7	48.5
écartype	0.07	2.6	2.0	1.2	1.5	1.1	3.9	2.2	4.2	4.2
Jac 00 HT 8										
moyenne	1.62	37.8	9.8	4.9	6.1	17.0	25.7	12.9	16.3	45.1
écartype	0.03	1.3	1.9	0.3	1.1	1.4	4.1	1.2	3.3	3.9
Jac 10 CT 6										
moyenne	1.58	39.0	10.7	7.0	5.1	16.3	27.3	17.8	13.0	41.9
écartype	0.05	2.0	1.7	0.9	0.3	0.7	3.1	1.7	1.0	3.8
Jac 10 HT 8										
moyenne	1.55	40.8	12.3	7.5	4.9	16.0	30.1	18.4	12.1	39.3
écartype	0.05	1.7	1.4	0.7	0.6	0.7	2.3	1.3	1.6	2.7

t Student Contre touffe // Hors touffe

0-10 cm	-1.421 ns	1.073 ns	-0.823 ns	1.462 ns	-0.677 ns	2.630 *	-1.414 ns	1.326 ns	-0.834 ns	1.615 ns
10-20 cm	1.308 ns	-1.791 ns	-1.981 ns	-1.305 ns	0.394 ns	0.694 ns	-1.968 ns	-0.840 ns	1.177 ns	1.520 ns

MACROPOROSITE par mesure de pF au bac à sable

Comparaison des moyennes d'échantillons

Densité apparente

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	1.54				
Déf 00	1.50	**			
Jac 00	1.60	***	***		
Mil 10	1.56	ns			
Déf 10	1.54		*	ns	
Jac 10	1.56			*	ns

Porosité totale

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	40.8				
Déf 00	40.5	ns			
Jac 00	38.3	***	**		
Mil 10	39.4	**			
Déf 10	39.7		ns	ns	
Jac 10	40.0		*	ns	ns

Porosité >200µ

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	11.3				
Déf 00	11.3	ns			
Jac 00	9.4	**	**		
Mil 10	11.1	ns			
Déf 10	12.3		ns	*	
Jac 10	11.6			**	ns

Porosité 200-50µ

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	6.6				
Déf 00	6.0	*			
Jac 00	5.2	***	*		
Mil 10	7.9	***			
Déf 10	6.9		**	**	
Jac 10	7.3			***	ns

Porosité 50-10µ

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	6.8				
Déf 00	7.0	ns			
Jac 00	5.9	**	***		
Mil 10	5.6	***			
Déf 10	5.4		***	ns	
Jac 10	5.0			*	**

Porosité <10µ

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	16.1				
Déf 00	16.1	ns			
Jac 00	17.9	***	***		
Mil 10	15.1	***			
Déf 10	15.1		***	ns	
Jac 10	16.1			***	***

Porosité >200µ (en % de la porosité totale)

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	27.5				
Déf 00	27.8	ns			
Jac 00	24.3	*	*		
Mil 10	28.2	ns			
Déf 10	30.8		**	**	
Jac 10	28.9			**	ns

Porosité 200-50µ (en % de la porosité totale)

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	16.2				
Déf 00	14.9	*			
Jac 00	13.4	***	ns		
Mil 10	20.0	***			
Déf 10	17.3		***	***	
Jac 10	18.1			***	*

Porosité 50-10µ (en % de la porosité totale)

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	16.7				
Déf 00	17.4	ns			
Jac 00	15.5	ns	*		
Mil 10	14.3	***			
Déf 10	13.5		***	ns	
Jac 10	12.5			**	**

Porosité <10µ (en % de la porosité totale)

	Mil 00	Déf 00	Jac 00	Mil 10	Déf 10
Mil 00	39.5				
Déf 00	39.9	ns			
Jac 00	46.7	***	***		
Mil 10	37.5	ns			
Déf 10	38.3		ns	ns	
Jac 10	40.5			***	ns

$P > 0.05$
ns

$0.05 < P < 0.01$
*

$0.01 < P < 0.001$
**

$P < 0.001$

Porosité cylindre %

Parcelle 13/97

Parcelle 12/97

Août 1997

Profil	Interligne	Ligne	moyenne profil	écartype profil
13/97-01	39.0	41.6	39.3	2.2
	37.7	42.9		
	36.7	39.8		
	39.8	36.8		
13/97-02	39.5	38.8	39.0	1.2
	40.1	37.2		
	38.6	38.0		
	38.7	41.0		
13/97-03	40.2	40.8	40.0	1.5
	40.6	41.6		
	38.7	41.6		
	37.7	38.7		
moyenne	38.9	39.9		
écartype	1.2	2.0		
tous profils			39.4	1.7

Août 1997

Profil	Interligne	Ligne	moyenne profil	écartype profil
12/97-01	40.9	46.6	41.6	2.4
	39.3	42.3		
	42.7	39.2		
	41.7	40.1		
12/97-02	40.0	39.7	40.4	1.8
	40.5	40.6		
	42.3	41.8		
	41.9	36.7		
12/97-03	35.1	37.0	38.2	2.0
	36.4	41.0		
	40.4	38.6		
	38.7	38.0		
moyenne	40.0	40.1		
écartype	2.3	2.7		
tous profils			40.1	2.5

Septembre 1997

Profil	Interligne	Ligne	moyenne profil	écartype profil
13/97-04	39.6	45.8	40.3	3.2
	35.6	41.9		
	38.0	43.3		
	38.3	39.8		
13/97-05	41.2	42.7	43.0	2.8
	42.7	43.9		
	40.8	46.9		
	39.1	46.7		
13/97-06	43.9	45.9	45.0	0.9
	45.3	46.0		
	44.8	45.8		
	44.7	43.9		
moyenne	41.2	44.4		
écartype	3.1	2.2		
tous profils			42.8	3.1

Septembre 1997

Profil	Interligne	Ligne	moyenne profil	écartype profil
12/97-04	42.4	43.3	42.2	2.0
	39.2	43.3		
	41.1	44.7		
	39.5	43.8		
12/97-05	40.6	45.4	42.4	3.8
	39.4	46.2		
	39.1	46.4		
	37.1	45.3		
12/97-06	39.8	45.7	42.8	3.8
	41.7	46.2		
	37.6	46.2		
	38.3	46.6		
moyenne	39.7	45.3		
écartype	1.6	1.2		
tous profils			42.5	3.2

Octobre 1997

Profil	Interligne	Ligne	moyenne profil	écartype profil
13/97-07	39.1	43.6	45.1	1.5
	39.6	45.2		
	37.0	46.5		
13/97-08	40.9	41.9	44.8	2.6
	37.6	45.6		
	39.7	46.8		
13/97-09	42.6	43.7	44.0	0.4
	45.6	44.0		
	40.0	44.4		
moyenne	40.2	44.6		
écartype	2.6	1.6		
tous profils			42.4	3.1

Octobre 1997

Profil	Interligne	Ligne	moyenne profil	écartype profil
12/97-07	39.0	38.9	43.5	4.1
	38.3	46.7		
	40.2	44.9		
12/97-08	42.8	52.7	46.4	5.8
	41.8	41.2		
	41.1	45.3		
12/97-09	42.0	47.2	44.1	2.9
	41.5	41.5		
	39.5	43.7		
moyenne	40.7	44.7		
écartype	1.5	4.1		
tous profils			42.7	3.6

INFILTRATIONS TRIMS EN REGIME PERMANENT

valeurs moyennes et écarts-types

n	q10 mm/h	q30 mm/h	q60 mm/h	K10 mm/h	K30 mm/h	K60 mm/h	Tension 10-30 mm		Tension 30-60 mm		
							Rm µm	Poros %	Rm µm	Poros %	
Mil 00 13	moyenne	46	32	25	16	9	5	127	0.0007	61	0.0016
	écartype	15.0	8.5	7.0	9.5	3.0	1.5	63	0.0005	19	0.0008
Mil 10 13	moyenne	80	49	35	35	17	9	173	0.0016	87	0.0028
	écartype	31.5	15.5	12.5	18.5	5.5	2.5	57	0.0009	16	0.0007
Déf 00 13	moyenne	39	26	20	15	8	4	157	0.0007	63	0.0011
	écartype	14.0	9.0	7.0	6.5	3.0	1.5	40	0.0003	16	0.0005
Déf 10 13	moyenne	58	38	25	23	13	7	153	0.0010	100	0.0025
	écartype	22.0	11.5	7.0	12.0	5.5	2.5	50	0.0006	26	0.0011
Jac CT 10	moyenne	60	36	25	26	12	7	173	0.0012	87	0.0021
	écartype	32.5	16.5	11.5	19.5	6.0	3.5	87	0.0010	35	0.0012
Jac HT 8	moyenne	27	22	17	7	5	3	83	0.0003	57	0.0009
	écartype	6.5	4.5	4.0	3.5	1.0	0.5	39	0.0002	10	0.0002

q10	-	Flux d'infiltration à la tension 10 mm
q30	-	Flux d'infiltration à la tension 30 mm
q60	-	Flux d'infiltration à la tension 60 mm
K10	-	Conductivité hydraulique à la tension 10 mm
K30	-	Conductivité hydraulique à la tension 30 mm
K60	-	Conductivité hydraulique à la tension 60 mm
Rm	-	Rayon poral caractéristique moyen
Poros	-	Macroporosité fonctionnelle (méthode Dunn)

Mil 00	-	Vieux champ de mil, mesures en surface
Mil 10	-	Vieux champ de mil, mesures à 10 cm de profondeur
Déf 00	-	Mil sur défriche 96, mesures en surface
Déf 10	-	Mil sur défriche 96, mesures à 10 cm de profondeur
Jac CT	-	Jachère à andropogonées, mesures en surface contre touffe
Jac HT	-	Jachère à andropogonées, mesures en surface hors touffe

Infiltrations TRIMS sur les parcelles 13/96 (Vieux Mil), 12/96 (Défriche), 14/96 (Jachère)

comparaisons entre moyennes

Rayon poral caractéristique moyen R_m (μm)

tension 10 à 30 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	127					
Déf 00	157	ns				
Jac HT	83	ns	***			
Jac CT	173	ns	ns	*		
Mil 10	173	ns			ns	
Déf 10	153		ns		ns	ns

Rayon poral caractéristique moyen R_m (μm)

tension 30 à 60 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	61					
Déf 00	63	ns				
Jac HT	57	ns	ns			
Jac CT	87	*	*	*		
Mil 10	87	***			ns	
Déf 10	100		***		ns	ns

Flux d'infiltration q_{10} (mm/h)

tension 10 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	46					
Déf 00	39	ns				
Jac HT	27	**	*			
Jac CT	60	ns	*	*		
Mil 10	80	**			***	
Déf 10	58		**		ns	ns/*

Conductivité hydraulique K_{10} (mm/h)

tension 10 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	16					
Déf 00	15	ns				
Jac HT	7	*	**			
Jac CT	26	ns	ns	*		
Mil 10	35	**			ns	
Déf 10	23		ns/*		ns	ns

Flux d'infiltration q_{30} (mm/h)

tension 30 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	32					
Déf 00	26	ns				
Jac HT	22	**	ns			
Jac CT	36	ns	ns	*		
Mil 10	49	**			ns	
Déf 10	38		**		ns	*

Conductivité hydraulique K_{30} (mm/h)

tension 30 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	9					
Déf 00	8	ns				
Jac HT	5	**	*			
Jac CT	12	ns	*	**		
Mil 10	17	***			ns	
Déf 10	13		**		ns	ns

Flux d'infiltration q_{60} (mm/h)

tension 60 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	25					
Déf 00	20	ns				
Jac HT	17	*	ns			
Jac CT	25	ns	ns	ns		
Mil 10	35	*			ns	
Déf 10	25		ns		ns	*

Conductivité hydraulique K_{60} (mm/h)

tension 60 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	5					
Déf 00	4	ns				
Jac HT	3	**	ns			
Jac CT	7	ns	*	**		
Mil 10	9	***			ns	
Déf 10	7		***		ns	ns

Porosité fonctionnelle % ($\cdot 10^4$)

tension 10 à 30 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	7					
Déf 00	7	ns				
Jac HT	3	*	**			
Jac CT	12	ns	ns	**		
Mil 10	16	**	ns		ns	
Déf 10	10				ns	ns

Porosité fonctionnelle % ($\cdot 10^4$)

tension 30 à 60 mm

		Mil 00	Déf 00	Jac HT	Jac CT	Mil 10
Mil 00	16					
Déf 00	11	ns				
Jac HT	9	ns	ns			
Jac CT	21	ns	*	**		
Mil 10	28	***			ns	
Déf 10	25		***		ns	ns

$P > 0.05$
ns

$0.05 < P < 0.01$
*

$0.01 < P < 0.001$
**

$P < 0.001$

Mesures de Sorptivité

Parcelle 12/96

Mai 1997

h mm	h*	Δh	S mm/s ^{1/2}	S*	ΔS	W ₀ m ³ /m ³	W _n	ΔW	K mm/h	λ _c mm	λ _m μm	t grav h	t géom h
-10			0.472			0.237	0.010						
	-20	20		0.387	0.171			0.220	52.1	15.4	467	0.20	0.14
-30			0.301			0.223	0.010						
	-45	30		0.272	0.059			0.203	8.4	66.6	108	3.80	0.25
-60			0.242			0.202	0.010						

Parcelle 12/97

Mai 1997

h mm	h*	Δh	S mm/s ^{1/2}	S*	ΔS	W ₀ m ³ /m ³	W _n	ΔW	K mm/h	λ _c mm	λ _m μm	t grav h	t géom h
-10			0.337			0.223	0.079						
	-20	20		0.294	0.086			0.140	30.8	28.6	252	0.32	0.10
-30			0.251			0.214	0.079						
	-45	30		0.208	0.086			0.129	15.7	26.1	276	0.63	0.17
-60			0.165			0.201	0.079						

Tension

$$h^* = (h_1 + h_2)/2$$

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

Sorptivité

$$S^* = (S_1 + S_2)/2$$

$$\Delta S = S_1 - S_2$$

Humidité volumique

$$\Delta W = (W_1 + W_2)/2 - W_n$$

Mesures de Sorptivité

Parcelle 13/96

Mai 1997

h mm	h*	Δh	S mm/s ^{1/2}	S*	ΔS	W ₀ m ³ /m ³	W _n	ΔW	K mm/h	λ_c mm	λ_m μm	t grav h	t géom h
-10			0.507			0.218	0.007						
	-20	20		0.432	0.150			0.205	54.5	22.3	323	0.23	0.10
-30			0.357			0.206	0.007						
	-45	30		0.343	0.028			0.197	5.5	197	37	14.1	0.15
-60			0.329			0.202	0.007						

Parcelle 13/97

Mai 1997

h mm	h*	Δh	S mm/s ^{1/2}	S*	ΔS	W ₀ m ³ /m ³	W _n	ΔW	K mm/h	λ_c mm	λ_m μm	t grav h	t géom h
-10			0.394			0.254	0.155						
	-20	20		0.322	0.144			0.090	82.4	15.9	453	0.05	0.03
-30			0.250			0.236	0.155						
	-45	30		0.240	0.020			0.079	6.2	211	34	5.4	0.05
-60			0.230			0.232	0.155						

Tension

$$h^* = (h_1 + h_2)/2$$

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

Sorptivité

$$S^* = (S_1 + S_2)/2$$

$$\Delta S = S_1 - S_2$$

Humidité volumique

$$\Delta W = (W_1 + W_2)/2 - W_n$$

Parcelle 12/96 : Profils racinaires

Août 1996 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	173	84	41	2.1	8.2	0.49
05-10 cm	40	84	21	0.5	1.9	0.25

Septembre 1996 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	189	90	68	2.1	8.4	0.76
05-10 cm	73	90	51	0.8	3.2	0.57
10-15 cm	48	90	29	0.5	2.1	0.32
15-20 cm	16	90	12	0.2	0.7	0.13
20-25 cm	22	90	14	0.2	1.0	0.16
25-30 cm	16	90	11	0.2	0.7	0.12

Octobre 1996 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	341	90	89	3.8	15.2	0.99
05-10 cm	182	90	82	2.0	8.1	0.91
10-15 cm	105	90	62	1.2	4.7	0.69
15-20 cm	85	90	55	0.9	3.8	0.61
20-25 cm	57	90	45	0.6	2.5	0.50
25-30 cm	42	90	34	0.5	1.9	0.38
30-35 cm	28	90	19	0.3	1.2	0.21
35-40 cm	31	90	28	0.3	1.4	0.31
40-45 cm	29	90	24	0.3	1.3	0.27
45-50 cm	10	90	8	0.1	0.4	0.09

Novembre 1996 - 2 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	262	60	60	4.4	17.5	1.00
05-10 cm	170	60	59	2.8	11.3	0.98
10-15 cm	101	60	53	1.7	6.7	0.88
15-20 cm	80	60	47	1.3	5.3	0.78
20-25 cm	59	60	39	1.0	3.9	0.65
25-30 cm	49	60	37	0.8	3.3	0.62
30-35 cm	41	60	33	0.7	2.7	0.55
35-40 cm	39	60	28	0.7	2.6	0.47
40-45 cm	35	60	31	0.6	2.3	0.52
45-50 cm	32	60	26	0.5	2.1	0.43
50-55 cm	21	60	19	0.4	1.4	0.32
55-60 cm	27	60	23	0.5	1.8	0.38

Parcelle 12/97 : Profils racinaires

Août 1997 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	270	57	55	4.7	18.9	0.96
05-10 cm	177	90	79	2.0	7.9	0.88
10-15 cm	84	90	56	0.9	3.7	0.62
15-20 cm	44	90	40	0.5	2.0	0.44
20-25 cm	35	90	28	0.4	1.6	0.31
25-30 cm	17	90	12	0.2	0.8	0.13

Septembre 1997 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	357	55	55	6.5	26.0	1.00
05-10 cm	376	90	89	4.2	16.7	0.99
10-15 cm	208	90	86	2.3	9.2	0.96
15-20 cm	144	90	74	1.6	6.4	0.82
20-25 cm	84	90	52	0.9	3.7	0.58
25-30 cm	54	90	37	0.6	2.4	0.41
30-35 cm	50	90	33	0.6	2.2	0.37
35-40 cm	27	90	24	0.3	1.2	0.27
40-45 cm	13	90	12	0.1	0.6	0.13
45-50 cm	11	90	9	0.1	0.5	0.10

Octobre 1997 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	372	66	66	5.6	22.5	1.00
05-10 cm	304	90	90	3.4	13.5	1.00
10-15 cm	203	89	88	2.3	9.1	0.99
15-20 cm	125	89	70	1.4	5.6	0.79
20-25 cm	102	89	70	1.1	4.6	0.79
25-30 cm	83	89	58	0.9	3.7	0.65
30-35 cm	64	89	45	0.7	2.9	0.51
35-40 cm	62	89	46	0.7	2.8	0.52
40-45 cm	44	89	37	0.5	2.0	0.42
45-50 cm	44	89	36	0.5	2.0	0.40
50-55 cm	8	89	8	0.1	0.4	0.09

Parcelle 13/96 : Profils racinaires

ANNEXE 5b

Août 1996 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	289	68	63	4.3	17.0	0.93
05-10 cm	219	88	72	2.5	10.0	0.82
10-15 cm	112	88	63	1.3	5.1	0.72
15-20 cm	75	88	47	0.9	3.4	0.53
20-25 cm	52	88	33	0.6	2.4	0.38
25-30 cm	33	88	20	0.4	1.5	0.23
30-35 cm	12	88	9	0.1	0.5	0.10

Septembre 1996 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	402	85	85	4.7	18.9	1.00
05-10 cm	243	85	84	2.9	11.4	0.99
10-15 cm	155	85	73	1.8	7.3	0.86
15-20 cm	92	85	52	1.1	4.3	0.61
20-25 cm	64	85	43	0.8	3.0	0.51
25-30 cm	46	85	30	0.5	2.2	0.35
30-35 cm	29	85	19	0.3	1.4	0.22
35-40 cm	40	85	23	0.5	1.9	0.27
40-45 cm	24	85	16	0.3	1.1	0.19
45-50 cm	26	85	14	0.3	1.2	0.16

Octobre 1996 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	536	87	87	6.2	24.6	1.00
05-10 cm	292	87	85	3.4	13.4	0.98
10-15 cm	241	88	87	2.7	11.0	0.99
15-20 cm	163	88	82	1.9	7.4	0.93
20-25 cm	153	88	72	1.7	7.0	0.82
25-30 cm	117	88	65	1.3	5.3	0.74
30-35 cm	100	88	55	1.1	4.5	0.63
35-40 cm	74	86	48	0.9	3.4	0.56
40-45 cm	74	87	50	0.9	3.4	0.57
45-50 cm	86	89	51	1.0	3.9	0.57
50-55 cm	54	89	42	0.6	2.4	0.47
55-60 cm	56	89	43	0.6	2.5	0.48

Novembre 1996 - 2 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	373	59	59	6.3	25.3	1.00
05-10 cm	213	59	59	3.6	14.4	1.00
10-15 cm	165	59	59	2.8	11.2	1.00
15-20 cm	109	59	55	1.8	7.4	0.93
20-25 cm	91	59	46	1.5	6.2	0.78
25-30 cm	90	59	51	1.5	6.1	0.86
30-35 cm	67	59	39	1.1	4.5	0.66
35-40 cm	49	59	30	0.8	3.3	0.51
40-45 cm	56	59	38	0.9	3.8	0.64
45-50 cm	42	59	28	0.7	2.8	0.47
50-55 cm	37	59	31	0.6	2.5	0.53
55-60 cm	27	59	21	0.5	1.8	0.36

Parcelle 13/97 : Profils racinaires

Août 1997 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	197	49	45	4.0	16.1	0.92
05-10 cm	150	90	68	1.7	6.7	0.76
10-15 cm	50	90	34	0.6	2.2	0.38
15-20 cm	14	90	12	0.2	0.6	0.13
20-25 cm	12	90	11	0.1	0.5	0.12
25-30 cm	11	90	9	0.1	0.5	0.10

Septembre 1997 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	288	51	51	5.6	22.6	1.00
05-10 cm	312	90	89	3.5	13.9	0.99
10-15 cm	167	90	82	1.9	7.4	0.91
15-20 cm	105	90	70	1.2	4.7	0.78
20-25 cm	78	90	57	0.9	3.5	0.63
25-30 cm	55	90	45	0.6	2.4	0.50
30-35 cm	32	90	27	0.4	1.4	0.30
35-40 cm	39	90	33	0.4	1.7	0.37
40-45 cm	20	90	18	0.2	0.9	0.20
45-50 cm	23	90	21	0.3	1.0	0.23
50-55 cm	7	90	6	0.1	0.3	0.07
55-60 cm	3	90	3	0.03	0.1	0.03

Octobre 1997 - 3 profils

profondeur	racines	cases totales	cases occupées	densité/ case	densité/ dm2	indice régularité
00-05 cm	340	58	58	5.9	23.4	1.00
05-10 cm	283	90	89	3.1	12.6	0.99
10-15 cm	199	90	88	2.2	8.8	0.98
15-20 cm	144	90	79	1.6	6.4	0.88
20-25 cm	111	90	70	1.2	4.9	0.78
25-30 cm	92	90	62	1.0	4.1	0.69
30-35 cm	60	90	49	0.7	2.7	0.54
35-40 cm	40	90	35	0.4	1.8	0.39
40-45 cm	29	90	26	0.3	1.3	0.29
45-50 cm	14	90	12	0.2	0.6	0.13

Indices synthétiques de distribution racinaire

Indice de régularité global

1996	Parcelle 13/96		Parcelle 12/96	
	épaisseur	Indice	épaisseur	Indice
Août	0-35 cm	0.52	0-15 cm	0.25
Septembre	0-50 cm	0.51	0-45 cm	0.25
Octobre	0-60 cm	0.73	0-55 cm	0.45
Novembre	0-60 cm	0.73	0-60 cm	0.42

1997	Parcelle 13/97		Parcelle 12/97	
	épaisseur	Indice	épaisseur	Indice
Août	0-30 cm	0.36	0-30 cm	0.53
Septembre	0-50 cm	0.57	0-50 cm	0.54
Octobre	0-50 cm	0.65	0-55 cm	0.64

Répartition des racines par classe de profondeur (en % du total)

1996	Parcelle 13/96			Parcelle 12/96		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Août	87.4	2.6	0.0	100.0	0.0	0.0
Septembre	80.2	16.0	3.8	83.0	14.5	2.5
Octobre	63.3	22.8	13.9	77.9	17.3	4.8
Novembre	65.2	22.5	12.3	66.9	20.5	12.6

1997	Parcelle 13/97			Parcelle 12/97		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Août	94.7	5.3	0.0	91.7	8.3	0.0
Septembre	77.3	18.0	4.7	82.0	16.2	1.8
Octobre	73.6	23.1	3.3	71.5	22.2	6.3

Indice de répartition latérale L1

1996	13/96	12/96
Août	64	94
Septembre	55	63
Octobre	54	58
Novembre	52	54

1997	13/97	12/97
Août	70	66
Septembre	61	69
Octobre	61	60

INDICE DE REPARTITION LATERALE L2

Campagne 1996

Parcelle 13/96

date	profil	racines comptées	racines totales	% racines	% surface	Indice L2
Août	96A-02	111	226	49.1	35.7	137
	96A-09	134	242	55.4	39.3	141
	96A-10	144	299	48.1	35.7	135
	3 profils	389	767	50.7	36.9	137
Septembre	96A-01	149	364	40.9	32.1	127
	96A-06	166	372	44.6	39.3	113
	96A-11	163	372	43.8	39.3	111
	3 profils	478	1108	43.1	36.9	117
Octobre	96A-05	288	627	45.9	39.3	117
	96A-07	326	656	49.7	46.4	107
	96A-12	234	559	41.9	39.3	107
	3 profils	848	1842	46.0	41.7	110
Novembre	96A-03	283	589	48.0	46.4	103
	96A-08	325	663	49.0	46.4	105
	2 profils	608	1252	48.5	46.4	104

Parcelle 12/96

date	profil	racines comptées	racines totales	% racines	% surface	Indice L2
Août	96B-02	51	70	72.8	21.4	340
	96B-09	47	57	82.4	35.7	231
	96B-10	75	87	86.2	39.3	219
	3 profils	173	214	80.8	32.1	252
Septembre	96B-01	65	159	40.9	39.3	104
	96B-06	71	100	71.0	35.7	199
	96B-11	47	100	47.0	35.7	132
	3 profils	183	359	51.0	36.9	138
Octobre	96B-05	110	287	38.3	35.7	107
	96B-07	125	268	46.6	35.7	130
	96B-12	162	305	53.1	39.3	135
	3 profils	397	860	46.2	36.9	125
Novembre	96B-04	226	497	45.5	39.3	116
	96B-08	156	365	42.7	39.3	108
	2 profils	382	862	44.3	39.3	113

INDICE DE REPARTITION LATERALE L2

Campagne 1997

Parcelle 13-97

date	profil	racines comptées	racines totales	% racines	% surface	Indice L2
Août	13/97-01	82	204	40.2	28.7	140
	13/97-02	64	137	46.7	32.3	144
	13/97-03	57	93	61.3	40.0	153
	3 profils	203	434	46.8	36.9	139
Septembre	13/97-04	180	406	44.3	33.3	133
	13/97-05	157	385	40.8	33.3	122
	13/97-06	184	338	54.4	40.0	136
	3 profils	521	1129	46.1	35.5	130
Octobre	13/97-07	222	403	55.1	40.0	138
	13/97-08	200	381	52.5	40.0	131
	13/97-09	253	528	47.9	40.0	120
	3 profils	675	1312	51.4	40.0	128

Parcelle 12-97

date	profil	racines comptées	racines totales	% racines	% surface	Indice L2
Août	12/97-01	84	146	57.5	40.0	144
	12/97-02	136	224	60.7	42.8	142
	12/97-03	124	257	48.2	37.9	127
	3 profils	344	627	54.9	40.2	136
Septembre	12/97-04	242	376	64.3	40.0	161
	12/97-05	334	598	55.8	40.0	139
	12/97-06	213	350	60.8	40.0	152
	3 profils	789	1324	59.6	40.0	149
Octobre	12/97-07	233	462	50.4	40.0	126
	12/97-08	227	436	52.1	40.0	130
	12/97-09	246	505	48.7	40.0	122
	3 profils	706	1403	50.3	40.0	126

Profil 12/97-04

Septembre 1997

comptage de racines

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	Somme
		4	5	6	3								2	4	5	4	4	5									4	5	6	2	59
	3	7	8	9	6	2	2	2	1	2	0	1	3	5	8	8	10	8	6	5	1	2	3	3	3	4	3	8	9	9	141
	3	4	3	5	3	0	1	1	1	0	2	1	3	1	3	4	5	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	3	3	3	71
	1	2	2	3	3	2	1	1	2	0	0	3	1	2	2	2	4	3	3	1	3	0	2	2	0	2	1	1	1	4	54
	2	0	4	2	1	1	0	2	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	25
	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	9
	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	6
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Somme	11	18	23	25	19	6	5	8	4	2	2	7	9	14	21	19	24	21	15	7	7	5	9	7	7	9	11	17	23	21	376

Profil 13/97-05

Septembre 1997

comptage de racines

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	Somme
		8	10	6	4	4									3	4	8	12	5	5								10	6	5	90
	5	4	5	3	2	2	3	2	3	2	2	5	3	2	4	5	5	3	1	3	4	3	3	4	6	4	7	2	2	2	101
	3	2	3	3	2	3	1	2	2	1	1	3	4	2	2	0	1	3	1	4	3	3	2	1	2	2	4	1	1	3	65
	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	0	0	3	0	1	1	2	3	1	1	0	0	33
	1	1	2	1	2	3	1	1	0	1	2	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2	1	1	2	1	0	1	0	28
	1	0	0	1	0	2	1	1	2	1	1	0	0	2	1	1	1	2	0	0	0	0	1	2	0	0	2	0	0	0	22
	0	3	0	0	0	1	2	1	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	19
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	13
	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	10
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
Somme	11	19	22	16	10	17	11	9	8	9	7	15	13	8	15	15	19	21	7	13	10	10	11	11	11	12	17	16	11	11	385

Profil 12/96-05

Octobre 1996

comptage de racines

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	Somme
	3	5	4	3	2	2	1	2	1	3	3	6	2	7	7	4	6	7	6	4	5	4	3	2	3	6	6	7	6	5	125
	3	3	0	2	1	1	2	0	1	1	2	3	1	1	3	2	3	2	1	1	3	2	0	2	3	3	1	3	4	3	57
	2	2	2	0	1	0	2	1	0	1	0	2	3	3	2	2	2	1	1	0	1	2	1	1	1	2	0	1	2	2	40
	3	2	1	1	1	1	0	0	0	2	2	0	2	1	1	1	1	0	0	2	2	2	2	0	2	0	0	2	2	0	33
	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	1	1	1	0	0	1	2	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	16
	1	2	0	0	0	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	11
	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	9
	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	9
	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Somme	12	15	7	6	8	6	8	3	9	10	9	13	9	16	17	10	13	12	9	7	13	12	8	7	14	12	7	13	14	10	309

Profil 13/96-05

Octobre 1996

comptage de racines

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	Somme
	5	7	8	7	5	6	11	8	4	6	9	8	2	6	11	12	7	4	6	4	5	7	6	7	6	7	5	7	4	190
	3	3	0	7	4	2	4	5	2	4	4	4	3	4	6	2	3	4	2	5	5	6	4	3	3	5	1	3	101	
	2	5	4	2	3	5	6	4	2	3	2	3	3	2	6	2	3	2	2	4	3	3	6	2	2	1	1	1	84	
	2	0	1	1	1	3	4	2	2	0	0	1	2	0	4	4	1	2	0	2	4	2	2	2	1	1	1	0	45	
	0	1	3	2	2	3	2	0	0	0	1	0	1	3	2	0	1	2	3	1	2	2	3	2	2	1	0	0	39	
	1	2	1	2	3	4	2	3	1	3	1	2	0	2	2	2	2	1	0	1	0	1	3	0	0	2	1	0	42	
	0	2	1	1	4	5	2	2	2	2	0	0	1	0	1	3	0	2	2	2	1	0	1	1	0	0	0	1	36	
	2	3	0	2	1	0	0	3	2	1	0	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	2	0	1	1	0	23	
	1	1	2	2	0	3	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	24	
	2	2	3	1	0	2	4	3	1	0	0	2	0	1	1	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	27	
	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	1	0	0	15	
	0	1	1	0	1	1	2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	2	0	1	2	0	1	1	0	19	
Somme	18	28	24	27	25	35	39	34	20	20	10	19	14	19	26	35	23	16	21	16	23	23	22	32	18	19	19	11	9	645