

DÉLÉGATION GÉNÉRALE
A LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
- D.G.R.S.T. -

MINISTÈRE DU PLAN
DE LA RÉPUBLIQUE
DE HAUTE-VOLTA

Office de la Recherche
Scientifique et Technique
Outre-Mer
- O.R.S.T.O.M. -

Groupement d'Études et de Recherches
pour le Développement de
l'Agronomie Tropicale
- G.E.R.D.A.T. -

Institut d'Élevage et de
Médecine Vétérinaire
des Pays Tropicaux
- I.E.M.V.T. -

Centre Technique Forestier Tropical
- C.T.F.T. -

Université Paris VII
Laboratoire de Géographie physique
U.E.R. de Géographie et
Sciences de la Société

Centre National
de la Recherche Scientifique
- C.N.R.S. -

Centre d'Études Phytosociologiques
et Écologiques
Louis EMBERGER de Montpellier
- C.E.P.E. -

A.C.C. LUTTE CONTRE L'ARIDITÉ

DANS L'OULDALAN

(Haute-Volta)

BIOMASSE RACINAIRE
DE LA STRATE HERBACÉE
DE FORMATIONS SAHÉLIENNES
(Etude préliminaire)

Philippe LE GRAND
Botanique



ORSTOM
Centre de Ouagadougou

BIOMASSE RACINAIRE DE LA STRATE HERBACEE
DE FORMATIONS SAHELIENNES
(Etude préliminaire)

Philippe LE GRAND
Botanique

"Cette publication présente les résultats de recherche menées dans le cadre des accords conclus entre l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM), le Ministère du Plan de la République de Haute-Volta et la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST)".

S O M M A I R E

p 1	INTRODUCTION GENERALE
p 3	INTRODUCTION
p 4	1 - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE
	1.1 - Techniques d'étude des systèmes racinaires
	1.1.1 - Méthodes descriptives
	1.1.1.1 - Etude du profil cultural
p 5	1.1.1.2 - Méthode des profils racinaires
	1.1.2 - Méthodes quantitatives
	1.1.2.1 - Frélèvements de blocs de sol
p 6	1.1.2.2 - Méthode des sondages
	1.2 - Principaux résultats
	1.2.1 - Profil racinaire
p 7	1.2.2 - Biomasse racinaire et relation avec la biomasse épiquée
p 9	2 - MATERIEL ET METHODES
	2.1 - Choix de la méthode
	2.2 - Description des sondes
	2.3 - Sites et dates de prélèvement
	2.3.1 - Sites de prélèvement
p 10	2.3.2 - Dates de prélèvement
p 11	2.4 - Méthode d'échantillonnage
	2.5 - Traitement des échantillons
	2.5.1 - Traitement des échantillons sableux
	2.5.2 - Traitement des échantillons argileux
p 12	2.6 - Expression des résultats
	2.7 - Erreur relative sur les mesures
p 13	3 - RESULTATS
	3.1 - Etude méthodologique
	3.1.1 - Distribution de l'échantillonnage
	3.1.2 - Précisions sur la moyenne
p 14	3.2 - Présentation des résultats
	3.2.1 - Cordon dunaire d'OURSI
	3.2.1.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite
p 15	3.2.1.2 - Biomasse racinaire.

p 15	3.2.2 - Piémont sableux de KOLEL	
	3.2.2.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite	
p 16	3.2.2.2 - Biomasse racinaire	
	3.2.3 - Bas fond argileux de WINDE TIULUKI	
	3.2.3.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite	
P 17	3.2.3.2 - Biomasse racinaire	
p 18	3.2.4 - Microbutte du glacis de GOUNTOURE	
	3.2.4.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite	
	3.2.4.2 - Biomasse racinaire	
p 19	3.2.5 - Microdépression du glacis de GOUNTOURE	
	3.2.5.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite	
p 20	3.2.5.2 - Biomasse racinaire	
	3.2.6 - Glacis de KOUNI KOUNI	
	3.2.6.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite	
p 21	3.2.6.2 - Biomasse racinaire	
	3.2.7 - Glacis de BAS KOLEL	
p 22	3.2.7.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite	
	3.2.7.2 - Biomasse racinaire	
p 23	3.3 - Discussion des résultats	
	3.3.1 - Profils racinaires	
p 25	3.3.2 - Biomasses racinaires	

p 27 DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INTRODUCTION GENERALE

Le milieu sahélien peut être considéré dans un sens général comme un écosystème défini par des conditions spécifiques d'aridité : caractère saisonnier et sporadique des pluies, longueur de la saison sèche, intensité de l'évaporation, forte variabilité des précipitations, précarité de la réserve en eau du sol, couverture végétale d'allure steppique... C'est une zone présentant des caractères fluctuants pour ce qui concerne les variables écologiques, où les équilibres biologiques sont fragiles et peuvent être rompus à tout moment. De telles conditions climatiques imposent des limitations sévères à l'exploitation de cette zone.

Pour parvenir à une utilisation plus rationnelle du milieu sahélien, il est non seulement nécessaire de comprendre le réseau d'interactions complexes et dynamiques qui se manifestent au niveau de cette entité, mais encore de saisir les relations entre l'homme et son milieu. Cela suppose une bonne connaissance de la structure et du fonctionnement de l'écosystème et de la variation de ses ressources en fonction des aléas climatiques.

Cependant et afin de pouvoir dégager les lignes directrices de la planification de ces zones à conditions marginales, il est nécessaire d'aboutir à une approche multidisciplinaire des interactions de l'écosystème.

C'est dans cet esprit qu'a été élaboré, à l'initiative de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique française*, un programme de recherche intégré dans la région de la Mare d'Oursi (Haute-Volta), considérée comme représentative des contraintes générales du sahel voltaïque. Des chercheurs de différentes disciplines se proposent d'y dresser un inventaire des ressources des milieux physiques et biologiques, de leur exploitation par l'homme, et de définir l'évolution de ces différentes ressources en fonction des facteurs écologiques.

C'est dans le cadre de ces travaux que prennent place les recherches entreprises par les sections AGRONOMIE et BOTANIQUE de l'ORSTOM.

* Comité L.A.T. de la D.G.R.S.T. : Action conjointe et concertée : Lutte contre l'aridité en milieu tropical (Mali, Haute-Volta, Niger).

Le thème de recherche de ce groupe de travail est l'étude de la production de formations végétales sahéliennes en fonction des variables écologiques et plus particulièrement du bilan hydrique. Deux programmes parallèles mais complémentaires ont été développés sur différentes unités édaphiques :

- le premier porte sur les caractéristiques de la végétation.
- le second est relatif au cycle de l'eau.

Les études relatives à la végétation accordent une attention particulière à la structure, la composition floristique, la production et à la dynamique des formations végétales retenues. Les observations sont menées à deux échelles :

- la première, l'échelle stationnelle, permet d'analyser plus finement l'évolution qualitative et quantitative de la végétation, et la dynamique de la production,

- la seconde, l'échelle du bassin-versant, permet d'établir un bilan annuel de la production, d'en suivre les variations interannuelles et de tester la validité de l'extrapolation de certains résultats obtenus à grande échelle.

Le programme concernant le cycle de l'eau s'attache à déterminer :

- les caractères hydrodynamiques des sols (densité, capacité de rétention, perméabilité...)

- les flux de transfert de l'eau dans les différents milieux (précipitations, évapotranspiration, dynamique de l'eau dans le sol...).

Les observations sont réalisées dans le détail au niveau stationnel, mais des coefficients de passage permettant l'extrapolation des résultats à plus petite échelle seront déterminés.

Ces deux programmes se proposent d'élaborer ultérieurement une fonction de production de la matière végétale en fonction des variables écologiques notamment climatiques et édaphiques.

Le caractère prévisionnel qui en résultera devrait permettre aux planificateurs d'organiser l'aménagement et l'exploitation des potentialités agropastorales ainsi définies.

INTRODUCTION

Il y a 25-30 ans, la détermination de la production totale était obtenue en ajoutant à la biomasse aérienne un certain pourcentage correspondant à la biomasse racinaire (souvent, les auteurs rajoutaient 40 % pour les racines : NEWBOULD, 1968). La grande variabilité des systèmes racinaires en fonction du climat, du sol, de la plante... entraîne la nécessité d'une étude spécifique de la production racinaire.

Bien que possible sur le plan théorique, il est difficile d'estimer la quantité de racines présentes dans le sol à un moment donné. Encore faut-il cerner avec précision l'objectif fixé par l'étude. Les techniques d'étude sont différentes et ne présentent pas les mêmes aspects suivant que l'on s'attache à une étude morphologique du système racinaire ou à une quantification des biomasses racinaires. De même, les problèmes diffèrent pour l'étude de l'enracinement de ligneux, de plantes pérennes, d'annuelles ou de cultures.

Ce travail sur les systèmes racinaires complète l'étude de la production de la strate herbacée de formations sahéliennes (M. GROUZIS) et celle du bilan hydrique du sol (M. SICOT). Son objectif est de :

- proposer une méthodologie adaptée aux formations herbeuses du bassin versant de la mare d'Oursi ;
- déterminer le profil racinaire de quelques types de végétation en essayant de le rattacher aux caractéristiques du sol (granulométrie et distribution de l'eau) ;
- estimer les biomasses racinaires en relation avec l'importance des biomasses épiées.

La première partie de ce travail rappelle les divers travaux déjà réalisés sur le sujet. La deuxième partie est consacrée à l'exposé des méthodes utilisées et la troisième partie traite des résultats se rapportant aux différentes formations étudiées.

1 - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette partie bibliographique s'attache à décrire les principales méthodes d'étude couramment employées et les principaux résultats concernant des études proches de celle réalisée sur le bassin versant de la mare d'Oursi.

1.1. - Techniques d'études des systèmes racinaires

La détermination de la production de matière sèche des organes souterrains est très délicate. Les problèmes rencontrés sont les suivants :

- On constate une très grande variabilité entre échantillons due aux techniques sommaires d'estimation et surtout à l'hétérogénéité du sol. L'obtention de précisions de mesure satisfaisantes nécessite un grand nombre de prélèvements longs et coûteux à réaliser ;

- la distinction entre les racines vivantes et les racines mortes ou partiellement décomposées est pratiquement irréalisable. La coloration des racines mortes au bleu de méthylène n'est pas utilisable sur de grosses quantités de racines (LIETH, 1968). Il existe des moyens plus sophistiqués mais commodes d'emploi (utilisation d'isotopes radio-actifs, LIETH, 1968 ; technique photographique basée sur des différences de réflexion spectrale des racines mortes et vivantes que certaines émulsions peuvent mettre en évidence, ROSSETTI, 1968).

Diverses méthodes d'étude de l'enracinement ont été décrites par de nombreux auteurs. Elles varient suivant la finalité de l'étude (étude descriptive ou étude visant à quantifier une production racinaire), la nature du sol (dureté, texture...) et les espèces botaniques rencontrées (absence ou présence d'une racine pivot, végétation abondante ou pauvre...).

1.1.1 - Méthodes descriptives

1.1.1.1 - Etude du profil cultural

Cette étude décrite par HENIN et al (1969) consiste à mettre en évidence les caractéristiques physiques des diverses couches de terrain et à examiner la façon dont elles sont exploitées par les racines.

Cette méthode est simple et toujours intéressante à réaliser. Elle présente cependant des inconvénients :

- destruction partielle du site d'étude excluant de nombreuses répétitions.

- méthode qualitative ne permettant pas de mettre en évidence des différences minimes qui peuvent pourtant entraîner des conséquences importantes quant aux réactions de la plante (CHOPART et NICOU, 1976).

1.1.1.2 - Méthodes des profils racinaires.

Venant en complément de l'étude du profil cultural, cette méthode utilisée par BONZON et PICARD (1969) reprend celle décrite par SCHUURMAN et GOEDEWAGEN (1964). Elle a pour but d'apprécier le développement des racines sur une partie ou la totalité du profil cultural, non plus sur un plan, mais pour un certain volume de sol.

Pour réaliser ce prélèvement, on utilise un panneau (dimensions voisines de 150 X 55 cm, variables selon la profondeur de l'enracinement) muni de pointes de grande dimension (10cm) et écartées les unes des autres de 5 cm. Ce panneau est enfoncé sur le plan du profil et après découpage, on retire la tranche de sol retenue par les pointes. Après déserrage, les racines sont maintenues en place par les pointes.

Cette méthode a l'avantage de donner une image très nette de l'enracinement de la plante. Elle présente les mêmes inconvénients que l'étude du profil cultural avec la difficulté supplémentaire due à la manipulation d'un panneau encombrant et lourd (jusqu'à 200 kg pour l'ensemble panneau et terre).

1.1.2 - Méthodes quantitatives

Ces méthodes visent à déterminer un poids de matière sèche de racines ramené à un volume ou un poids de sol connu avec précision.

1.1.2.1 - Prélèvements de blocs de sol.

Cette méthode consiste à découper des blocs parallélépipédiques de dimensions variables. CESAR (1971) a travaillé sur des blocs de petite taille (20 X 20 X 20 cm et 40 X 40 X 20 cm). LIETH (1968) propose de prélever des blocs de 0,5 à 1 mètre cube.

Ces prélèvements sont destructifs, longs (et donc coûteux) et il est difficile de prélever un nombre élevé de blocs nécessaire à l'obtention d'une précision satisfaisante.

1.1.2.2 - Méthode des sondages

Cette méthode est la plus couramment utilisée. Elle consiste à effectuer des prélèvements au moyen de sondes à carotter. Les types de sonde sont très nombreux et plus ou moins complexes.

Le prélèvement des carottes peut se faire de deux façons :

- en creusant une fosse et en enfonçant la sonde horizontalement dans les parois de la fosse ;
- en enfonçant la sonde verticalement à partir de la surface du sol.

La première méthode nécessite le creusement d'une fosse et détruit le site d'étude. Elle présente l'avantage de pouvoir faire une rapide observation du profil avant de délimiter les horizons à prélever (FICARD, 1969 ; CHOPART et NICOU, 1976).

La deuxième méthode détruit peu le milieu et permet d'obtenir une précision identique à celle des blocs en un temps nettement plus court (CESAR et MENAUT, 1974). Elle devient difficilement réalisable pour des sols très durs (CESAR, 1971, CESAR et MENAUT, 1974). Elle semble également mal adaptée pour une étude de systèmes racinaires peu denses (WALLACE et al, 1974 ; CESAR et MENAUT, 1974 ; CHOPART et NICOUT, 1976).

1.2 - Principaux résultats

Les différents auteurs ont travaillé dans des conditions différentes (climat, sol, végétation) et il est difficile d'établir des comparaisons entre leurs études (notamment pour les données brutes de biomasse racinaire). Cependant, certains traits communs se retrouvent d'une étude à l'autre et il est intéressant d'essayer de les mettre en évidence.

1.2.1 - Profil racinaire

SINGH et YADAVA (1974) ont travaillé en milieu tropical sec en Inde. Ils montrent que les 10 premiers centimètres du sol contiennent 54,5 à 85% de la biomasse racinaire totale. Par ailleurs, au cours de l'année, la dynamique de la biomasse racinaire est différente suivant les horizons, sans doute en liaison avec la croissance racinaire des diverses espèces dominantes.

BILLE (1977), étudiant la production primaire nette d'un écosystème sahélien au Sénégal, constate que les 50 premiers centimètres du sol renferment généralement plus de 85 % de la biomasse hypogée.

Il montre également que, entre 10 cm et 1 m de profondeur, l'enracinement est assez bien décrit par une relation du type :

$$\log (\text{racines}) = A \log (\text{profondeur}) + B$$

1.2.2 - Biomasse racinaire et relation avec la biomasse épigée

Les valeurs de biomasse racinaire sont très diversifiées selon les conditions d'étude. A titre indicatif, le tableau suivant résume les biomasses racinaires proposées par quelques auteurs :

Auteurs	Conditions d'étude	Biomasses racinaires gMS . m ⁻²
BRAY 1963	Espèces herbacées de milieu tempéré (Andropogon sp, Medicago sp, Beta sp...)	390
CESAR MENAUT 1974	Savane herbeuse de milieu tropical humide (Loudetia sp, Andropogon sp...)	2250
WALLACE et al 1974	Espèces pérennes du désert Mojave aux USA (Ambrosia sp, Krameria sp, Grayia sp...)	162
SINGH YADAVA 1974	Espèces herbacées de milieu tropical sec (Aeschynomene sp, Aristida sp, Chloris sp...)	117
BILLE 1977	Espèces herbacées de milieu sahélien - zone dunaire (Aristida sp, Schoenefeldia sp, Cenchrus sp...) - zone de dépression (Panicum sp, Zornia sp, Echinochloa sp...)	126 330

Tableau 1 : Biomasse racinaire (gMS . m⁻²) selon divers auteurs.

L'examen de ce tableau montre la grande variabilité des biomasses hypogées. Il est en outre intéressant de les mettre en relation avec les biomasses épigées.

BRAY (1963) a travaillé sur 28 espèces herbacées. Dans son article, l'auteur ne précise pas la méthodologie adoptée, ce qui en limite l'intérêt. Il met en évidence que le rapport biomasse racinaire sur biomasse épigée est supérieur pour les plantes xérophiles par rapport aux plantes mésophiles. Ce résultat est confirmé par les conclusions de BILLE(1977) qui trouve des rapports biomasse racinaire sur biomasse épigée supérieurs pour des groupements herbacés se développant dans un milieu pauvre et médiocrement alimenté en eau.

BILLE conclue par ailleurs que l'évolution annuelle des parties souterraines ne diffère pas de celle des parties aériennes. CESAR et MENAUT (1974) notent au contraire que dans tous les types de savane, les variations annuelles de la biomasse hypogée, sont plus rapides et de plus grande amplitude que celles de la biomasse épigée.

WALLACE et al (1974) ont étudié la production racinaire de 10 espèces pérennes du désert Mojave aux Etats Unis. Leur travail porte sur un échantillonnage de 113 plantes dont les racines ont été "extraites", plante par plante, en pratiquant des excavations de 1 à 3 mètres cubes. Ils mettent en évidence une forte corrélation ($r = 0,92$ en moyenne pour les 10 espèces) entre les biomasses racinaires et les biomasses épigées. Suivant les espèces, le rapport biomasse racinaire sur biomasse racinaire plus biomasse épigée varie de 0,30 à 0,60. Ce rapport est indépendant de la taille du végétal. Les biomasses racinaires peuvent être estimées à partir des biomasses épigées par une relation linéaire (Biomasse racinaire = a biomasse épigée + b) avec une erreur comprise entre 10 et 20 % au seuil de 5 %.

De cette étude bibliographique, certains aspects se dégagent tout particulièrement, notamment la nécessité d'une étude spécifique des systèmes racinaires, la difficulté de cette étude et la très grande variabilité des systèmes racinaires.

2 - MATERIEL ET METHODES

2.1 - Choix de la méthode

L'objectif de cette étude étant d'estimer la biomasse racinaire et de déterminer la distribution des racines dans le sol, le choix a porté sur une méthode quantitative. Malgré la présence de sols parfois durs et une végétation peu abondante, la méthode des sondages verticaux a été retenue pour les raisons suivantes :

- Rapidité d'exécution permettant de multiplier l'échantillonnage et d'améliorer les précisions ;
- Préservation du site de prélèvement en évitant de creuser des fosses.

2.2 - Description des sondes

Les sondes sont fabriquées dans un tube en acier de 6mm d'épaisseur et de 70 mm de diamètre intérieur. La tête de la sonde est renforcée par une bague intérieure de 3 mm d'épaisseur. Ce dispositif facilite la pénétration des échantillons de terre dans la sonde.

2.3 - Sites et dates de prélèvement

2.3.1 - Sites de prélèvement

Les prélèvements racinaires ont été réalisés au niveau des 6 unités de végétation suivies par les sections botanique et agronomie. Ces unités ont été choisies en fonction de (GROUZIS, 1979) :

- leur importance au niveau du secteur d'étude (TOUTAIN, 1976)
- la physionomie de la végétation ;
- la nature du substrat édaphique (LEPRUN, 1977) ;
- l'utilisation agricole et (ou) pastorale (BARRAL, 1977).

Les formations suivantes (définies par TOUTAIN, 1976) ont été retenues :

- Ams (OURSIS) : cordon dunaire à Aristida mutabilis et Schoenefeldia gracilis avec Guiera senegalensis et Acacia senegal ;
- Cep (KOLEL) : piémont sableux à Cenchrus biflorus, Schoenefeldia gracilis, Acacia raddiana et Acacia nilotica var. adansonii ;
- Spt (WINDE TIULUKI) : Bas-fond argileux à Panicum laetum, Schoenefeldia gracilis avec Acacia seyal et Combretum aculeatum ;

- Ase (GOUNTOURE) : glaciais à plaquages sableux à Schoenefeldia gracilis, Chloris prierii, Aristida adscendens, Panicum laetum, Combretum glutinosum, Ziziphus mauritania et Balanites aegyptiaca ;
- Sgr (BAS KOLEL) : glaciais à Schoenefeldia gracilis et Acacia robusta ;
- Sgl (KOUNI KOUNI) : glaciais à Schoenefeldia gracilis et Acacia laeta.

En 1978, la composition floristique de ces formations a parfois été différente. Le groupement Ams a été dominé par Cenchrus biflorus, Heliotropium strigosum, Zornia glochidiata et Brachiaria xantholeuca ; le groupement Spt a été pauvre en Schoenefeldia gracilis. Les prélèvements racinaires ont été réalisés :

- sous un groupement à Cenchrus biflorus et Zornia glochidiata pour la formation Ams (OURSI) ;
- sous un groupement à Cenchrus biflorus pour la formation Cep (KOLEL)
- sous un groupement à Panicum laetum pour la formation Spt (WINDE TIULUKI) ;
- sous un groupement à Schoenefeldia gracilis pour les formations Sgl (KOUNI KOUNI) et Sgr (BAS KOLEL) ;
- sous un groupement à Schoenefeldia gracilis et Aristida mutabilis pour les microbuttes (*) de la formation Ase (GOUNTOURE) ;
- sous un groupement à Zornia glochidiata et Tripogon minimus pour les microdépressions (*) de la formation Ase (GOUNTOURE) ;
- sous un groupement à Schoenefeldia gracilis et Panicum laetum pour les microdépressions (*) de la formation Sgr (BAS KOLEL).

2.3.2 - Dates de prélèvement

Trois dates de prélèvement ont été retenues :

- début août, période correspondant à la phase de croissance sauf pour la formation de bas fond et les microdépressions du glaciais de GOUNTOURE où la biomasse épigée est proche de son maximum ;
- début septembre, au moment où la biomasse épigée est maximale, sauf pour les deux formations déjà citées qui sont déjà en phase de décroissance ;
- début octobre, à un stade où la dispersion des diaspores est pratiquement terminée et où le jaunissement des plantes est bien avancé .

* Pour les formations Ase et Sgr, deux sites de prélèvement sont étudiés en raison de la distinction nette entre deux micromilieus qui correspondent à des espèces bien différentes (GROUZIS, 1979).

2.4 - Méthode d'échantillonnage

Les sondages sont effectués sur une ligne et sont espacés de 50cm les uns des autres.

Les horizons suivants ont été retenus (en relation avec l'étude du bilan hydrique du sol - SICOT, 1979) : 0-7,5cm ; 7,5-15cm ; 15-30cm ; 30-45cm ; 45-65cm ; 65-100cm.

Pour les deux premiers horizons, un échantillon est constitué par deux prélèvements. Pour les quatre derniers horizons, un échantillon correspond à un prélèvement.

Compte tenu des contraintes de temps (durées de prélèvement sur le terrain et de traitement des échantillons au laboratoire), le nombre d'échantillons par groupement a été fixé à 10. Au moment du maximum de végétation sur pied, le nombre d'échantillons est porté à 30 pour trois groupements (dune, bas-fond, un glacis), afin de tester la méthodologie utilisée et de déterminer un nombre d'échantillons à partir duquel la précision de l'étude est jugée satisfaisante.

2.5- Traitement des échantillons

Les échantillons terre-racines sont séchés au soleil pendant quelques jours afin de permettre une meilleure conservation en attendant de les traiter.

Le traitement diffère suivant que les échantillons sont sableux ou argileux.

2.5.1 - Traitement des échantillons sableux

La première opération consiste en un tamisage à sec de l'échantillon à travers deux tamis de 1mm et 0,5mm (16 et 14 mesh).

Après élimination des impuretés (sable, cailloux, matière organique...), les racines retenues par les deux tamis sont mises dans une boîte tarée, passées à l'étuve (105°C pendant 13 heures) puis pesées avec une balance au milligramme.

2.5.2 - Traitement des échantillons argileux

Quand le taux d'argile est supérieur à 15%, les échantillons sont trempés dans un dispersant (sodium méta-phosphate ou chlorure de sodium à 5%).

Le déterrage se fait par aspersion au jet d'eau avec récupération des racines sur les deux tamis de 1 et 0,5mm.

La suite des opérations est identique à celle des échantillons sableux (triage des impuretés, passage à l'étuve, pesée).

2.6 - Expression des résultats

Pour chaque groupement étudié, le profil racinaire est représenté par l'histogramme des biomasses racinaires (exprimées en mg de matière sèche par 1000 cm³ de sol) en fonction de la profondeur.

Le passage des données de biomasse racinaire en valeurs logarithmiques vise à retrouver une fonction mathématique du type :

$$\text{Log (racines)} = a \text{ profondeur} + b$$

La biomasse racinaire totale est exprimée en grammes de matière sèche par mètre carré (gMs . m⁻²).

2.7 - Erreur relative sur les mesures.

Les résultats sont exprimés en fonction d'un certain volume de terre. Il est donc nécessaire de déterminer la précision obtenue sur les volumes de terre prélevés.

On peut estimer que le diamètre de la sonde est de 6,4cm \pm 0,1cm et que la hauteur de la carotte est obtenue à 0,5cm près.

Pour les deux premiers horizons (deux prélèvements par échantillon), le volume prélevé est de 482 cm³ \pm 10%

Pour les deux horizons suivants (un seul prélèvement par échantillon), le volume est de 482 cm³ \pm 7%.

L'horizon "45-65cm" représente un volume de 643 cm³ \pm 6%, l'horizon "65-100cm" un volume de 1126 cm³ \pm 4%.

Cette imprécision inévitable sur les volumes prélevés est à prendre à compte lors de l'examen des résultats.

3 - RESULTATS

3.1 - Etude méthodologique

Cette étude porte sur les groupements Ams (OURSI), Spt (WINDE TIULUKI) et Sgl (KOUNI KOUNI). Pour ce dernier, des contraintes matérielles n'ont permis de prélever que 19 échantillons sur les 30 prévus. La normalité de la distribution n'a pas été testée pour ce groupement, en raison de l'insuffisance du nombre d'échantillons.

3.1.1 - Distribution de l'échantillonnage

Les figures 1 et 2 donnent les histogrammes de distribution, horizon par horizon, pour les formations Ams et Spt. Pour chaque horizon, la normalité de la distribution est vérifiée par un test χ^2 .

Avec un risque d'erreur de $\alpha = 0,05$, les répartitions observées ne diffèrent pas significativement de la répartition normale.

3.1.2 - Précision sur la moyenne

La précision sur la moyenne est définie par :

$$P \% = \frac{s \cdot t}{\bar{x} \cdot n} \times 100$$

où s est l'écart-type de l'échantillon,

\bar{x} la moyenne

t le coefficient t de Student au seuil $\alpha = 0,05$,

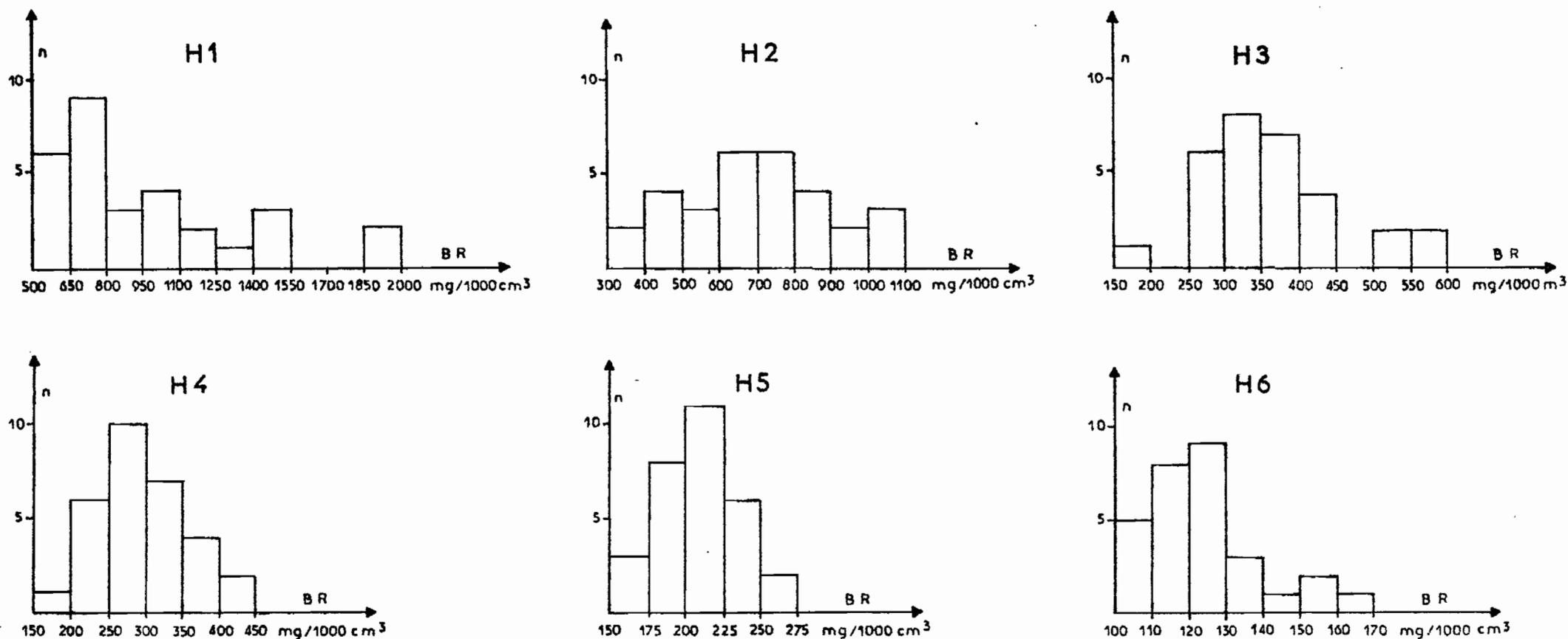
n le nombre de répétitions

Des figures 3, 4 et 5, il ressort que :

- sur le cordon dunaire, la précision est meilleure pour les horizons inférieurs. Ce n'est pas le cas pour les groupements de bas fond et de glacis ;

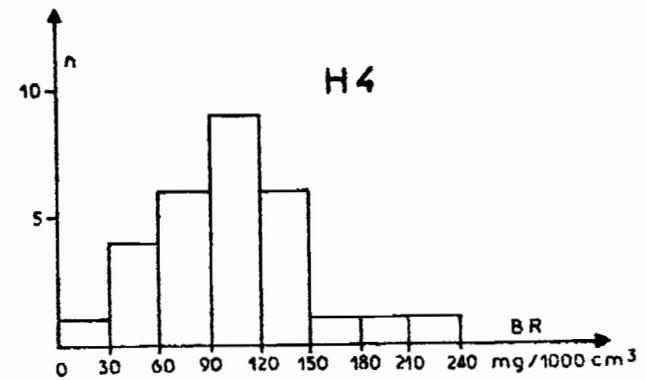
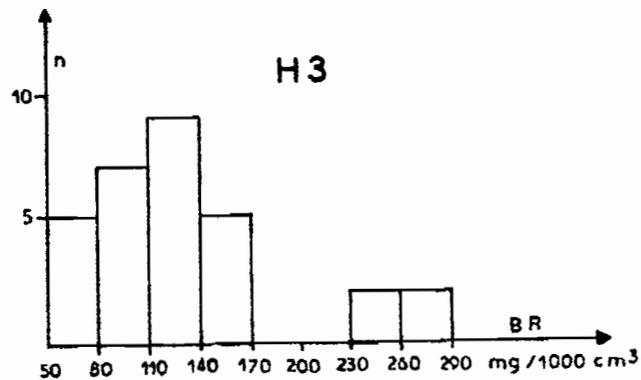
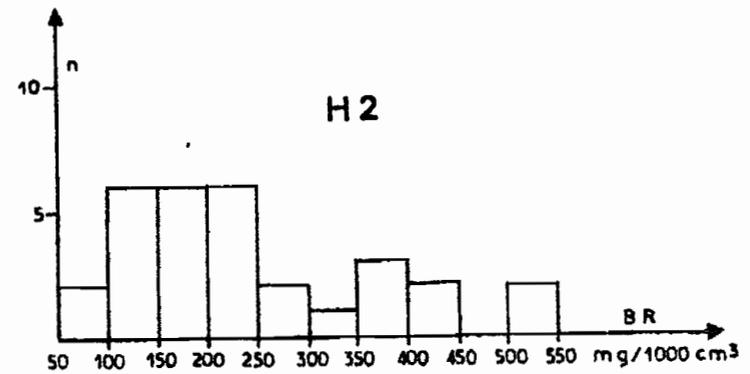
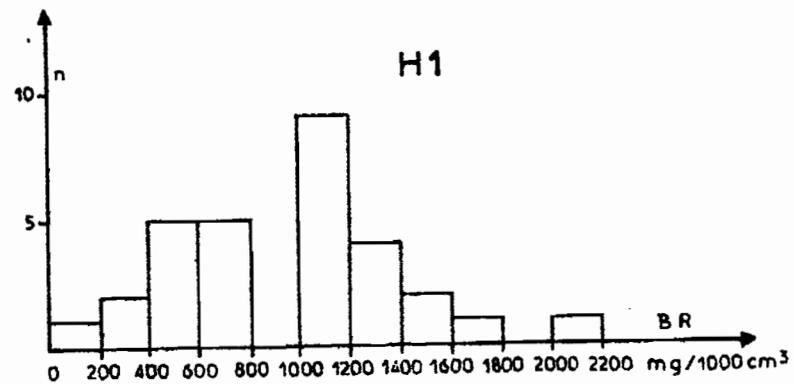
- pour le nombre maximum de prélèvements, la précision obtenue sur la dune varie entre 5 et 15 %, contre 16 à 20 % pour le bas fond et 10 à 30% pour le glacis Sgl (avec 19 prélèvements).

- d'une façon générale, on constate que, en dessous de 10 prélèvements, la précision se dégrade fortement (précision pouvant atteindre 70% et plus pour 5 répétitions). A partir de 15 répétitions, les précisions deviennent satisfaisantes (inférieures à 30 % et souvent proches de 15-20 %). Le gain en précision résultant de l'augmentation des répétitions au-delà de 15 est très faible par rapport au surcroît de travail nécessaire.



Horizon de prélèvement	H1	H2	H3	H4	H5	H6
χ^2 observé	3,43	1,29	1,55	0,82	0,18	1,77
Degrés de liberté	2	4	3	3	2	3
Signification au seuil de 5 %	*	*	*	*	*	*

Figure 1 - Formation à Genchrus bifloras sur cordon dunaire (OURSI) - Histogrammes de distribution des biomasses racinaires (BR) horizon par horizon ; Test χ^2 de normalité.



Horizon de prélèvement	H1	H2	H3	H4
χ^2 observé	0,54	3,94	4,01	0,51
Degrés de liberté	3	4	4	3
Signification au seuil de 5 %	*	*	*	*

Fig 2 - Formation à Panicum laetum sur bas-fond argileux (WIND: TIULUKI) - Histogrammes de distribution des biomasses racinaires (BR) horizon par horizon ; Test χ^2 de normalité.

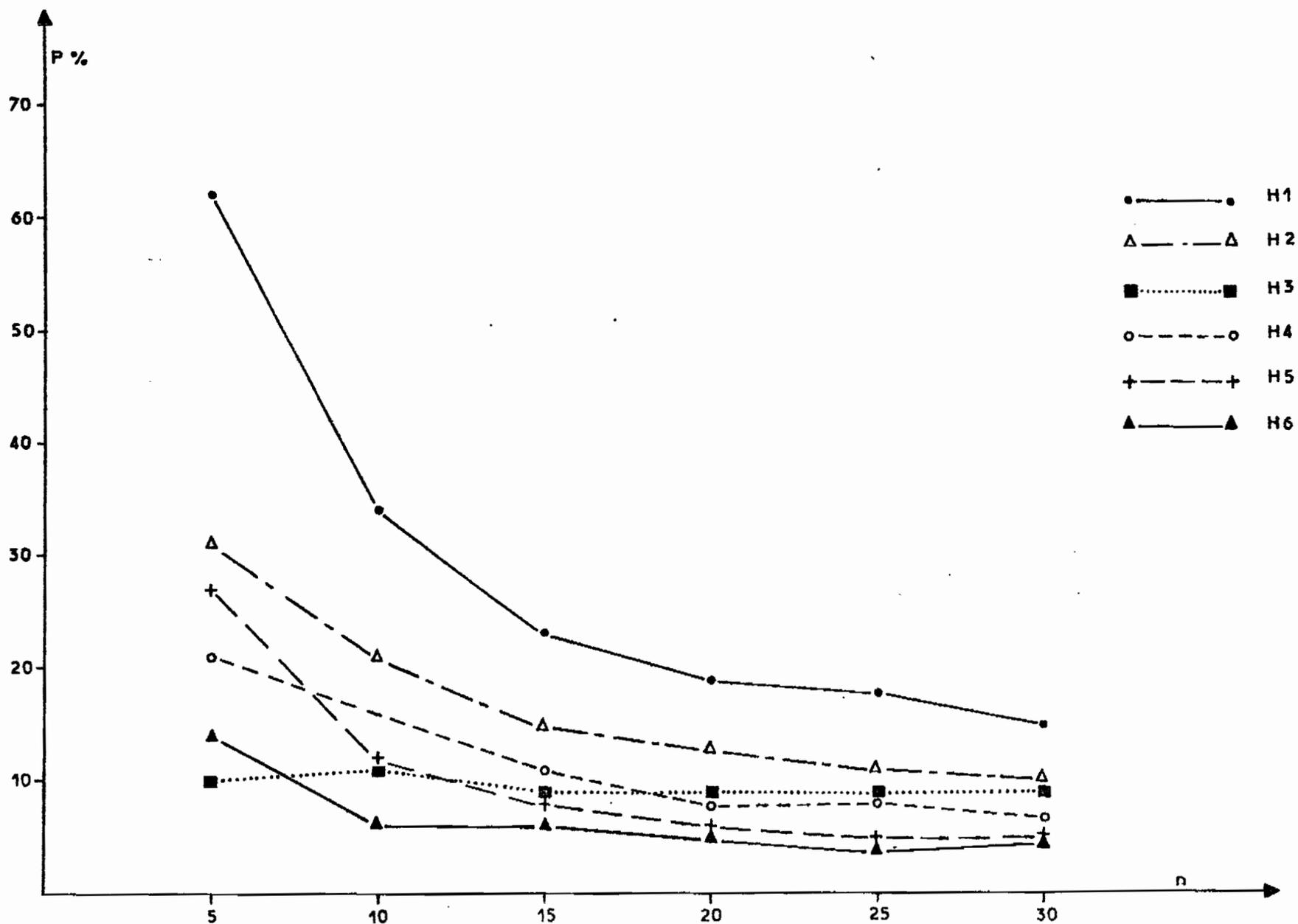


Figure 3 - Formation à Cenchrus biflorus sur cordon dunaire (OURS I)
Evolution de la précision (P) en fonction de l'effectif de l'échantillonnage

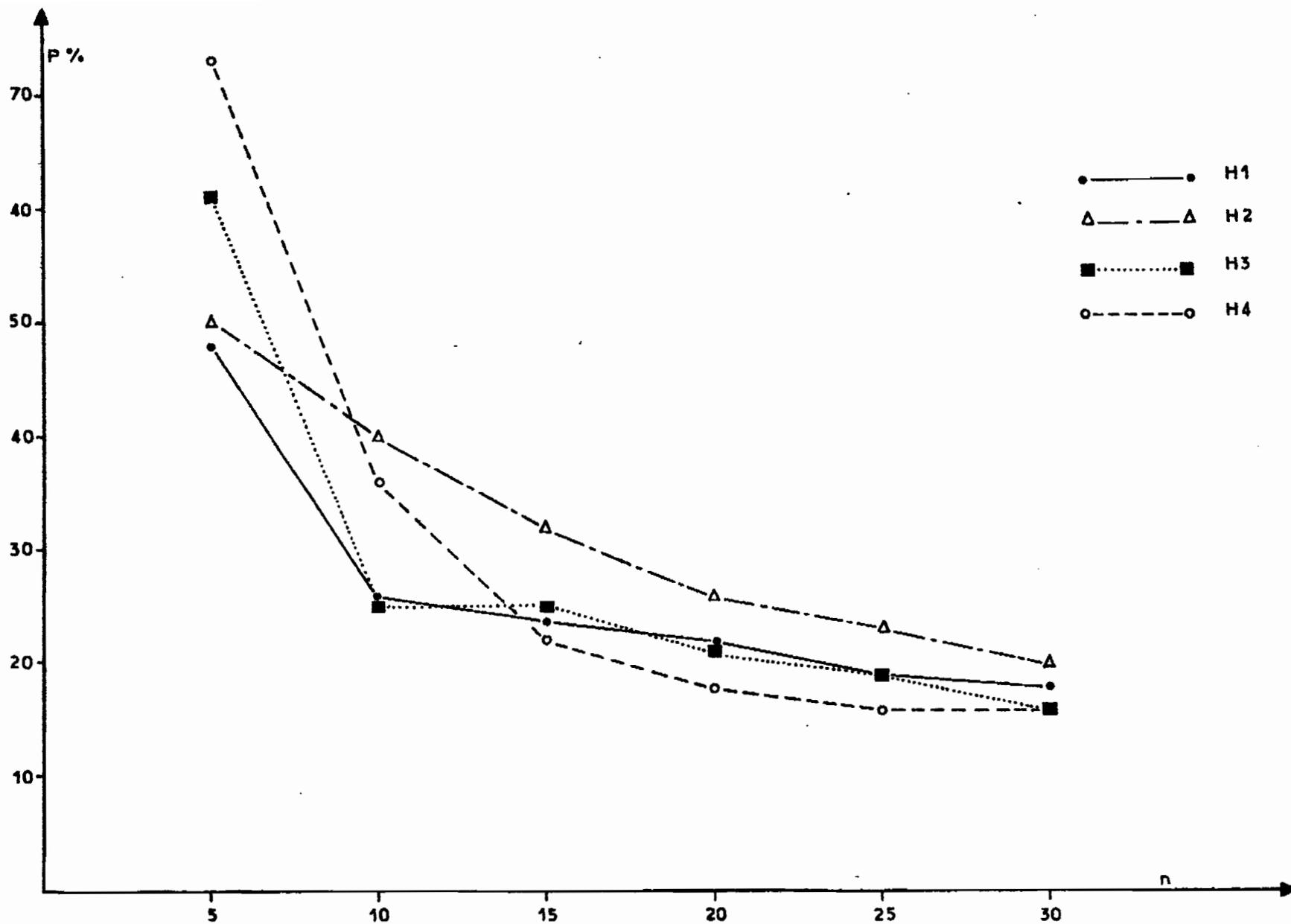


Figure 4 - Formation à Panicum laetum sur bas-fond argileux (WINDE TIULUKI) -
 Evolution de la précision (P) en fonction de l'effectif de l'échantillonnage.

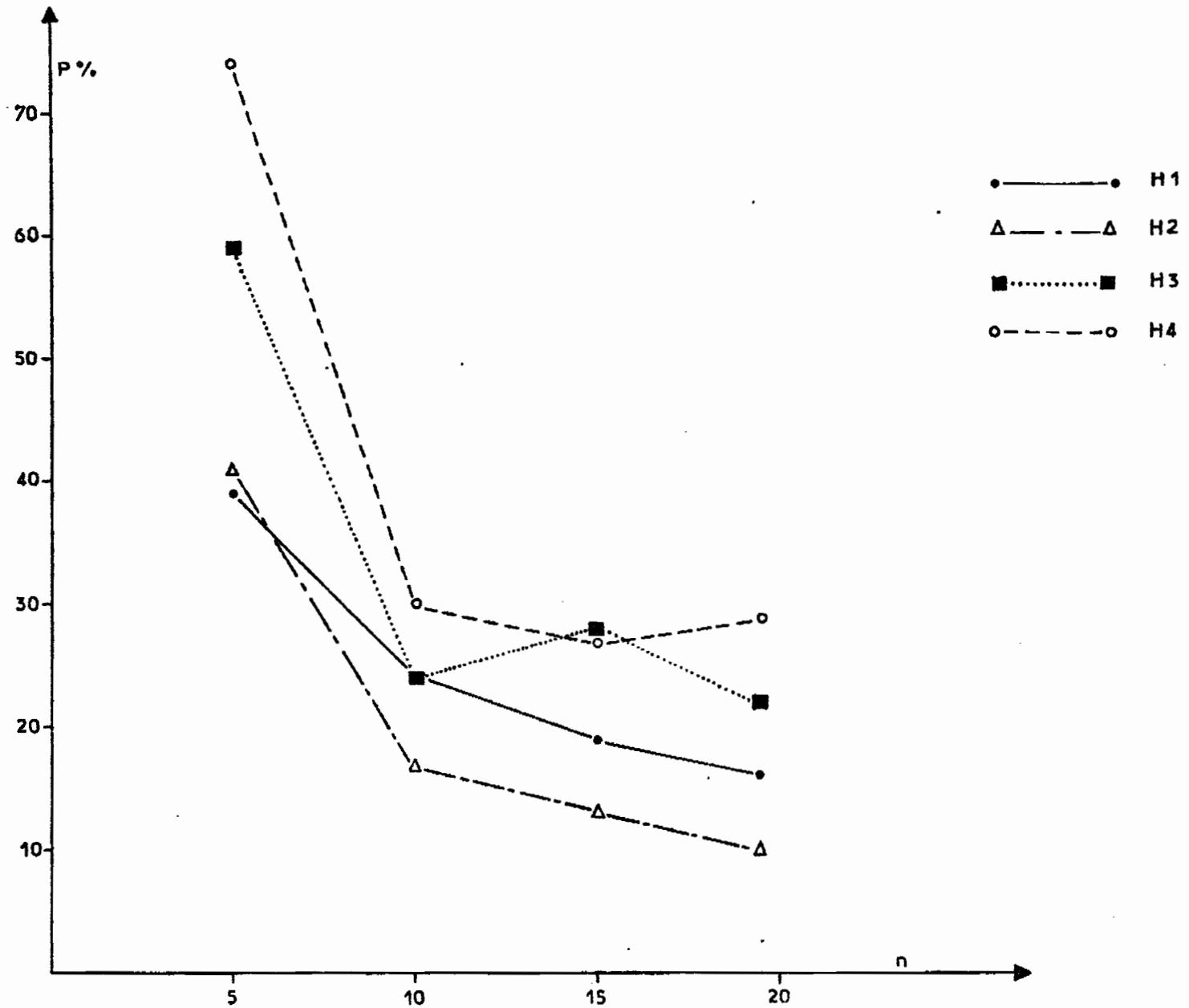


Figure 5 - Formation à Schoenefeldia gracilis sur glacis (KOUNI KOUNI) -
 Evolution de la précision (P) en fonction de l'effectif de l'échantillonnage.

3.2 - Présentation des résultats

La présentation des résultats groupement par groupement a été délibérément choisie car ce rapport constitue aussi un document de travail.

L'ensemble des résultats est cependant synthétisé et discuté ultérieurement (§3.3).

3.2.1 - Cordon dunaire d'OURSI (Ams)

Les prélèvements sont effectués jusqu'à 1 mètre de profondeur sous un groupement à Cenchrus biflorus et Zornia glochidiata.

3.2.1.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite

La forme de la distribution racinaire suit une exponentielle (figure 6). Cette forme est confirmée par le passage des données de biomasse racinaire en données logarithmiques. Avec un coefficient de corrélation $r = -0,97$ à $-0,98$ (significatif au seuil de 5 %), on met en évidence une relation linéaire de la forme (figure 7) :

$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

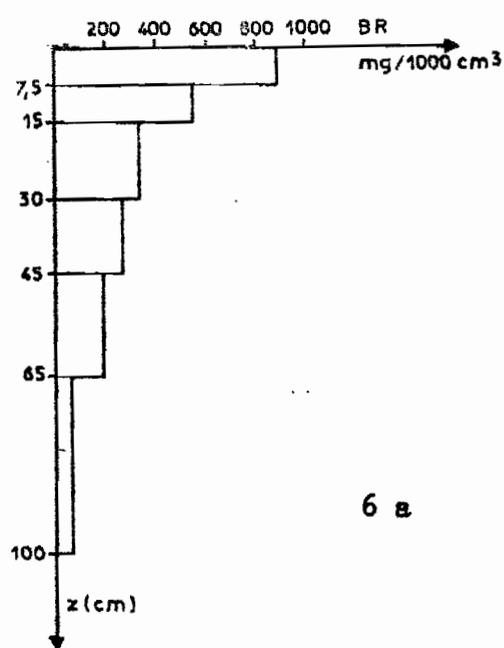
Selon la date de prélèvement, la pente de la droite (a) varie de $-0,03$ à $-0,02$ et l'ordonnée à l'origine (b) de 6,12 à 6,75.

50 % des racines se retrouvent dans les 25 premiers centimètres du sol en août et en septembre (tableau 2), alors qu'en octobre, ce pourcentage est obtenu dès 14 centimètres. Dans les 30 premiers centimètres, le sol renferme plus de 60 % des racines (72 % en octobre).

date de prélèvement	Août	Septembre	Octobre
profondeur(cm) correspondant à 50% des racines	24	26	14
% de racines dans les 30 premiers cm	62	58	72

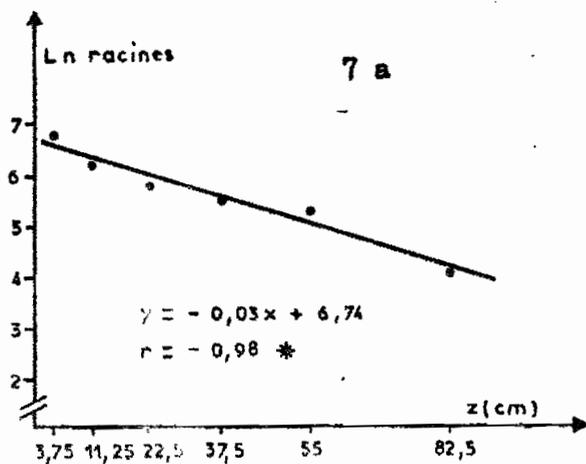
Tableau 2 : Caractéristiques de la distribution racinaire (OURSI).

Du tableau 2 et de la figure 6, il ressort que relativement, en octobre, les horizons supérieurs s'enrichissent au détriment des horizons inférieurs.

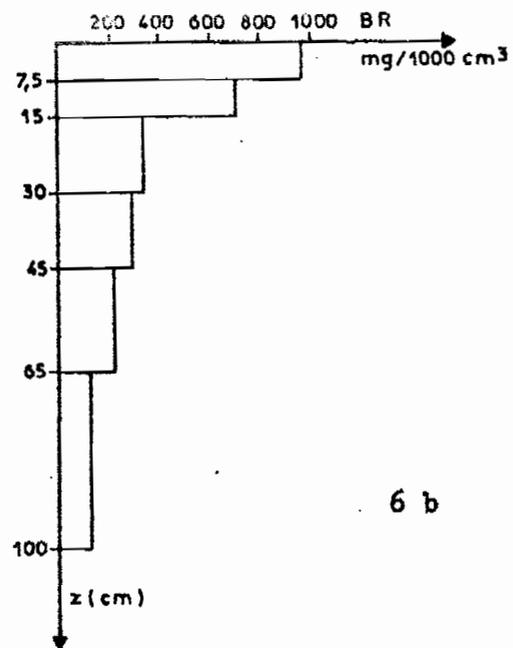


6 a

AOÛT

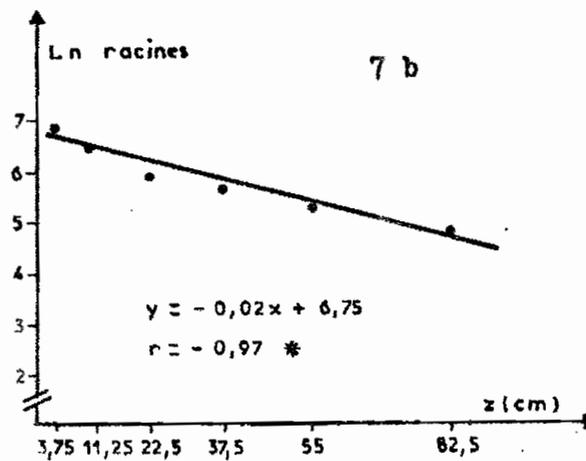


7 a

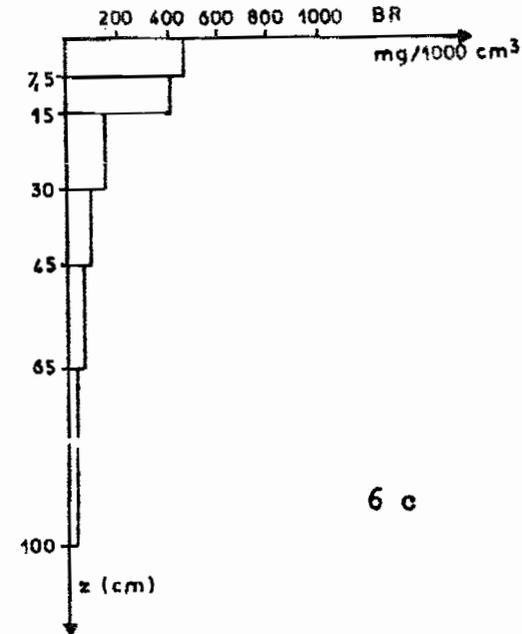


6 b

SEPTEMBRE

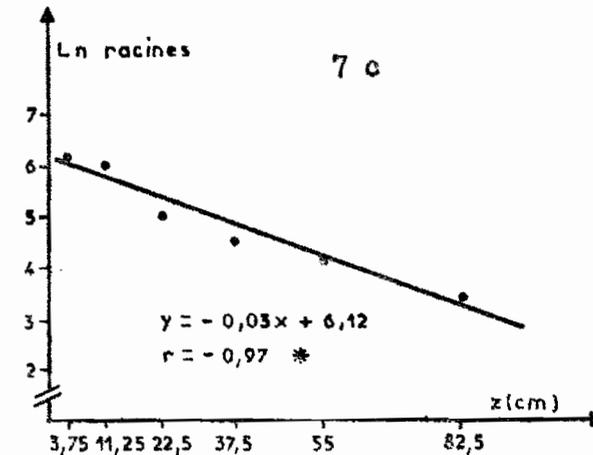


7 b



6 c

OCTOBRE



7 c

Figures 6 et 7 - Formation à Cenchrus biflorus sur cordon dunaire (OURSI)

Fig 6 (a, b, c) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ; Fig 7 (a, b, c,) :

logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

* significatif au seuil de 5 %.

3.2.1.2 - Biomasse racinaire

Pour les 3 dates de prélèvement, le tableau 3 donne les valeurs des biomasses racinaires (\bar{x} en gMs . m⁻²) et leur intervalle de confiance (IC pour p = 0,05).

Date de prélèvement	Août		Septembre		Octobre	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasses racinaires gMs . m ⁻²	261	26	310	15	126	22

Tableau 3 : Biomasse racinaire en fonction de la date de prélèvement(OURSI).

Maximum en septembre, la biomasse racinaire diminue nettement en octobre (différence significative du seuil de 5%).

3.2.2 - Piémont sableux de KOLEL (Cep)

Les prélèvements sont effectués jusqu'à 65 centimètres (1 mètre en août) sous un groupement à Cenchrus biflorus.

3.2.2.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite

Globalement, la forme de la distribution racinaire suit une exponentielle (figure 8). Le passage en données logarithmiques confirme cette observation. Cependant, en septembre, le coefficient de corrélation ($r = 0,89$) n'est pas significatif au seuil de 5% (mais significatif au seuil de 10 %). En août et octobre, les coefficients de corrélation sont significatifs au seuil de 5%. L'équation de la droite est (figure 9) :

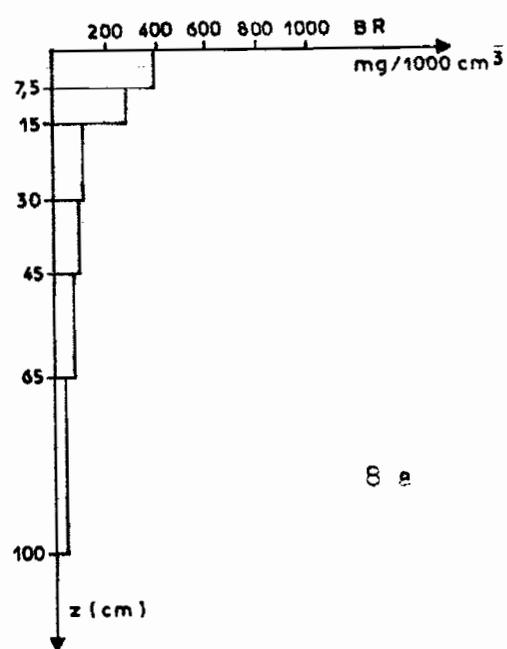
$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

a et b variant de -0,03 à -0,04 et de 5,91 à 6,23.

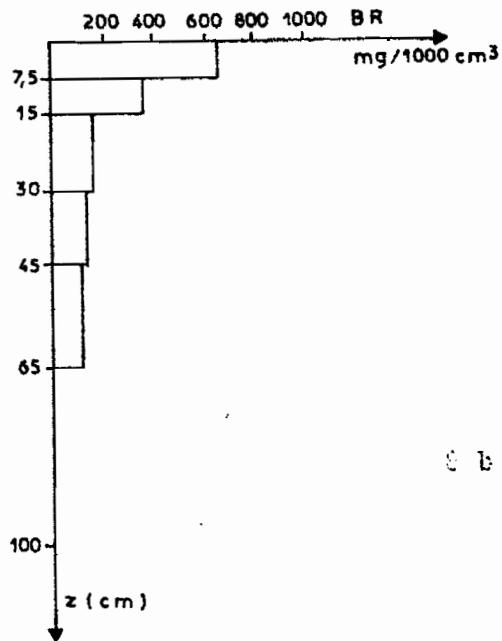
Le tableau 4 fournit les caractéristiques de la distribution racinaire.

date de prélèvement	Août	Septembre	Octobre
profondeur(cm) correspondant à 50% des racines	14	14	14
% de racines dans les 30 premiers cm	68	71	75

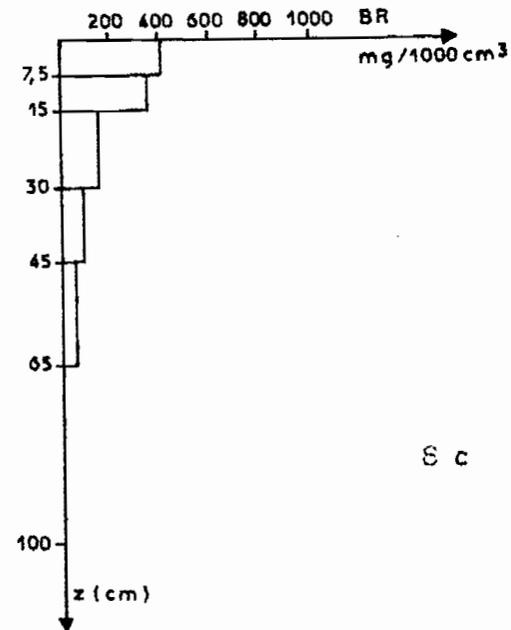
Tableau 4 :
Caractéristiques de
la distribution ra-
cinaire (KOLEL)



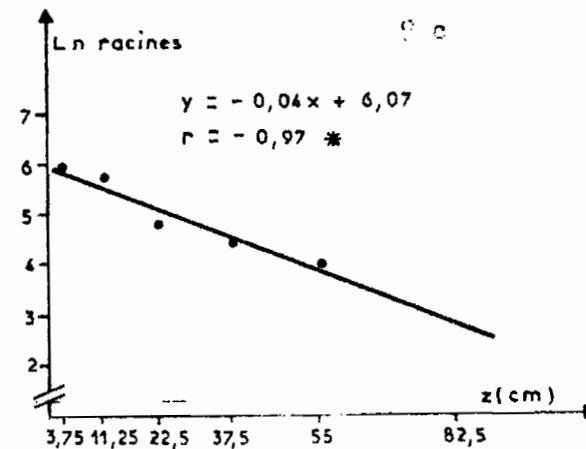
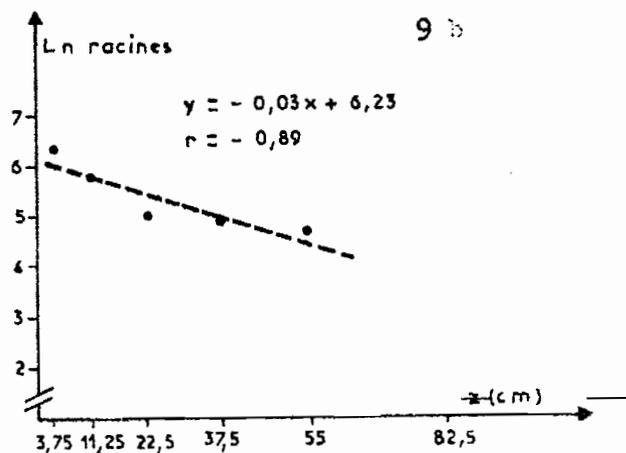
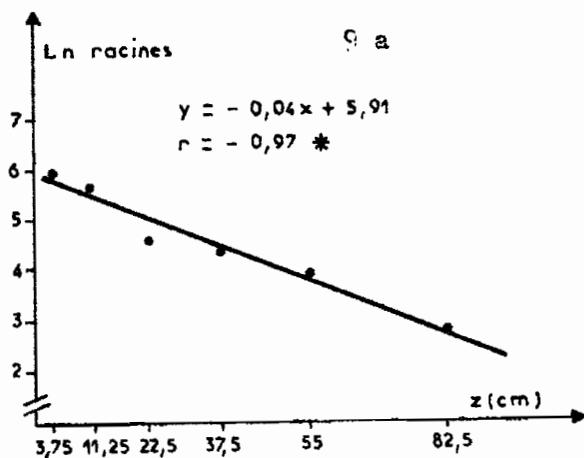
AOUT



SEPTEMBRE



OCTOBRE



Figures 8 et 9 - Formation à Cenchrus biflorus sur piémont sableux (JGLEL)

Fig 8 (a, b, c) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ; Fig 9 (a, b, c) :

Logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation

* significatif au seuil de 5 %.

50 % des racines se trouvent dans les 14 premiers centimètres du sol et les 30 premiers centimètres renferment de 68 à 75 % des racines. L'examen de la figure 8 montre que la distribution racinaire varie peu selon la date de prélèvement, sauf pour le premier horizon où l'on constate une augmentation de labiomasse racinaire en septembre.

3.2.2.2 - Biomasse racinaire.

Les valeurs des biomasses racinaires et leur intervalle de confiance ($p = 0,05$) sont portés dans le tableau 5.

date de prélèvement	Août		Septembre		Octobre	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasses racinaires gMs . m ⁻²	95	16	146	17	103	18

Tableau 5 : Biomasse racinaire en fonction de la date de prélèvement (KOLEL)

Les variations de la biomasse racinaire dans le temps sont faibles. La biomasse d'août (95 gMs . m⁻²) est cependant significativement différente ($p = 0,05$) de celle de septembre (146 gMs . m⁻²) qui correspond au maximum.

3.2.2 - Bas fond argileux de WINDE TIJLUKI(Spt)

Les prélèvements sont effectués jusqu'à 45 centimètres de profondeur (sol très dur et compact) sous un groupement à Fanicum laetum.

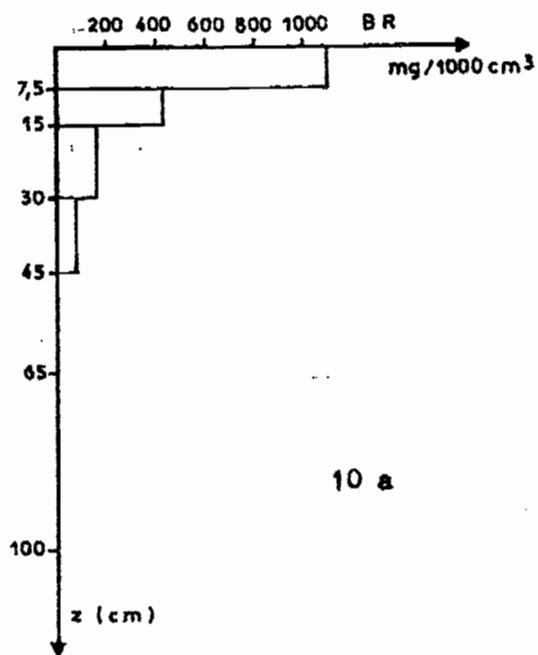
3.2.3.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite

Le passage des données en valeurs logarithmiques confirme l'allure exponentielle de la distribution des racines. On obtient des coefficients de corrélation de -0,98 en août et en octobre. En septembre, ce coefficient est plus faible (-0,88) mais significatif au seuil de 10 %. La relation est de la forme (figure 11) :

$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

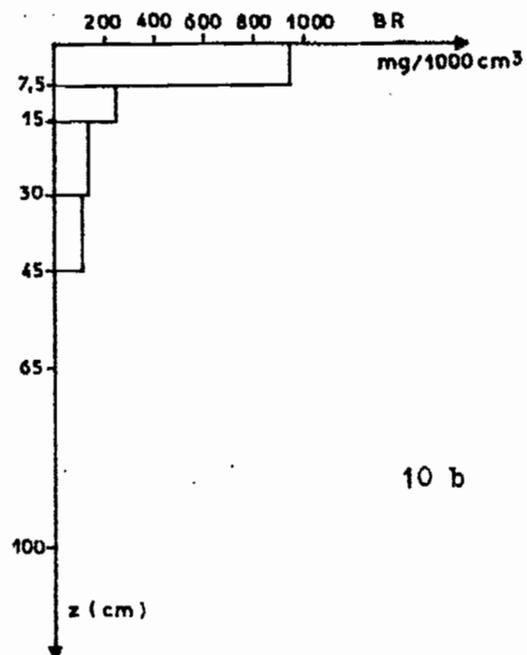
a variant de -0,06 à -0,08

b de 6,47 à 7,05.



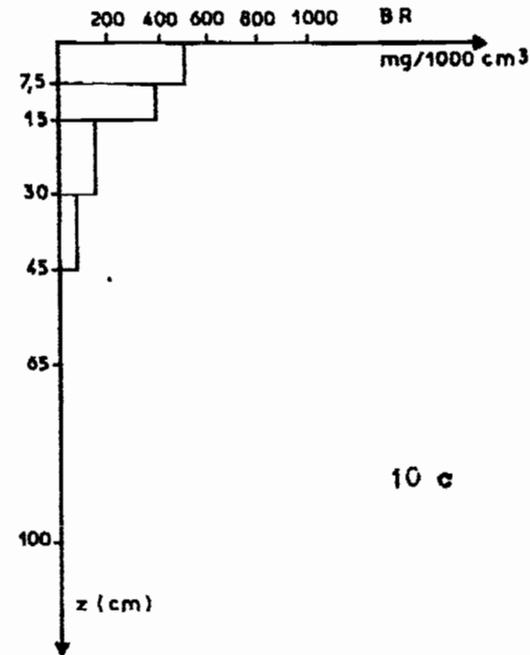
10 a

AOUT



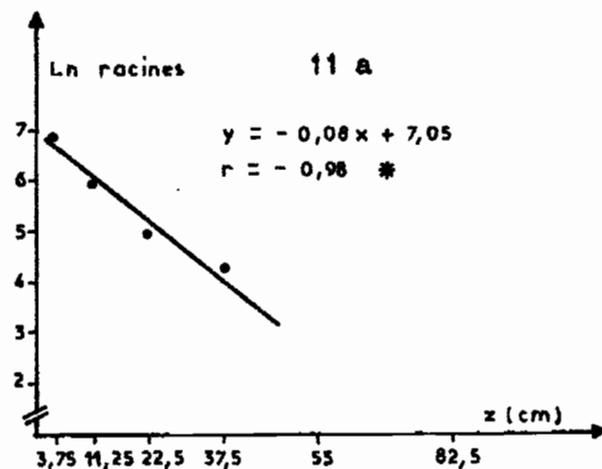
10 b

SEPTEMBRE



10 c

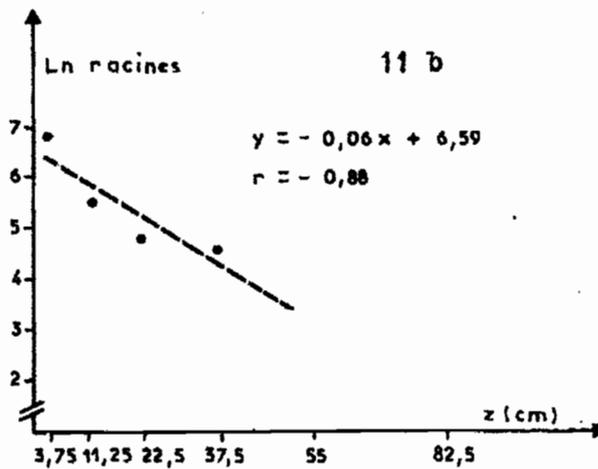
OCTOBRE



11 a

$$y = -0,08x + 7,05$$

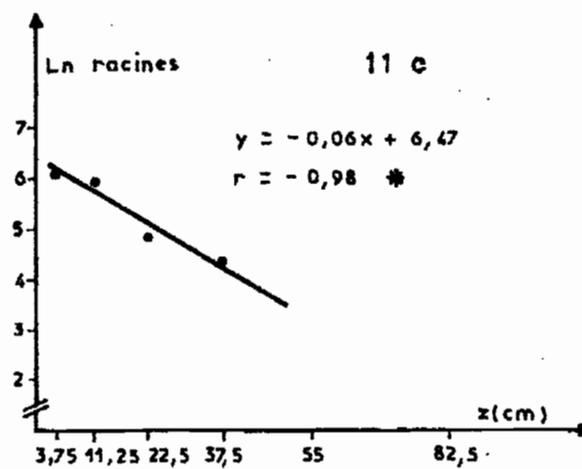
$$r = -0,98 *$$



11 b

$$y = -0,06x + 6,59$$

$$r = -0,88$$



11 c

$$y = -0,06x + 6,47$$

$$r = -0,98 *$$

Figures 10 et 11 - Formation à Panicum laetum sur bas-fond argileux (WINDE TIULUKI) -

Fig 10 (a, b, c) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ; Fig 11 (a, b, c) : logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

* significatif au seuil de 5 %.

Le tableau 6 montre que les racines se concentrent essentiellement dans les horizons superficiels. Dès 7 centimètres de profondeur, en août et en septembre, le sol renferme 50 % des racines (à partir de 10 centimètres en octobre). Les 30 premiers centimètres du sol renferment plus de 90 % des racines.

Date de prélèvement	Août	Septembre	Octobre
Profondeur (cm) correspondant à 50 % de racines	7	7	14
% de racines dans les 30 premiers cm	94	88	91

Tableau 6 : Caractéristiques de la distribution racinaire (WINDE TIULUKI)

L'examen de la figure 10 montre que le premier horizon, très riche en août et en septembre perd 50 % de ses racines en octobre.

3.2.3.2 - Biomasse racinaire.

Le tableau 7 donne les valeurs de biomasse racinaire ($\text{gMs} \cdot \text{m}^{-2}$) et leur intervalle de confiance ($p = 0,05$).

date de prélèvement	Août		Septembre		Octobre	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasse racinaire ($\text{gMs} \cdot \text{m}^{-2}$)	146	24	125	15	100	16

Tableau 7 : Biomasse racinaire en fonction de la date de prélèvement (WINDE TIULUKI).

La biomasse racinaire est maximale en août ($146 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) et décroît jusqu'en octobre. Cependant, les différences ne sont pas significatives ($p = 0,05$).

3.2.4 - Microbutte du glacis de GOUNTOURE (Ase)

Les prélèvements sont effectués jusqu'à 65 centimètres de profondeur sous un groupement à Schoenefeldia gracilis et Aristida mutabilis.

3.2.4.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite.

La forme de la distribution racinaire suit une exponentielle. Le passage en données logarithmiques met en évidence la relation ($r = -0,98$, figure 13) :

$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

La pente de la droite est de $-0,05$ à $-0,06$ et l'ordonnée à l'origine varie de 6,78 à 6,95.

Dans les 13 premiers centimètres, le sol renferme 50 % des racines (tableau 8) et les 30 premiers centimètres contiennent plus de 77 % des racines.

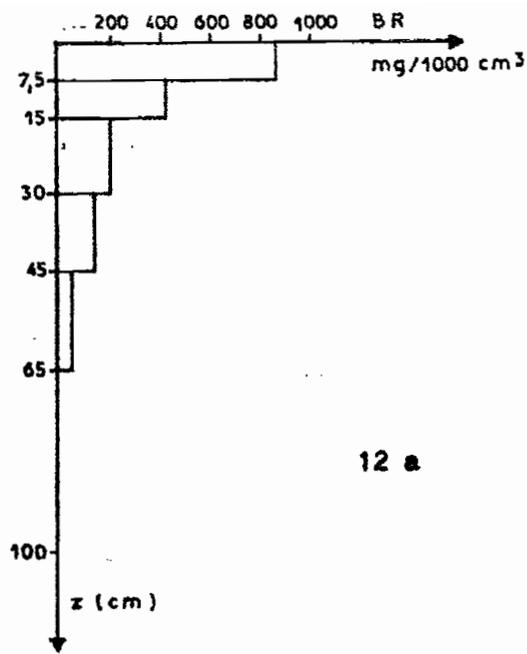
Date de prélèvement	Août	Septembre	Octobre
Profondeur (cm) correspondant à 50 % des racines	12	12	13
% de racines dans les 30 premiers cm	83	84	87

Tableau 8 : Caractéristiques de la distribution racinaire (GOUNTOURE - microbutte).

La figure 12 met en évidence que la distribution racinaire varie peu dans le temps avec une légère tendance à un enrichissement des horizons inférieurs.

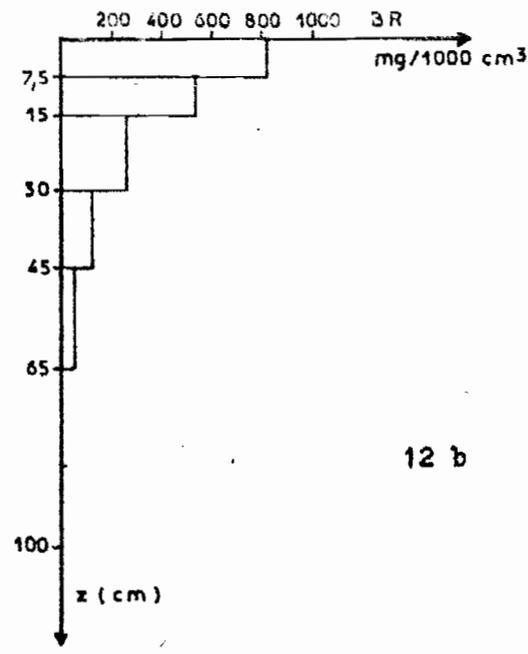
3.2.4.2 - Biomasse racinaire.

Le tableau 9 donne les valeurs de biomasse racinaire et leur intervalle de confiance.



12 a

AOUT



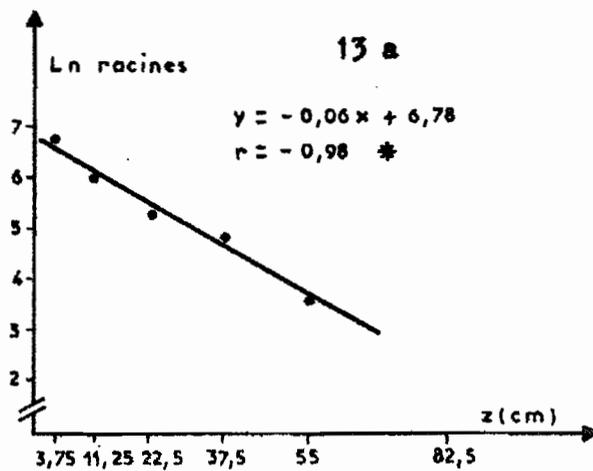
12 b

SEPTEMBRE

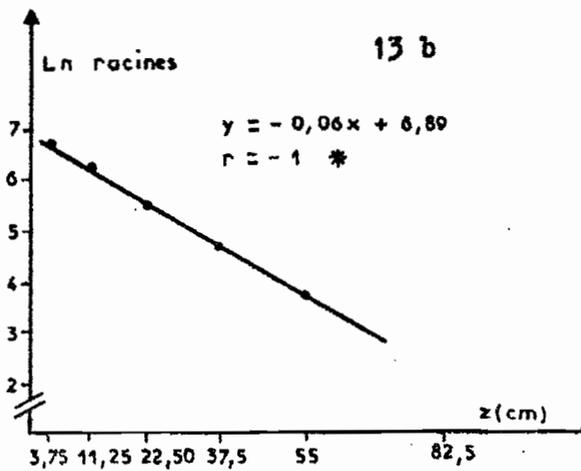


12 c

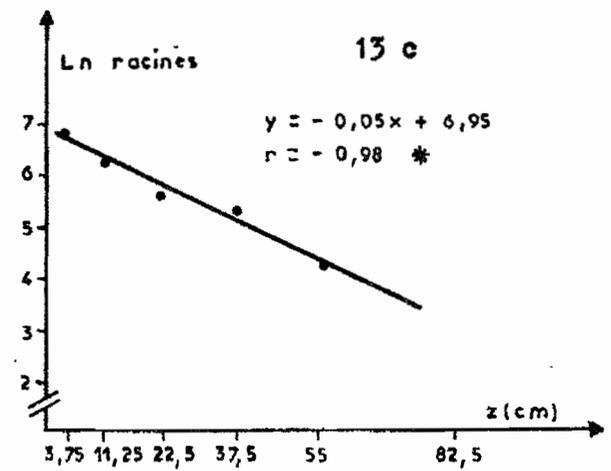
OCTOBRE



13 a



13 b



13 c

Figures 12 et 13 - Formation à Schoenefeldia gracilis et Aristida mutabilis sur microbutte de glaciais (GOUNTOURE) -

Fig 12 (a, b, c) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ; Fig 13 (a, b, c) : logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

* significatif au seuil de 5 %.

Date de prélèvement	Août		Septembre		Octobre	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasse racinaire (g.Ms . m ⁻²)	153	19	164	24	211	27

Tableau 9 : Biomasse racinaire en fonction de la date de prélèvement
(GOUNTOURE-microbutte)

D'août à octobre, la biomasse racinaire augmente mais de façon non significative. Le maximum, observé en octobre, est de 211 gMs . m⁻².

3.2.5.- Microdépression du glacis de GOUNTOURE (Ase)

Les prélèvements sont réalisés jusqu'à 45 centimètres de profondeur (65 cm en août) sous un groupement à Zornia glochidiata et Tripogon minimus.

3.2.5.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite.

Globalement, l'allure de la distribution racinaire suit une exponentielle. Le passage en données logarithmiques confirme cette observation mais en septembre, le coefficient de corrélation r n'est pas significatif au seuil de 5 % (significatif au seuil de 10 %). L'équation de la droite s'écrit (figure 15) :

$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

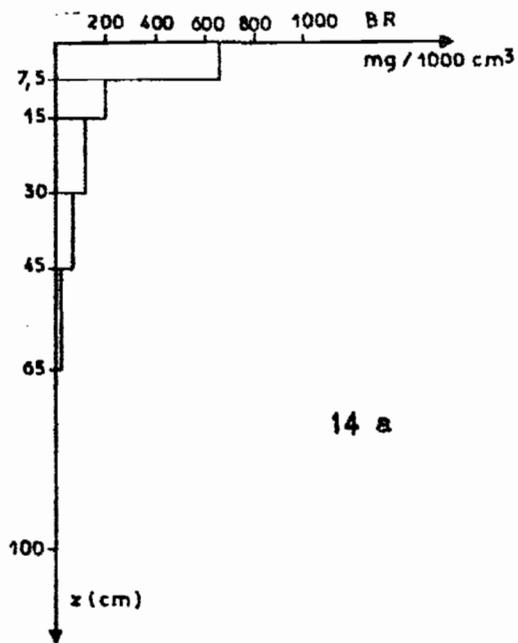
$$a \text{ variant de } -0,03 \text{ à } -0,06$$

$$b \text{ de } 5,40 \text{ à } 6,34.$$

Le tableau 10 donne les caractéristiques de la distribution racinaire.

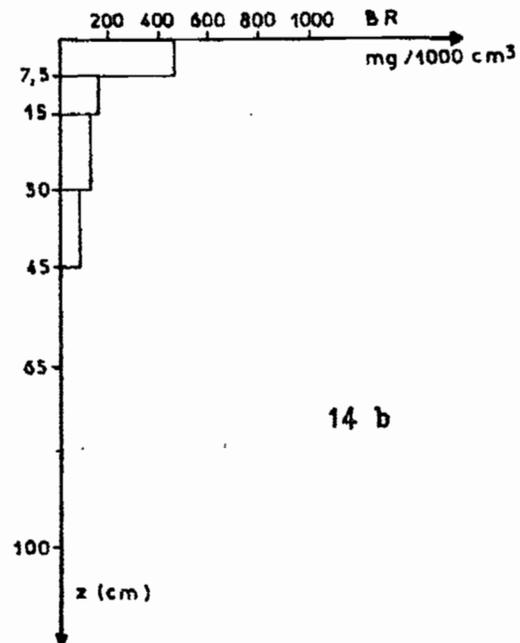
Date de prélèvement	Août	Septembre	Octobre
profondeur (cm) correspondant à 50 % des racines	7	7	14
% de racines dans les 30 premiers cm	88	84	82

Tableau 10 : Caractéristiques de la distribution racinaire (GOUNTOURE-microdépression)



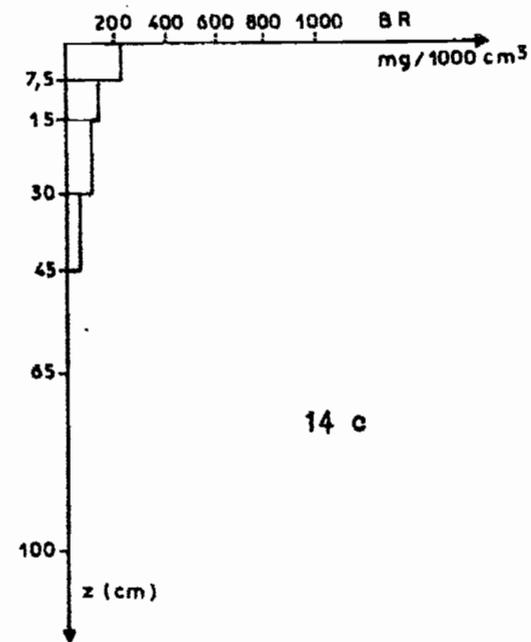
14 a

AOUT



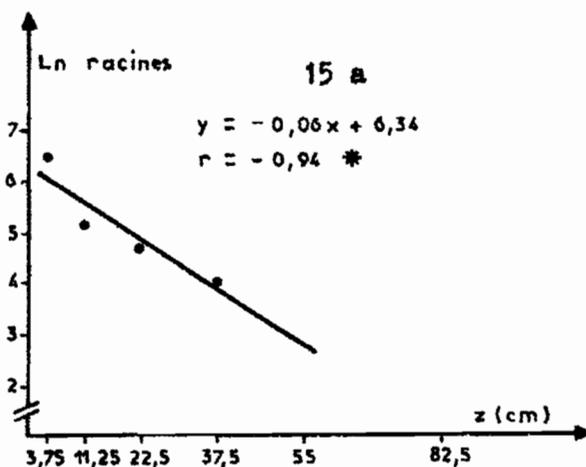
14 b

SEPTEMBRE



14 c

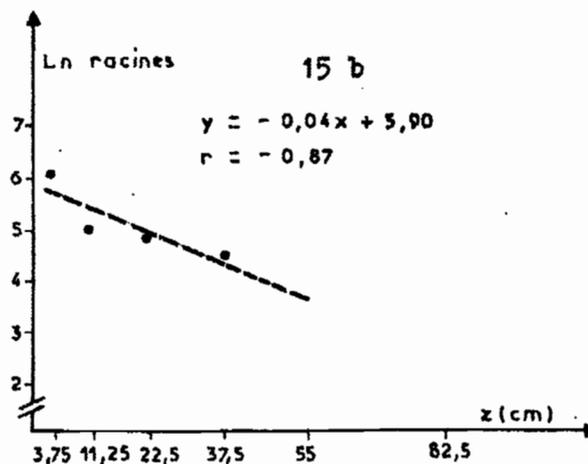
OCTOBRE



15 a

$$y = -0,06x + 6,34$$

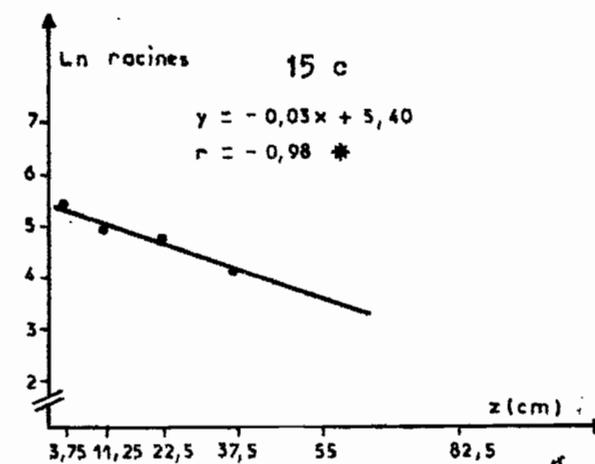
$$r = -0,94 *$$



15 b

$$y = -0,04x + 5,90$$

$$r = -0,87$$



15 c

$$y = -0,03x + 5,40$$

$$r = -0,98 *$$

Figures 14 et 15 - Formation à Zornia glochidiata sur microdépression de glacis (GOUNTOURE) -

Fig 14 (a, b, c) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ; Fig 15 (a, b, c) : Logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

* significatif au seuil de 5 %.

50 % des racines se trouvent dans les 7 premiers centimètres en octobre. Dans les 30 premiers centimètres, on obtient plus de 80 % des racines.

L'examen de la figure 14 montre que, en octobre, on a une diminution importante des racines dans le premier horizon, les horizons inférieurs variant très peu dans le temps.

3.2.5.2 - Biomasse racinaire

Du tableau 11, il ressort que la biomasse racinaire est maximale en août (90 gMs . m⁻²), diminue faiblement en septembre et atteint en octobre la valeur de 53 gMs . m⁻² (différence significative au seuil de 5 %)

Date de prélèvement	Août		Septembre		Octobre	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasse racinaire (gMs . m ⁻²)	90	13	78	8	53	7

Tableau 11 : Biomasse racinaire en fonction de la date de prélèvement (GOUNTOURE - micro-dépression).

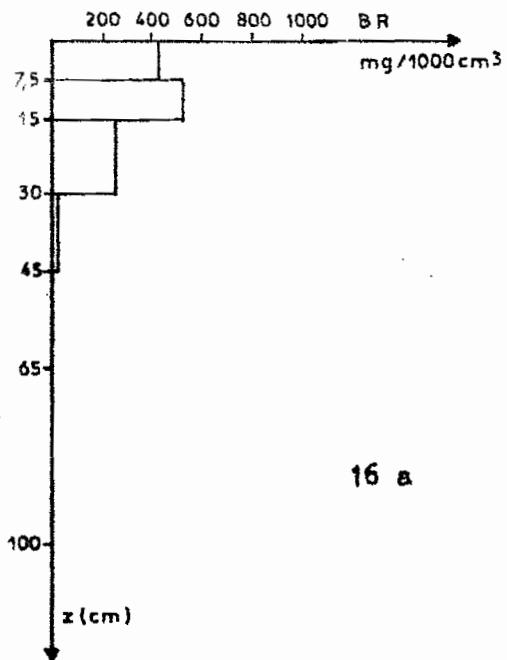
3.2.6 - Glacis de KOUNI-KOUNI

Les prélèvements sont effectués jusqu'à 45 centimètres de profondeur sous un groupement à Schoenefeldia gracilis.

3.2.6.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite

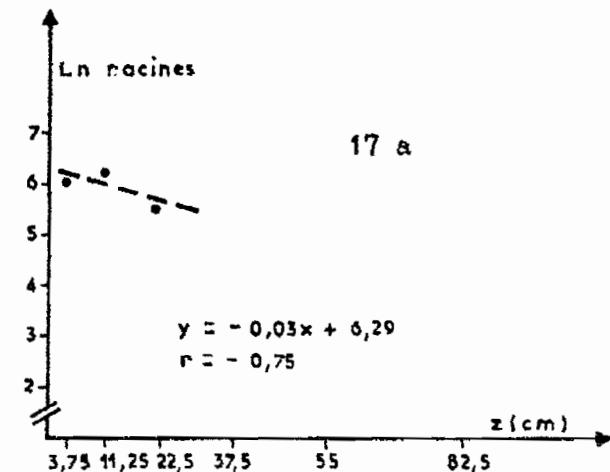
La forme des distributions racinaires se rapproche moins d'une courbe exponentielle, surtout en août et en septembre. Le passage en données logarithmiques confirme en partie cette observation. En août, le coefficient de corrélation est de -0,75 (non significatif au seuil de 5 % et 10 %). En septembre, il est de -0,91 (significatif à 10 %) et en octobre, il atteint une valeur proche de -1 (figure 17). La pente a de l'équation $\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$ est plus forte en septembre (-0,07 contre -0,04 en octobre).

50 % des racines sont présentes dans les 14 premiers centimètres. Les 30 premiers centimètres renferment de 85 à 100 % des racines (tableau 12).

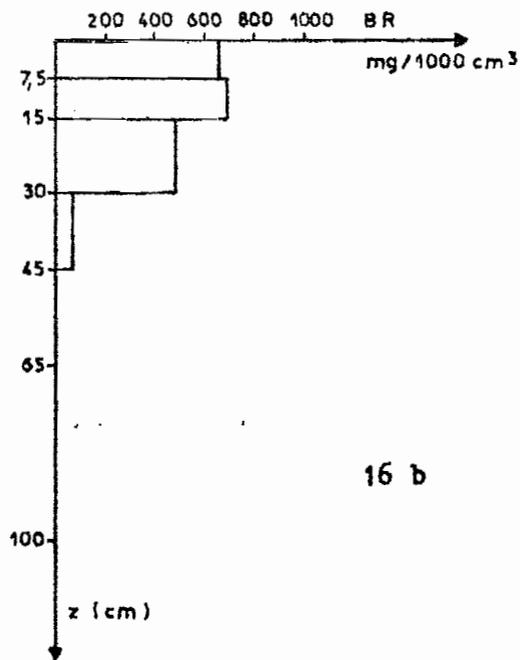


16 a

AOUT

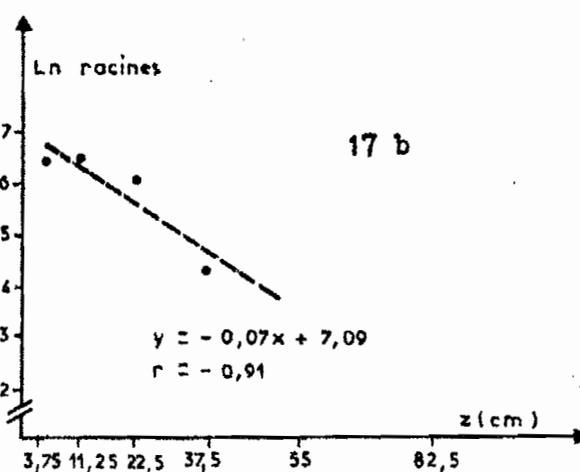


17 a

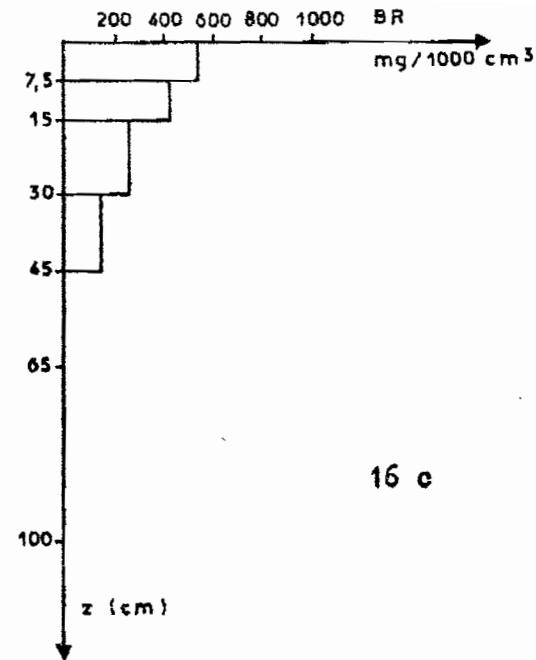


16 b

SEPTEMBRE

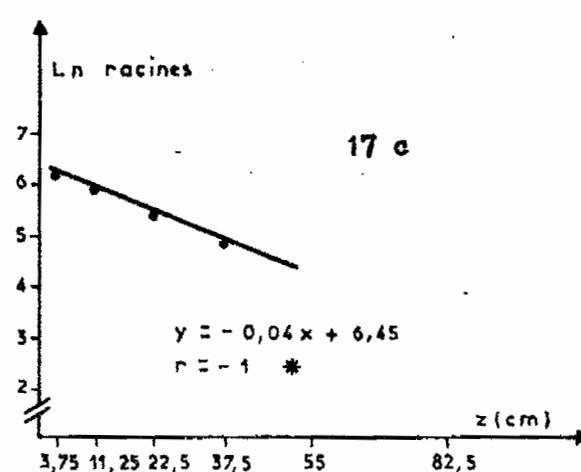


17 b



16 c

OCTOBRE



17 c

Figures 16 et 17 - Formation à *Schoenefeldia gracilis* sur glaciais (KOUNI KOUNI) -

Fig 16 (a, b, c) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ; Fig 17 (a, b, c) : Logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

* significatif au seuil de 5 %.

Date de prélèvement	Août	Septembre	Octobre
profondeur (cm) correspondant à 50 % des racines	11	14	14
% de racines dans les 30 premiers cm	100	94	84

Tableau 12 : Caractéristiques de la distribution racinaire (KOUNI-KOUNI)

L'examen de la figure 16 montre que les deux premiers horizons contiennent la même densité de racines (exprimée en mg/1000 cm³ de sol). De 15 à 30 centimètres, on trouve encore beaucoup de racines puis on observe une chute très nette au-delà de 30 centimètres (août et septembre). Cependant, en octobre, on constate que les racines descendent un peu plus profondément (15 % des racines au-delà de 30 centimètres).

3.2.6.2 - Biomasse racinaire

Le tableau 13 donne les valeurs de biomasse racinaire et leur intervalle de confiance (pour $p = 0,05$).

Date de prélèvement	Août		Septembre		Octobre	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasse racinaire (gMs . m ⁻²)	108	21	183	16	131	18

Tableau 13 : Biomasse racinaire en fonction de la date de prélèvement (KOUNI KOUNI)

Le maximum observé se situe en septembre (183 gMs . m⁻²). Au seuil de 5 %, la différence entre ce maximum et les valeurs d'août et d'octobre est significative.

3.2.7 - Glacis de BAS KOLEL (Sgr)

Les prélèvements sont effectués uniquement en septembre. La profondeur de prélèvement est de 45 centimètres.

Une série de prélèvements est réalisée sur le glacis proprement dit sous un groupement à Schoenefeldia gracilis, une autre série est faite au niveau d'une microdépression, sous un groupement à Schoenefeldia gracilis et Panicum laetum.

3.2.7.1 - Profil racinaire et ajustement à une droite

Le passage en données logarithmiques montre que les distributions suivent une loi exponentielle ($r = -0,98$ et $-0,96$, significatifs au seuil de 5 %). On a la relation (figure 19) :

$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

La pente de la droite (a) est plus élevée pour le glacis (-0,10 contre -0,04 pour la microdépression).

Le tableau 14 fournit les caractéristiques de la distribution racinaire.

micromilieu	glacis	micro-dépression
profondeur (cm) correspondant à 50 % des racines	9	14
% de racines dans les 30 premiers cm	97	83

Tableau 14 : Caractéristiques de la distribution racinaire (BAS KOLEL)

De ce tableau et de la figure 18, il ressort que :

- sur le glacis, les deux premiers horizons renferment une même quantité de racines et l'enracinement est très superficiel (50 % des racines dans les 9 premiers centimètres et moins de 3 % au-delà de 30 centimètres) ;

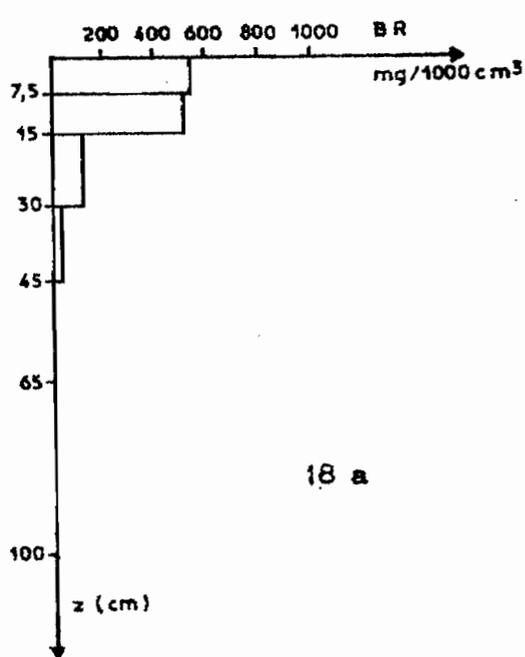
- dans la microdépression, 50 % des racines se trouvent dans les 14 premiers centimètres. Au-delà de 30 centimètres, le sol renferme encore plus de 15 % des racines.

3.2.7.2 - Biomasse racinaire

Les valeurs de biomasse racinaire et leur intervalle de confiance ($p = 0,05$) sont données dans le tableau 15.

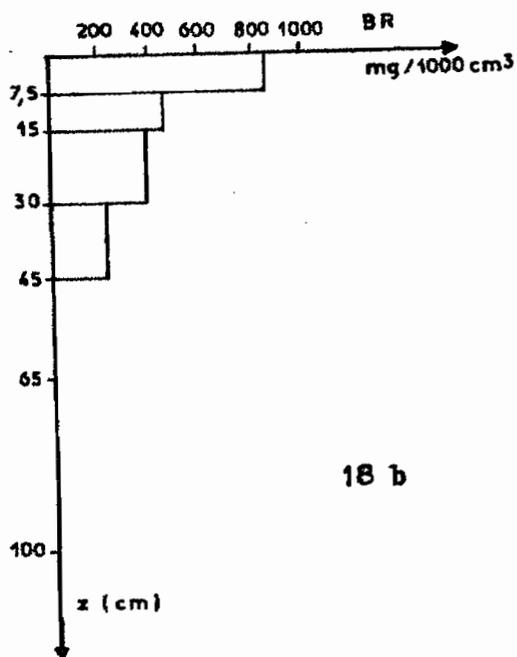
micromilieu	glacis		micro-dépression	
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC
Biomasse racinaire (g.Ms . m ⁻²)	102	18	189	25

Tableau 15 : Biomasse racinaire en septembre (BAS KOLEL)



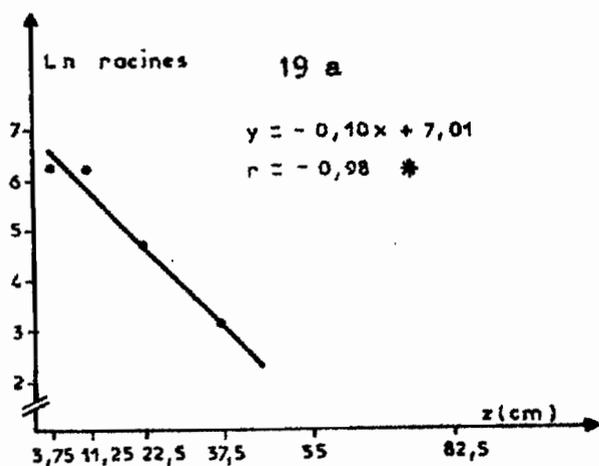
18 a

GLACIS



18 b

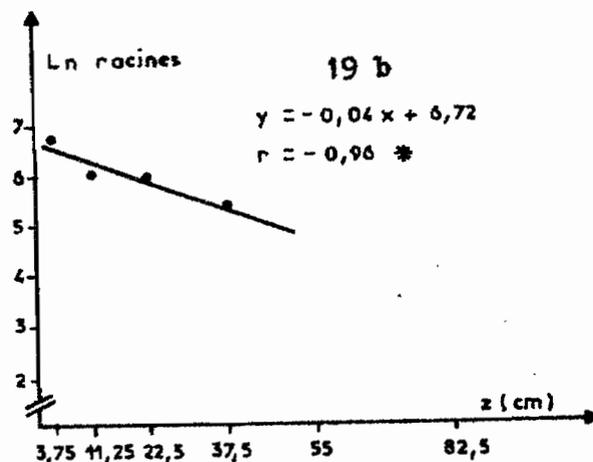
MICRODEPRESSION



19 a

$$y = -0,10x + 7,01$$

$$r = -0,98 *$$



19 b

$$y = -0,04x + 6,72$$

$$r = -0,96 *$$

Figures 18 et 19 - Formation à Schoenefeldia gracilis sur glacis et Schoenefeldia gracilis, Panicum laetum sur microdépression (BAS KOLEL) -

Fig 18 (a, b) : Biomasses racinaires (BR) en fonction de la profondeur (z) ;
 Fig 19 (a, b) : Logarithmes de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.
 y, r : équation de la droite de régression et coefficient de corrélation.

* significatif au seuil de 5 %.

3.3 - Discussion des résultats.

3.3.1 - Profils racinaires

La distribution racinaire en fonction de la profondeur suit généralement une loi exponentielle. La densité de racines ($\text{mg}/1000 \text{ cm}^3$) peut s'exprimer en fonction de la profondeur par la relation :

$$\text{Ln racines} = a \text{ profondeur} + b$$

Il faut cependant remarquer que les groupements de glaciis Sgl et Sgr ont un profil racinaire légèrement différent. Pour ces formations, on constate en effet que la densité de racines dans le deuxième horizon (7,5-15cm) est comparable à celle du premier horizon (0-7,5cm). Cela se traduit par une pente de droite plus forte à BAS KOLEL ($a = -0,10$) et par un coefficient de corrélation significatif seulement au seuil de 10 % en septembre à KOUNI KOUNI (en août, r est non significatif mais seulement trois couples de valeurs sont disponibles pour le calcul de la droite de régression). On retrouve une pente de droite relativement plus élevée dans le bas-fond de WINDE TIULUKI ($a = -0,06$ à $-0,08$ contre $-0,02$ à $-0,04$ pour les autres sites) avec un r significatif seulement à 10% en septembre. Ce résultat est lié à la forte quantité de racines présentes dans le premier horizon. Pour la même raison, le coefficient de corrélation pour la microdépression de GOUNTOURE n'est significatif qu'à 10 % en septembre.

BILLE (1977) met en évidence une relation $\log \text{ racines} = a \log \text{ profondeur} + b$. Malgré la discordance apparente entre ces deux résultats, il semble que les distributions racinaires soient tout à fait comparables. En effet, la transformation de nos données en "log racines" et "log profondeur" nous permet de retrouver une relation identique à celle de BILLE mais avec des coefficients de corrélation dans l'ensemble plus faibles. De même, à partir des données présentées par BILLE, il est possible de retrouver la relation que nous proposons sans altérer les coefficients de corrélation.

Globalement, il ressort que l'enracinement est très superficiel. Sur le cordon dunaire d'OURSI, où les racines descendent le plus profondément, le sol renferme 50 % des racines dans les 25 premiers centimètres. Pour les autres formations, ce pourcentage est obtenu entre 7 et 14 centimètres.

Ce résultat est en accord avec ceux de SINGH et YADAVA (1974) qui trouvent plus de 50% des racines dans les 10 premiers centimètres du sol et ceux de BILLE (1977) qui trouve plus de 85 % des racines dans les 50 premiers centimètres du sol.

L'examen comparé des pourcentages de racines présentes dans les 30 premiers centimètres du sol permet de répartir les sites en 3 groupes.

Le premier groupe est constitué par les formations Sgl, Sgr et Spt. Pour ces deux glacis et ce bas-fond, les 30 premiers centimètres du sol renferment plus de 90 % des racines. Cet enracinement très superficiel s'explique par la forte proportion d'argile présente dans le sol (35 % pour les deux glacis, 50 % pour le bas-fond ; tableau 16). Ce sol est compact et très dur de sorte que les racines progressent difficilement. Les fronts d'humectation (*) descendent à 45 centimètres pour le glacis de BAS KOLEL et le bas fond, à 30 centimètres pour le glacis de KOUNI KOUNI. Ces profondeurs correspondent à celles à partir desquelles ces sols renferment une quantité négligeable de racines (tableau 16).

Le deuxième groupe est représenté par les formations Ams et Cep. Dans ces deux formations de dune et de piémont, les 30 premiers centimètres du sol contiennent moins de 75 % des racines. Cet enracinement moins superficiel s'explique par la texture plus sableuse du sol (plus de 85 % de sable, tableau 16). Dans ces sols, le front d'humectation descend plus profondément (75 cm pour le piémont et 165 cm pour la dune). La profondeur de 75 cm pour le piémont de KOLEL correspond à celle à partir de laquelle les racines deviennent négligeables. Sur la dune d'OURSI, les sondages ne descendent pas en dessous de 1 mètre et il n'est pas possible de faire un rapprochement entre l'enracinement et le front d'humectation.

Le troisième groupe rassemble les formations Ase et Sgr microdépression. Ces formations sont intermédiaires entre les formations sableuses et les formations argileuses. Les 30 premiers centimètres du sol renferment entre 75 et 90 % des racines. L'interprétation des résultats est dans ce cas plus délicate.

Pour le glacis Sgr de BAS KOLEL, on ne dispose pas de données correspondant aux microdépressions.

*Les valeurs de front d'humectation concernent des mesures provisoires faites en 1977 (SICOT, 1979). Ces valeurs sont donc données à titre indicatif.

Formations		dune OURSI	Piémont KOLEL	glacis GOUNTOURE butte	glacis GOUNTOURE dépression	glacis BAS KOLEL dépression	glacis BAS KOLEL	glacis KOUNI- KOUNI	bas-fond WINDE- TIULUKI
profondeur d'enracinement (cm)		100	70	65	45	45	45	30	45
% de racines dans les 30 premiers cm		58-72	68-75	77-83	82-88	83	97	84-100	88-94
Granulométrie (1)	Sable	85-95	85-90	80 en surface 55 au delà de 30 cm		/	50	50	35
	Argile	10	10	15 en surface 40 au delà de 30 cm		/	35	35	50
Front d'humec- tation (cm)(2)		165	75	/	/	/	45	30	45

(1) valeurs moyennes

(2) valeurs moyennes relevées en 1977 (M. SICOT, 1979)

Tableau 16 : Caractéristiques de l'enracinement et caractéristiques du sol.

A GOUNTOURE (Ase), seules les données correspondant aux microbuttes sont disponibles. Encore faut-il être très prudent quant aux éventuelles interprétations. Du point de vue hydrique, cette formation est très complexe et la présence de nappes d'eau souterraines rend difficile une relation avec l'enracinement. Ces sols renferment une forte proportion de sable en surface (80 %) et deviennent argileux à partir de 30 centimètres (55 % de sable, 40 % d'argile ; tableau 16).

3.3.2 - Biomasses racinaires

Les valeurs maximales de biomasse sont prises en compte pour distinguer les différentes formations. Les résultats consignés dans le tableau 17 montrent que la formation dunaire d'OURSI se différencie significativement des autres unités étudiées (310 gMs . m⁻² contre moins de 200 pour les autres unités). Les biomasses racinaires des formations de GOUNTOURE microdépression et du glacis de BAS KOLEL sont les plus faibles (90 et 102 gMs . m⁻²). Entre ces deux extrêmes, on trouve les autres formations dont les biomasses sont comprises entre 150 et 200 gMs . m⁻².

Les biomasses rapportées sont tout à fait compatibles avec les valeurs proposées par différents auteurs (tableau 1, § 121). SINGH et YADAVA (1974), en milieu tropical sec en Inde, trouvent en moyenne 117 gMs . m⁻². BILLE (1977) a travaillé dans la même zone climatique que la mare d'Oursi. Bien que l'ordre de grandeur de ses résultats est comparable à nos valeurs, on peut noter certaines différences. Sur un milieu dunaire, il obtient 126 gMs . m⁻² contre 310 gMs à Oursi. Les deux formations sont cependant très différentes structurellement ; le recouvrement à OURSI est nettement plus important. Dans un bas-fond, il obtient 330 gMs . m⁻² contre 146 gMs dans le bas fond de WINDE TIULUKI. Cette différence est liée au tapis de Panicum laetum plus fourni et plus dense dans la formation étudiée par BILLE.

La comparaison entre les biomasses racinaires et les biomasses épigées est donnée à titre indicatif dans la mesure où :

1 - les valeurs de biomasse épigée correspondent à des moyennes calculées à partir de prélèvements qui ne sont pas effectués exactement au même endroit que les prélèvements racinaires ;

Formation	B. racinaire maximum gMs . m ⁻²		B. épigée maximum (*) gMs . m ⁻²		B. racinaire	B. racinaire
	\bar{x}	IC	\bar{x}	IC	B. épigée	B. racinaire B. épigée
dud OURSI	310	15	147	26	2,11	0,68
piémont KOLEL	146	17	140	31	1,03	0,51
bas-fond WINDE-TIULUKI	146	24	38	9	3,84	0,80
glacis GOUNTOURE butte	164	24	73	10	2,23	0,69
glacis GOUNTOURE dépression	90	13	68	25	1,32	0,57
glacis KOUNI KOUNI	183	16	27	8	6,78	0,87
glacis BAS KOLEL	102	18	52	16	1,96	0,67
glacis BAS KOLEL dépression	189	25	/	/	/	/

(*) M. GROUZIS, 1979 ; résultats non publiés.

Tableau 17 : Biomasses racinaires, Biomasses épigées, leur intervalle de confiance (p = 0,05) et leur rapport.

2 - la biomasse épigée correspond à la production du cycle 1978 alors que la biomasse racinaire comprend le cycle 1978 et les racines mortes du (ou des) cycle précédent ;

3 - la biomasse épigée est pâturée dans certaines formations par le bétail alors que la biomasse racinaire varie très peu.

Cependant, à partir des données disponibles (GROUZIS, résultats non publiés), il est possible d'avoir une idée du rapport entre les parties aériennes et souterraines.

Les rapports biomasse racinaire sur biomasse épigée et biomasse racinaire sur biomasse racinaire plus biomasse épigée ont été calculés (tableau 17). Il ressort que :

- dans l'ensemble, ces rapports sont très élevés, traduisant une forte proportion de racines par rapport aux parties aériennes ;
- pour les formations de KOUNI KOUNI et de WINDE TIULUKI, les racines sont 4 à 7 fois plus importantes que les biomasses aériennes ;
- c'est à KOLEL et à GOUNTOURE microdépression que les rapports sont les plus faibles. Les biomasses racinaires sont comparables aux biomasses épigées ;
- les autres formations sont intermédiaires avec des biomasses racinaires deux fois plus élevées que les biomasses épigées.

Ces résultats préliminaires confirment toutefois l'importance des systèmes racinaires par rapport aux parties aériennes en milieu défavorable du point de vue de l'humidité (BRAY, 1963 ; BILLE, 1977).

4. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Les mesures effectuées au cours du cycle de végétation 1978 ont permis de caractériser les systèmes racinaires de six formations herbacées de la zone sahélienne de la mare d'Oursi.

Du point de vue méthodologique, la méthode des sondages verticaux s'avère satisfaisante, malgré la difficulté de pénétration dans les sols durs (bas-fond et glacis). L'évolution de la précision des mesures en fonction de l'effectif de l'échantillonnage met en évidence la nécessité de réaliser au moins 10 répétitions. Au-delà de 15, l'amélioration de la précision est faible compte tenu du surcroît de travail occasionné.

Les valeurs des biomasses racinaires sont élevées (90 à 310 gMs . m²) et sont supérieures ou égales à celles obtenues pour les biomasses épigées (jusqu'à 7 fois plus de racines pour le glacis de KOUNI KOUNI).

Globalement, il ressort que l'enracinement en fonction de la profondeur suit une loi exponentielle traduite par la relation :

$$\ln \text{ racines} = a \text{ profondeur} + b$$

Cependant, l'examen du pourcentage de racines présentes dans les 30 premiers centimètres de sol permet de répartir les formations en 3 groupes. Cette distinction entre les différentes formations peut être mise en parallèle avec les caractéristiques granulométriques des sols et, à un degré moindre, avec la profondeur du front d'humectation.

Au terme de cette étude, il nous faut signaler ses limites.

Tout d'abord la très grande hétérogénéité des sols conduit à des précisions sur la moyenne de l'ordre de 10-20 % mais pouvant atteindre 30 % dans certains cas. Cette hétérogénéité est atténuée par la réalisation de l'étude à grande échelle (10 à 30 prélèvements espacés de 50 centimètres sur une ligne). Bien que réalisés sur les groupements végétaux dominants, les résultats obtenus sont difficilement extrapolables à l'ensemble d'une formation.

En deuxième lieu, une grande incertitude est due à l'impossibilité de déterminer la part de racines produites pendant le cycle de végétation étudié et le reliquat des racines produites au cours des cycles précédents.

Ces différentes remarques associées aux résultats acquis au cours de ce cycle de végétation nous amènent à envisager pour l'hivernage 1979 le développement des points suivants :

- précision des rapports biomasse racinaire, biomasse épiquée et recherche d'une relation allométrique permettant d'estimer la biomasse racinaire à partir des données de biomasse épiquée ;

- détermination des racines effectivement produites pendant le cycle de végétation étudié (par comparaison avec une zone témoin dans laquelle la mise en place de la végétation est empêchée par l'emploi d'un désherbant total).

REFERENCES . BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRAL H., 1977. - Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral. Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 77, 116 pages.
- BILLE J.C., 1977. - Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 65, 81 pages.
- BILLE J.C., POUPON H., 1972. - Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal. Biomasse végétale et production primaire nette. La Terre et la Vie, 26, 366-382.
- BONZON B., PICARD D., 1969. - Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 2, 3-18.
- BONZON B., PICARD D., BONNIN E., 1973. - Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. Données synthétiques ponctuelles et moyennes. Modalités de calcul. Précision des estimations. ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, Abidjan, Laboratoire d'Agronomie.
- BONZON B., PICARD D., BONNIN E., 1973. - Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. Paramètres du développement racinaire. Modalités de mesure. Transcription sur cartes perforées des données de base. ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, Abidjan, Laboratoire d'Agronomie.
- BRAY J.R., 1963. - Root production and the estimation of net productivity. Canadian journal of Botany, 41, 65-72.
- CESAR J., 1971. - Etude quantitative de la strate herbacée. La savane de Lamto (Côte d'Ivoire). thèse de 3^e cycle, Paris, 95 pages multigr.

- CESAR J., 1971. - Comparaison de quelques méthodes d'étude quantitative du système racinaire de la strate herbacée. Note dactylographiée.
- CESAR J., MENAUT J.C., 1974. - Analyse d'un écosystème tropical humide : la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). II. Le peuplement végétal. Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto, n° spécial, fascicule II.
- CHOPART J.L., NICOU R., 1976. - Influence du labour sur le développement radiculaire des différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. L'Agron. Trop., 1, 7-28.
- GROUZIS M., 1979. - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute-Volta). ORSTOM, Centre de Ouagadougou.
- HENIN S., GRAS R., MONNIER G., 1969. - Le profil cultural. Masson et Cie éd., Paris, 320 pages.
- LEFRUN J.C., 1977. - Esquisse pédologique à 1/50000 des alentours de la mare d'Oursi avec notice et analyse des sols. ORSTOM, Centre de Ouagadougou.
- LIETH H., 1968. - The détermination of plant dry-matter production with special emphasis on the underground parts. in "Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire", Actes du colloque de Copenhague, UNESCO, 179-186.
- NEWBOULD P.J., 1968. - Methods of estimating root production. in "Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire", Actes du colloque de Copenhague, UNESCO, 187-190.
- FICARD D., 1969. - Comparaison de deux techniques de prélèvement d'échantillons de racines. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 2, 19-31.
- ROSSETTI C., 1968. - Communication orale. in "Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire", Actes du colloque de Copenhague, UNESCO, P. 190.
- SCHUURMAN J.J., GOEDEWAGEN M.A.J., 1964. - Methods for the examination of root systems and roots. Centre for Agric. Publ. and Doc., Wageningen, Netherlands, 86 pages.

- SICOT M., 1979. - Analyse préliminaire des données recueillies en 1977. Critiques des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien. ORSTOM. Centre de Ouagadougou
- SINGH J.S., YADAVA P.S., 1974. - Seasonal variation in composition, plant biomass and net primary productivity of a tropical grassland at Kurukshetra, India. *Ecological Monographs*, 44, 351-376.
- TOUTAIN B., 1976. - Notice de la carte des ressources fourragères au 1/50000. A.C.C., lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).
- WALLACE A. BAMBERG S.A., CHA J.W., 1974. - Quantitative studies of roots of perennial plants in the Mojave desert. *Ecology*, 55, 1160-1162.