

CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA VIE  
AGROPÉDOLOGIE

N° 49

1999

Mise en valeur des sols dérivés  
des massifs ultrabasiques  
du Sud de la Nouvelle-Calédonie

Étude de l'effet de la profondeur d'amendements  
phosphatés, calciques et organiques  
sur le développement général du mandarinier

Claire DERAM

Convention Province Sud / ORSTOM  
N° 294-PVF/DDR  
Notifiée le 12 novembre 1996  
Avenant 2 du 17 décembre 1997

CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA VIE  
AGROPÉDOLOGIE

N° 49

1999

Mise en valeur des sols dérivés  
des massifs ultrabasiques  
du Sud de la Nouvelle-Calédonie

Étude de l'effet de la profondeur d'amendements  
phosphatés, calciques et organiques  
sur le développement général du mandarinier

Claire DERAM

Convention Province Sud / ORSTOM  
N° 294-PVF/DDR  
Notifiée le 12 novembre 1996  
Avenant 2 du 17 décembre 1997



Institut de recherche  
pour le développement

# SOMMAIRE

<b>1. CARACTÉRISATION DU SITE D'EXPÉRIMENTATION.....</b>	<b>1</b>
1.1. LE CHOIX DU SITE D'EXPÉRIMENTATION.....	1
1.2. LE CHOIX DE L'ESPÈCE ET DE LA VARIÉTÉ À GREFFER.....	1
1.3. LA PARCELLE D'EXPÉRIMENTATION.....	2
<b>2. OBSERVATIONS SUR LES PARTIES AÉRIENNES : PRINCIPAUX RÉSULTATS.....</b>	<b>4</b>
2.1. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	4
2.2. RÉSULTATS.....	5
<b>3. OBSERVATIONS SUR LE SYSTÈME RACINAIRE : PRINCIPAUX RÉSULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>8</b>
3.1. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	8
3.2. RÉSULTATS ET DISCUSSION SUR LES PARCELLES PLANTÉES AVEC CITRANGE TROYER.....	12
3.2.1. <i>Influence de la compacité du sol sur le développement racinaire.....</i>	<i>12</i>
3.2.2. <i>Résultats moyens du nombre de racines sur les trois traitements.....</i>	<i>13</i>
3.2.3. <i>Études statistiques sur le nombre de racines.....</i>	<i>18</i>
3.2.4. <i>Résultats moyens sur la taille des racines sur les trois traitements.....</i>	<i>23</i>
3.2.5. <i>Comparaison entre les porte-greffes Citrus volkameriana et Citrange troyer.....</i>	<i>27</i>
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>30</b>

Le sud de la Nouvelle-Calédonie est recouvert en grande partie par des sols ferrallitiques ferritiques, or ces sols ont pour inconvénient majeur une très forte carence en phosphore. Un amendement en cet élément est donc nécessaire à la mise en valeur agricole de ce type de sol. Des essais sur du maïs ont permis de préciser ces amendements, mais il n'existe encore aucune connaissance pour les plantes pérennes.

L'expérimentation vise à étudier l'effet de la profondeur d'amendements phosphatés, calciques et organiques sur le développement général du mandarinier, avec l'objectif de mettre en évidence une meilleure utilisation du profil pédologique par les racines en amendant le sol en profondeur. L'étude d'un verger de mandariniers permet d'autre part de suivre les effets à long terme de cet amendement.

## **1. Caractérisation du site d'expérimentation**

### **1.1. Le choix du site d'expérimentation**

Le verger expérimental de Mandariniers est implanté sur un faciès de glacis de sols ferrallitiques ferritiques de la Station Forestière de Ouénarou, dans le parc provincial de la Rivière Bleue. Son implantation correspond à des conditions de sol proches de celles observées chez les maraîchers du sud de Nouméa dans une zone dont la mise en valeur s'accélère.

Les travaux de E. BOURDON et BECQUER T. en 1992 et 1993 (carte des sols de l'ensemble du site d'expérimentation, et caractéristiques physiques et chimiques moyennes du sol du site du verger en annexe1), nous permettent de connaître les caractéristiques moyennes des sols de la zone.

### **1.2. Le choix de l'espèce et de la variété à greffer**

Une seule espèce sera testée en raison, à la fois, de la difficulté de trouver un terrain homogène suffisamment vaste, et du coût de mise en place et de suivi d'un tel dispositif. Le mandarinier a finalement été retenu parce qu'il est réputé très difficile à cultiver dans ces conditions de sol, contrairement à l'oranger, et au limetier.

Le choix du porte-greffe devait être fait entre *Citrus volkameriana*, réputé plus rustique mais donnant des fruits de qualité inférieure (plus acide et moins sucré), et *Citrange troyer*, moins rustique mais avec une meilleure qualité induite des fruits. *Citrange troyer* a été choisi là aussi pour sa plus grande difficulté de culture.

Deux variétés de mandariniers ont été proposées : *Beauty*, variété importée avec un port en boule, et *Ponkan*, variété locale avec un port dressé. Etant donné que la pépinière de Port-Laguerre

disposait de 150 plants *Citrange troyer* greffés avec la variété *Beauty*, c'est cette dernière qui a été retenue.

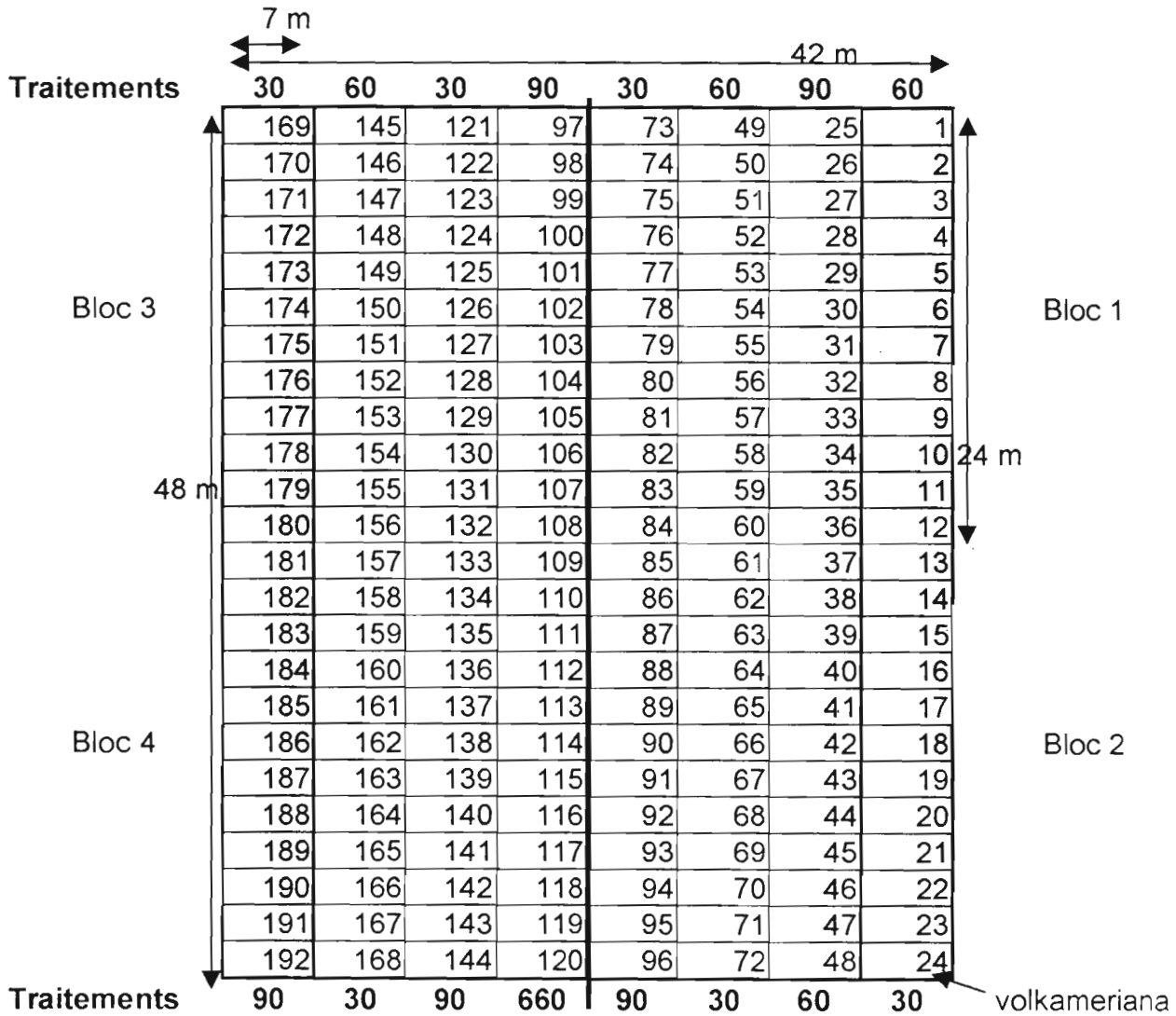
Deux bandes supplémentaires de part et d'autre de l'essai, ont été réalisées avec des porte-greffes *Citrus volkameriana* greffés avec la variété *Beauty*, afin de comparer l'intérêt de ce porte-greffe par rapport à celui de *Citrange troyer* sur ce type de sol.

### **1.3. La parcelle d'expérimentation**

L'amendement a été apporté par tranches de 30cm sur des profondeurs de 0-30 cm, 0-60 cm et 0-90 cm. Les quantités appliquées ont été de 6 t/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (sous forme de superphosphate triple titrant 46%de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 2 t/ha de CaO (sous forme de croûte calcaire à 42% de CaO, broyée à 2mm), et de 20 t/ha de compost urbain.

Il s'agit d'un essai en blocs complets équilibrés avec un seul facteur contrôlé, l'épaisseur de la couche amendée, à trois modalités (30, 60 et 90 cm) et quatre répétitions. Le nombre de plants est de 12 par blocs. Douze parcelles sont ainsi obtenues, soit seize parcelles au total en prenant en compte les quatre parcelles de bordures plantées avec un porte-greffe différent.

### Schéma du dispositif du verger de Ouénarou



## **2. Observations sur les parties aériennes : principaux résultats**

### **2.1. Matériels et méthodes**

Les différentes mesures, faites par le Centre de Recherche et d'Expérimentations Agronomiques (CREA) deux fois par an (janvier, juin) depuis 1998, ont pour but de suivre le développement végétatif des mandariniers.

Sur les conseils du CIRAD-FLHOR, les mesures sont :

- la hauteur maximale de l'arbre (en cm, réalisée à la règle)
- la largeur sur le rang (en cm, réalisée à la règle)
- la largeur inter-rang (en cm, réalisée à la règle)
- le diamètre du tronc à 10 cm au-dessous du point de greffe (en cm, réalisée au pied à coulisse, perpendiculairement au rang)
- le diamètre du tronc à 10 cm au-dessus du point de greffe (en cm, réalisée au pied à coulisse, perpendiculairement au rang)

Il faut compter de 5 à 10% d'erreur sur les mesures, car celles-ci dépendent fortement de la personne qui les a réalisées, et de l'endroit où la règle ou le pied à coulisse ont été positionnés.

## 2.2. Résultats

Tableaux récapitulatifs des valeurs moyennes corrigées<sup>1</sup> par parcelles (en cm), puis des analyses de variance :

Mesures prises le 21 janvier 1998 :

*PG Citrange troyer*

Traitement	Parcelle	Diamètre dessous greffe	Diamètre dessus greffe	Hauteur pied	Largeur sur rang	Largeur inter-rang
0-30 cm	L4.BI	3.9	4.8	177.9	144.3	157.8
	L3.BII	4.3	3.6	146.5	137.7	151.5
	L6.BIII	3.2	4.3	158.6	145.2	142.4
	L7.BIV	4.1	3.1	153.4	132.5	132.2
30-60 cm	L3.BI	4.3	3.4	151.5	144.1	129.2
	L2.BII	4.4	3.2	153.9	137.5	129.8
	L7.BIII	5	4	177.4	165	162.1
	L5.BIV	4.4	3.5	161.8	140.1	147.6
60-90 cm	L2.BI	4.5	3.4	166.2	137.2	141.8
	L4.BII	3.5	4.3	147.5	145.4	130.3
	L5.BIII	4.9	3.7	160	148.4	142.3
	L6.BIV	4.7	3.6	167.3	152.4	156.3

*PG Citrus volkameriana*

0-30 cm	L1.BII	4.6	3.5	148.6	149.8	158.7
	L8.BIII	5.2	4.7	176.6	170.6	174.3
30-60 cm	L1.BI	5	4	148.9	171.7	162.3
60-90 cm	L8.BIV	5.3	3.9	179	167.1	159.9

<sup>1</sup> Moyenne corrigée : moyenne calculée à partir des 12 valeurs sans prendre en compte celles non comprises dans l'intervalle moyenne +/- 2\*écart-type



Analyse de variance :

Paramètre	Unité	Moyenne générale	Coef. de variation (%)	Probabilité	Moyenne par traitement			Classement
					0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Diamètre dessous greffe	cm	4.27	13.36	0.70	3.87	4.52	4.40	
Diamètre dessus greffe	cm	3.74	14.98	0.40	3.95	3.52	3.75	
Hauteur totale	cm	160.17	6.70	0.04	159.1	161.1	160.2	
Largeur sur rang	cm	144.02	5.63	0.49	139.9	146.3	145.8	
Largeur inter-rang	cm	143.60	10.02	0.08	145.9	142.1	142.6	

Mesures prises le 30 juin 1998 :

*PG Citrange troyer*

Traitement	Parcelle	Diamètre dessous greffe	Diamètre dessus greffe	Hauteur pied	Largeur sur rang	Largeur inter-rang
0-30 cm	L4.BI	6.6	5.2	246.5	174.2	181.1
	L3.BII	6	4.8	209.7	189.3	201.3
	L6.BIII	6.6	5	206.3	177.2	194.1
	L7.BIV	5.8	4.5	206.5	163.8	176.6
30-60 cm	L3.BI	5.8	4.4	197	189.3	175
	L2.BII	5.9	4.2	221.5	168.2	185
	L7.BIII	7	5.6	235.7	190.2	209.1
	L5.BIV	5.9	4.7	218.4	160.4	179.5
60-90 cm	L2.BI	6	4.7	233.9	186.9	201.7
	L4.BII	6.1	5	219.3	174.7	175.9
	L5.BIII	6.6	5	219.5	185	198.3
	L6.BIV	6.8	5.2	218.8	193	203.4

*PG Citrus volkameriana*

0-30 cm	L1.BII	6	4.5	227.5	184.2	190.6
	L8.BIII	7.4	5.1	261.9	188.3	204.9
30-60 cm	L1.BI	6.4	4.7	230.2	194.4	217.2
60-90 cm	L8.BIV	7.3	4.7	266.5	228	204.5

### Analyse de variance :

Paramètre	Unité	Moyenne générale	Coef. de variation (%)	Probabilité	Moyenne par traitement			Classement
					0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Diamètre dessous greffe	cm	6.26	7.68	0.19	6.25	6.15	6.37	
Diamètre dessus greffe	cm	4.86	8.84	0.27	4.87	4.72	4.97	
Hauteur totale	cm	219.42	8.29	0.10	217.2	218.1	222.9	
Largeur sur rang	cm	179.3	7.42	0.38	176.1	177.0	184.9	
Largeur inter-rang	cm	190.0	6.31	0.35	188.3	187.1	194.8	

Il n'y a pas, pour les deux séries de mesures, d'effet significatif de la profondeur d'amendement phosphaté sur l'appareil végétatif aérien des mandariniers.

Suite à l'observation des arbres sur le terrain, il semblerait d'autre part que les mandariniers greffés sur *Citrus Volkameriana* soient légèrement plus grands que ceux greffés sur *Citrangle Troyer*.

### Mandariniers greffés sur *Citrus volkameriana* :



Mandariniers greffés sur *Citrange Troyer* :



### **3. Observations sur le système racinaire : principaux résultats et discussion**

#### **3.1. Matériels et méthodes**

L'observation de l'appareil racinaire des mandariniers, nécessaire pour déterminer l'influence de la profondeur d'amendement, s'est faite au moyen de profils racinaires.

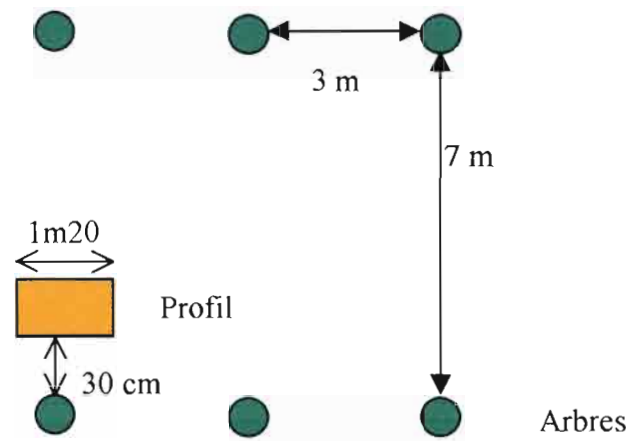
Le protocole suivi, identique pour chaque arbre étudié, est le suivant :

- choix d'un arbre par parcelle, dont les caractéristiques de l'appareil végétatif aérien sont proches de la moyenne des mesures réalisées sur cette parcelle ;

- ouverture d'une fosse de 1m10 de profondeur, 1m20 de longueur et 1m de large, creusée à 30 cm du tronc de l'arbre et parallèlement au rang ;

Au total, seize profils racinaires ont donc été réalisés, soit douze avec des porte-greffes *Citrange troyer*, et quatre avec *Citrus volkameriana*.

Emplacement de la fosse :



- mesure de la compacité du sol

Cette dernière est effectuée avec un pénétromètre de poche à aiguille conique de type Yamanaka (Moreau et Nagumo, 1995) sur la surface au pied du plant, faisant  $1 \text{ m}^2$ , en suivant une maille de  $5 \times 5 \text{ cm}$  (soit 400 mesures par plants). Un cadre en bois, avec quadrillage de fils de Nylon, fixé contre la paroi face au tronc du mandarinier, permet de respecter le maillage des mesures. Les mesures de pénétrométrie sont exprimées en millimètres (mm) d'enfoncement de l'aiguille conique dans le sol, ou en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  de pression exercée. Une représentation cartographique des données est ensuite réalisée à l'aide du logiciel TRANSFORM 3.3.0 68K.



Positionnement du cadre de mesure :



- relevé des racines

Il est réalisé par comptage des impacts racinaires observés dans chacune des mailles de la grille. Préalablement au comptage, la paroi de la fosse a été rafraîchie au couteau puis lavée au pulvérisateur avec de l'eau afin de bien faire apparaître les racines. De plus, celles-ci sont coupées à 1 cm environ de la surface plane verticale du sol.

On note le nombre de racines de diamètre inférieur à 1 mm, ainsi que la présence, le nombre et le diamètre des racines plus importantes. Deux représentations cartographiques des données sont ensuite réalisées à l'aide du logiciel TRANSFORM 3.3.0 68K. La première rend compte du nombre

total de racines (diamètre inférieur et supérieur à 1 mm) par maille. La seconde donne une estimation de la taille totale des racines, pour cela on additionne les diamètres de toutes les racines présente dans une maille<sup>2</sup>.

Profil du plant 180 avec le cadre :



- description macro-morphologique rapide des profils culturaux<sup>3</sup>

L'observation des 90 premiers centimètres du sol, après rafraîchissement de la paroi de la fosse au couteau, permet de caractériser les principaux volumes structuraux du sol à partir, notamment, de la structure, de la texture et de la couleur. Trois prélèvements de sol sont réalisés respectivement dans les horizons 0-30, 30-60 et 60-90 cm afin de vérifier les différents amendements reçus par ces horizons. Occasionnellement, des poches résiduelles d'engrais présentes dans le sol ont été prélevées dans le même but.

<sup>2</sup> Taille des racines = diamètres des racines plus importantes + nombre de racines de 1 mm de diamètre ou moins

<sup>3</sup> Hénin et al., 1969 ; Manichon, 1982

- observation du pivot de l'arbre

La terre est ensuite dégagée au couteau jusqu'au pied de l'arbre, sans endommager les racines principales, de manière à laisser apparaître la motte de terre noire du pochon de plantation du jeune plant, et le départ des racines. Cette opération a pour but d'observer le comportement des racines à l'interface entre la terre du pochon de plantation et celle de la parcelle, ainsi que la présence ou l'absence d'une racine pivot.

Des photos ont été prises pour chaque arbre lors du comptage des racines et de l'observation du pivot.

### **3.2. Résultats et discussion sur les parcelles plantées avec Citrange Troyer**

NB : Une fiche graphique reprenant les mesures réalisées sur chaque profil se trouve en annexe 2.

#### **3.2.1. Influence de la compacité du sol sur le développement racinaire**

D'après l'étude d'Emmanuel Bourdon<sup>4</sup>, un seuil pénétrométrique de 20 mm (ou 6.29 kg/cm<sup>2</sup>) semble indiquer la limite à partir de laquelle les racines de la végétation naturelle ne peuvent plus pénétrer dans le sol. On peut supposer dès lors que la compacité du sol, qui dépasse sur l'ensemble des profils que rarement les 20 mm, n'empêche pas le développement racinaire des mandariniers. Les coefficients de corrélation<sup>5</sup> réalisés entre les matrices de pénétrométrie, et celles du nombre de racines des profils, montrent cependant qu'il existe une relation certaine entre ces mesures.

---

<sup>4</sup>Emmanuel Bourdon - Evaluation de la compacité des sols ferralitiques ferritiques de Nouvelle-Calédonie - Rapport n°26, 1994

<sup>5</sup> 11 coefficients sur les douze réalisés sont compris entre -0.4 et -0.1, et sont donc significatif (pour 400 valeurs).

### 3.2.2. Résultats moyens du nombre de racines sur les trois traitements

Moyenne (sur les 4 plants) du nombre de racines sur le traitement 0-30cm :

Représentation de la grille maillée :

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
5	0	0	0	0	0	0,75	0,25	0,5	0	2,25	3,25	0,5	4	5,5	2,5	4,25	2	6,5	4,75	6,75	
10	6,25	14,3	7,5	10	11	11,5	10,8	8,75	9	6,75	7	8	5	7	7,5	10,8	15,5	19	11	15	
15	18,8	22	16,8	17,5	13	10	8,25	8,5	15,8	12,5	11,3	5,5	14,8	11,5	16,8	16,5	20,8	26,3	17,5	16,3	
20	18	16	19,5	12,5	12,3	8,75	9,5	10,8	11	10,3	9,5	10,3	11	10,8	11	8,5	13,8	11,5	9,25	12	
25	13,3	12	5,75	8	8,5	8,25	3,75	6,25	11	9,25	6,5	3,75	3,25	9,75	10,5	8,25	5,5	11,8	13	10,3	
30	10,5	7,5	7	5,25	5,25	4	5,75	6,5	5,5	5,75	5,25	3,75	3,5	7,25	6	5,75	8,25	7,25	10	4,5	
35	4,25	2,25	2,25	2,5	4	3,5	5,75	3,75	4	4,25	4,25	6,25	4,5	4,75	3,75	3	2,75	4,5	6,75	4,25	
40	6,25	3,5	3,75	1,5	3,5	2,75	2	3	4,5	3	2,25	1,75	2,25	2,75	3	2,75	3,5	3,25	4	2,75	
45	2,5	1	1,5	0,75	1,5	1,75	2,5	0,75	2,25	2	1,25	2,75	3,25	3,5	2,75	1,25	0,5	3,25	2,5	1,75	
50	1,75	1,5	1,25	1	1	0,5	0	1	1	1,5	1,5	2	0,75	0,75	0,5	0	1	2,5	0,5	0,25	
55	0	0,25	0	0,5	0	0	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0
60	0	0,75	0,25	0,25	0,25	0	0	0,75	0,75	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0,5	0
65	0,75	0,25	0	0,5	0	0	0,25	0	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0
70	0,5	0,25	0,75	0,75	0,75	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0
75	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0
80	0	0	1,25	0,5	0,5	0,25	0,5	0	0	0	0	0,25	0	0	0,25	0,75	0	0	0	0	0
85	0	0,5	0	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0
90	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Moyenne (sur les 4 plants) du nombre de racines sur le traitement 30-60cm :

Représentation de la grille maillée :

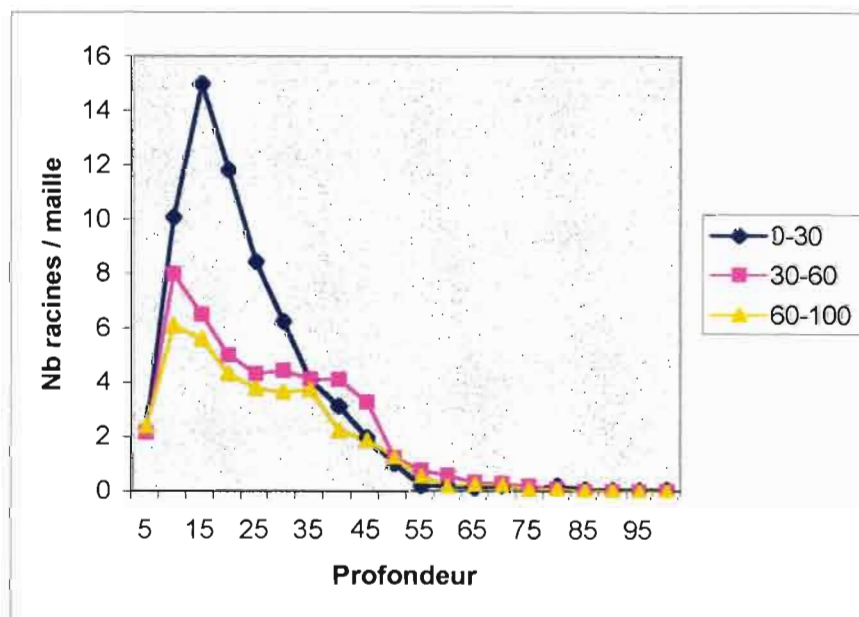
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
5	5,75	4,25	1,75	1,25	2,25	1,25	1,25	0,75	1	0,75	0	0,25	0,25	0	0	2	1,75	2,25	6,5	9,5
10	11	12,8	9	9,5	8	9,5	11,5	3,25	3,25	4	5,25	5,5	7,25	4,5	5	8	12,5	8,75	9,25	11,8
15	7,75	6,5	7,5	6	7	6	6	8	6,75	8,75	5,5	6	2,5	6	3,75	5,75	6,25	9	7	8
20	5,25	3,75	4,75	4	4,75	4,5	4,5	5	3,75	7	6	5,25	5	5,5	4,25	4,25	4,25	8,75	4,25	5
25	3,5	2	1,75	2,75	5	4	2,5	5	5,5	5,5	4,5	5	3,75	4,75	6	5	5,5	3,25	5,5	5,25
30	5	3,75	1,25	2,5	2,75	5,25	3	4,75	3,75	6	3,75	3	5,25	4,5	4,25	4,25	4	8,25	7	6
35	3,75	2,25	3,75	2,75	4,25	5	4,25	4,25	5,25	6,5	2,75	5,5	4,75	5,5	1	1,5	3,75	4,25	5,5	5,75
40	2,25	3,75	2	5	7	4,5	6,5	4	7,25	3,75	2,5	4,75	6,75	4,25	4,25	2,5	0,75	3,75	4	2,25
45	1,25	1	2,5	6,25	5,75	2,75	3	3	3,75	3,25	5,5	5,75	3,75	1,5	2,5	3	1	4,25	4,25	1,25
50	0,75	0,25	2	3,75	3,75	3,25	0,5	1,75	0,5	0,25	0,25	1,5	0,25	0,5	0,75	0,75	1,75	1,25	0,5	0,25
55	0	0	1	0	0,5	2	0,75	1,25	0,25	1,25	0,75	2	0,75	0	1,25	0,5	1,75	0	0,75	0,25
60	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25	1	2	0,75	0	0	0,75	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0	1	1	0,5
65	0,25	0	0	0,25	0,75	1,25	0,75	0	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	1	0,75	0,5	0	0,5
70	0,5	0,75	1,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,5	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0,25	0,75	0
75	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0,75	0,75	0,25	0	0,25	0
80	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Moyenne (sur les 4 plants) du nombre de racines sur le traitement 60-90cm :

Représentation de la grille maillée :

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
5	5	1,33	1	2,33	2,33	1	0,33	0	0,33	0	0	0	1,33	4,67	4,33	8,67	8,67	1,67	2,67	1,67
10	8	5	8	5,33	7,33	10,3	6,67	3,33	1,33	1,33	1	2	3	3,33	6,33	11,3	10	7,67	12	8
15	2,67	4	1,67	4	2,33	4,67	11,3	11,3	7,33	6	2,33	2	6	8	7,33	8,67	7	1,67	3,67	9,67
20	3,67	4	4,33	3,33	4,33	2,67	3,67	6	5,67	5,33	2	6	5,67	6	7	2,67	2,33	2,33	4,67	4,67
25	2,67	1	3,33	3,33	1,33	3	0,33	3,67	3,67	4,33	4	6,33	6	3,67	5,67	3,67	5,33	5,67	6,33	2,67
30	1,67	3	0,67	2	4	4	3,33	3,33	4	4	5,67	8	3,33	3	4	4	1,33	2,67	4,67	6,33
35	3	1	1,67	2	1,67	1,67	2,67	3,33	2,33	4,67	7,33	7,33	4,67	9,67	4	3,67	4	2,67	5,33	2,33
40	1,33	3,33	0,67	2	0,67	1	2	2,33	1,33	1	2,67	3,67	0,67	0,67	2,67	3,67	2,67	3,33	4,67	3,67
45	4,33	0,33	2,67	2	0,67	1	0,33	1	2,67	1,33	1	1,33	3	2	3	3,33	3,67	1,33	2	0,67
50	1	1,33	1,67	1	0,33	0,33	0	0,33	2,33	1,67	3,33	2	1,33	1,67	2	1,33	1,33	0,67	0,67	0,33
55	0,67	0,67	0	0,67	1,67	0,67	0	0,33	0,33	2	0,33	1	0	0	0,33	0	0	0,33	1	1
60	0	0	0,33	0,33	0	0	0	0	0,67	0	0,33	0,67	0,67	0	0,33	0	0,33	0	0	0,33
65	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,33	0,33	0	0	0	0	1,33	0,33	0,33	0,67	0	1,67
70	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,33	0,33	0	0,67	1,33	0,33	1	0	0	0,33	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
80	0	0	0	0	0	0	0,67	0,33	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0	0,33	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

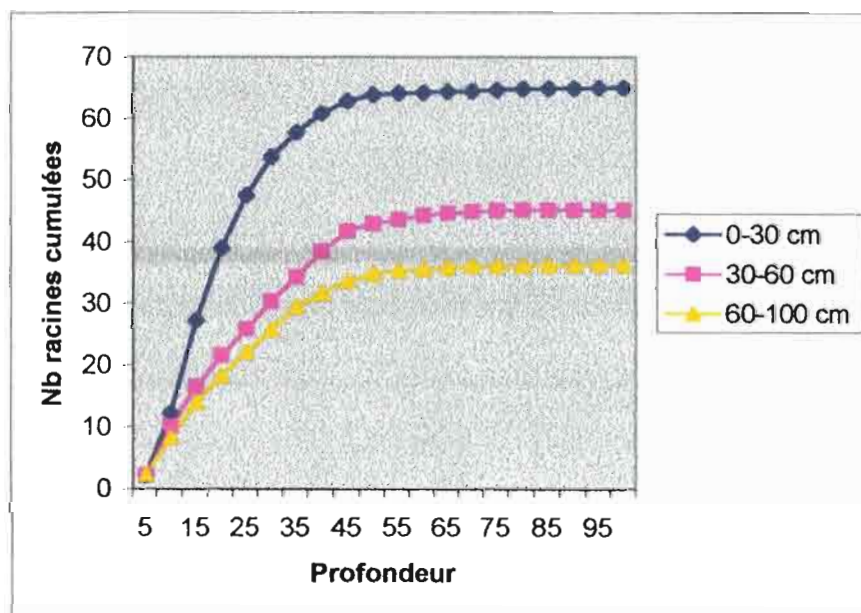
Courbes des moyennes (sur les 4 plants) du nombre de racines sur les trois traitements :



La courbe correspondant au traitement 0-30 cm diffère de celles des deux autres traitements. En effet elle présente un nombre plus important de racines réparties de manière différente. Cette courbe montre un maximum unique correspondant à une profondeur de 15 cm, suivit d'une chute continue et rapide du nombre de racines jusqu'à 55 cm. Les deux autres courbes, surtout celle 30-60 cm, ont une répartition en deux temps : un maximum à 10 cm de profondeur, puis un pallier entre 25 et 40 cm avant de chuter de manière plus douce jusqu'à 65 cm.

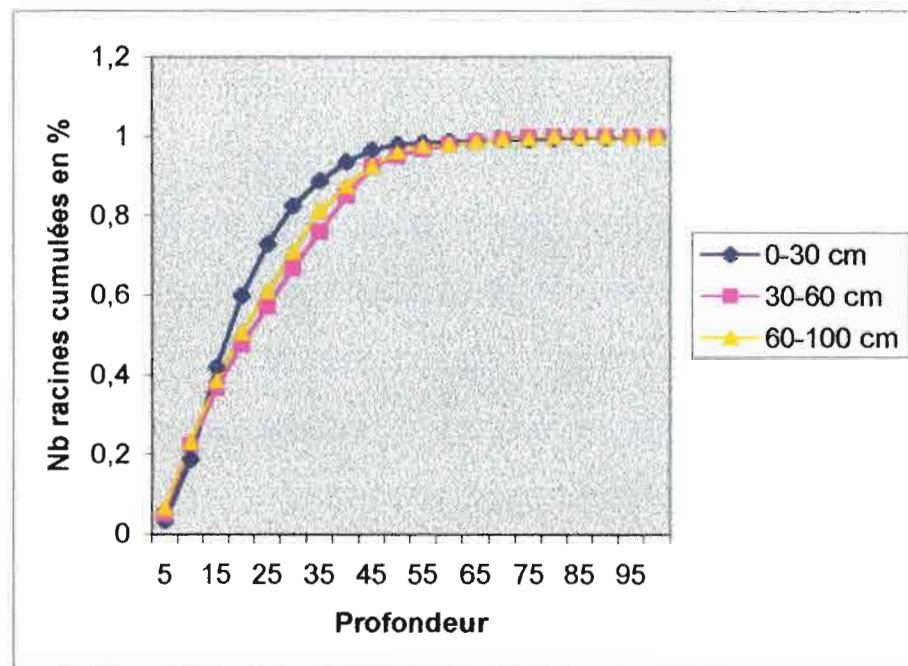
Il semblerait donc que lorsque la profondeur d'amendement augmente, les racines, à défaut de s'enfoncer plus profond, ont une répartition plus « homogène », à savoir mieux répartie en profondeur.

Courbe des moyennes cumulées (sur les 4 plants) du nombre de racines pour les trois traitements :



Ce graphique permet de bien mettre en évidence que le nombre de racines diminue lorsque l'on augmente la profondeur de l'amendement. La différence se faisant mieux sentir entre le traitement 0-30cm et les deux autres.

Courbe des moyennes cumulées en % (sur les 4 plants) du nombre de racines pour les trois traitements :



La courbe 0-30 cm rejoint plus rapidement son asymptote, confirmant ainsi que les racines sont principalement situées moins en profondeur pour ce traitement que pour les deux autres.

### 3.2.3. Etudes statistiques sur le nombre de racines

#### Analyses de variance sur le nombre de racines :

Paramètres	Moyenne générale	Coef. de variation (%)	Probabilité	Moyenne par traitement			Classement
				0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Nb total de racines	2.45	25.01	0.96	3.26	2.26	1.82	P1>P2=P3
Nb de racines sur 0-30 cm	36.6	27.2	0.98	53.7	30.3	25.8	P1>P2=P3
Nb de racines sur 30-60 cm	11.5	24.37	0.84	10.5	14.0	9.8	
Nb de racines sur 60-90 cm	0.69	97.64	0.38	0.43	0.91	0.7	

L'analyse de variance confirme qu'il y a bien une différence significative entre le premier traitement et les deux autres. Il faut cependant noter l'importance des coefficients de variation. Un amendement uniquement de 0 à 30 cm, entraîne un enracinement plus important, surtout pour cet horizon.

Des analyses de variance sur différents rapports entre les mesures d'appareil végétatif et du nombre de racines sont intéressantes dans la mesure où elles mettent en relation le développement relatif de l'appareil végétatif et racinaire.

Analyses de variance sur différents rapports entre les mesures d'appareils végétatifs et le nombre total de racines :

Paramètre	Moyenne générale	Coef. de variation (%)	Probabilité	Moyenne par traitement			Classement
				0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Diamètre dessous greffe 1 <sup>6</sup> / Moyenne cumulée totale	0.16	37.84	0.91	0.11	0.13	0.22	tendance P1<P2<P3
Diamètre dessous greffe 2 <sup>7</sup> / Moyenne cumulée totale	0.13	45.86	0.89	0.09	0.10	0.19	tendance P1<P2<P3
Volume estimé <sup>8</sup> / Moyenne cumulée totale	0.05	37.8	0.93	0.03	0.04	0.07	tendance P1<P2<P3

Les coefficients de variation sont ici encore plus importants, et les résultats sont proches d'être significatifs, et une tendance semble se dégager. En effet, les valeurs des paramètres sont moins importantes pour des traitements moins profonds. Il y aurait donc un développement racinaire plus important pour un même développement végétatif dans le cas du traitement à 0-30 cm.

<sup>6</sup> Diamètre dessous greffe 1 : mesures réalisées le 21/01/1998

<sup>7</sup> Diamètre dessous greffe 2 : mesures réalisées le 30/06/1998

<sup>8</sup> Le volume de l'arbre est estimé à partir de celui d'un cône incliné, soit le calcul suivant : volume estimé =  $\pi/12$  \* hauteur du pied \* largeur inter-rang \* largeur dans le rang

Analyses de variance sur différents rapports entre les mesures d'appareils végétatifs et le nombre de racines sur 0-30 cm :

Paramètres	Moyenne générale	Coef. de variation (%)	Probabilité	Moyenne par traitement			Classement
				0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Diamètre dessous greffe 1 / Moyenne cumulée 0-30 cm	0.22	42.16	0.91	0.14	0.21	0.32	tendance P1<P2<P3
Diamètre dessous greffe 2 / Moyenne cumulée 0-30 cm	0.18	51.01	0.88	0.11	0.15	0.27	tendance P1<P2<P3
Volume estimé / Moyenne cumulée 0-30 cm	0.08	53.42	0.92	0.04	0.06	0.13	tendance P1<P2<P3

Cette analyse confirme la tendance déjà citée plus haut.

Analyses de variance sur différents rapports entre les mesures d'appareils végétatifs et le nombre de racines sur 30-60 cm :

Paramètres	Moyennes générales	Coef. de variation (%)	Probabilités	Moyennes par traitement			Classements
				0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Diamètre dessous greffe 1 / Moyenne cumulée 30-60 cm	0.63	33.61	0.88	0.67	0.42	0.79	
Diamètre dessous greffe 2 / Moyenne cumulée 30-60 cm	0.52	39.99	0.87	0.55	0.33	0.68	
Volume estimé / Moyenne cumulée 30-60 cm	0.23	41.92	0.91	0.22	0.14	0.33	



Analyses de variance sur différents rapports entre les mesures d'appareils végétatifs et le nombre de racines sur 60-100 cm :

Paramètres	Moyenne générale	Coef. de variation (%)	Probabilité	Moyenne par traitement			Classement
				0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	
Diamètre dessous greffe 1 / Moyenne cumulée 60-100 cm	29.5	172.04	0.24	24.2	19.4	45.1	
Diamètre dessous greffe 2 / Moyenne cumulée 60-100 cm	22.9	168.74	0.26	19.4	13.9	35.2	
Volume estimé / Moyenne cumulée 60-100 cm	28.9	206.38	0.72	7.4	6.4	73.1	

Ces deux analyses ne présentent aucun résultat statistique utilisable. A l'échelle de cette expérience, la différence majeure entre les trois traitements semble bien se situer au niveau du premier horizon de traitement.

### 3.2.4. Résultats moyens sur la taille des racines sur les trois traitements

Moyennes (sur les 4 plants) de la taille des racines sur le traitement 0-30cm :

Représentation de la grille maillée :

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,25	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0,75	10,5	1,5	6	3,75	3	5,25	11,3	1,5	0,25	2	0,5	1,5	4	0	
15	0,75	2	0,25	1,5	1	2	0,5	4	0,25	0,75	0	3,25	0	3	4	6,5	1,75	4,75	0,25	0,75	
20	0,5	3	1,25	0,75	1,25	0	8,75	0	4	0,25	0,25	0,75	0	2,75	0,5	2,75	1,25	0	0,25	0,25	
25	1	0,5	0	0,5	0,25	0	0	4	1,5	1	1	0,5	1	0,5	0,75	1	0,5	2,5	1,5	1	
30	0	0,75	1,25	0,25	0	0	1,25	1,25	0,25	0	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0	0	0,5	0	
35	0,5	0	0	0	0,25	0,75	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0	0	1,5	0	2	0	2,5	
40	0,5	0	0,5	0	0,25	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0,5	0,25	0	0	0,75	0,5	0	
45	0	0	0,25	0	0	1,75	0	0,25	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,25	0	0,5	
50	1	0,25	0	0,5	0	0,25	0	0,25	0	1,75	0	1,5	0	0	0	0	0	0,5	0,75	0,75	
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,25	1,75	0	0,5	0,5	0	0	0	
60	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
65	0,75	0,25	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	0	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
75	0,25	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	
80	0	0	1,75	0	1,5	0	0,5	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	
90	0	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
95	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Moyennes (sur les 4 plants) de la taille des racines sur le traitement 30-60cm :

Représentation de la grille maillée :

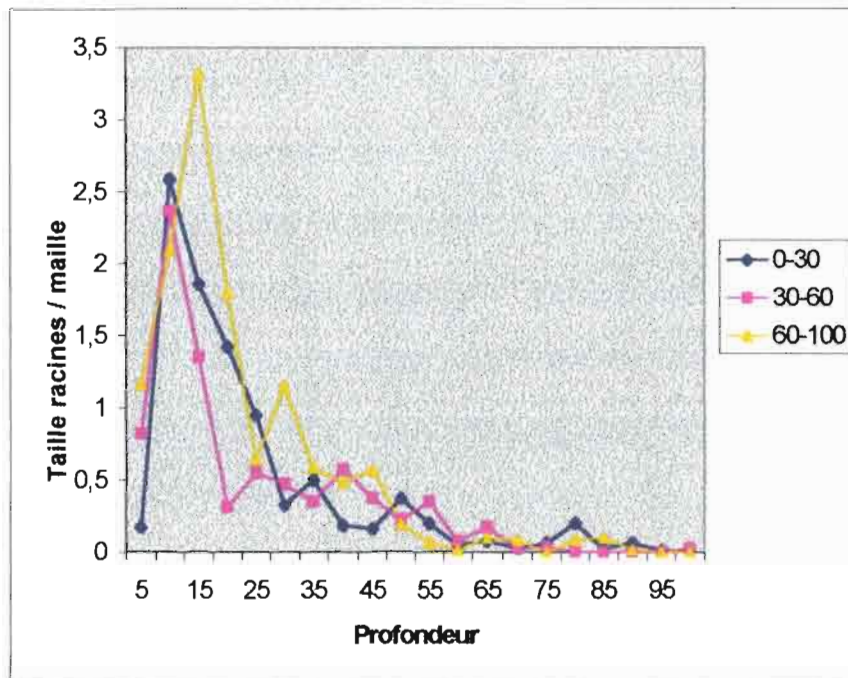
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
5	0	0,25	0	0	0	3	0	0	1,25	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,75	0,25	0,25	2	5	2,75	7,75	3	4,25	0	0	2,5	4	9,5	0	0	1,25	3,75	0	0,25
15	1	3	3	0	0,25	0	0	1,25	0,25	5	0	9	0,75	3,5	0	0	0	0	0	0
20	0,5	0	0,25	0,25	0	0,25	0,5	0	0,25	0,75	0,75	2,25	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0
25	0,5	0	0	0	0,25	0,5	5,75	0	0,75	0,5	0,75	0,5	1	0,25	0,25	0	0	0	0	0
30	0,5	0	0	0	0	0,5	0,25	0	0	0	0,25	0	0,5	5	0,5	0,75	0,25	0,75	0	0,25
35	0	0,25	0	0	0	0,5	0	0,25	0	0,75	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0	0,25	3,25	0	0,75
40	0	0	0,5	0	0	0,5	2,25	2	0,5	0	0	0,25	0,25	1	3	0,75	0	0	0	0,5
45	0	0	0	0,25	1	0,25	0	0,25	1	0,25	0	1,75	0	0	0,5	0,25	0,25	0,25	1,5	0
50	0	0	0,25	0,5	0,5	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0,25	1	0,25	0,25	0
55	0	0	0,25	0	0	2,25	0	0	0	0	0	2,25	0,5	0	0	0	1,75	0	0	0
60	0	0	0	0	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,5
65	0	0	0	0	0,5	0,25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,25	1,5	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Moyennes (sur les 4 plants) de la taille des racines sur le traitement 60-90cm :

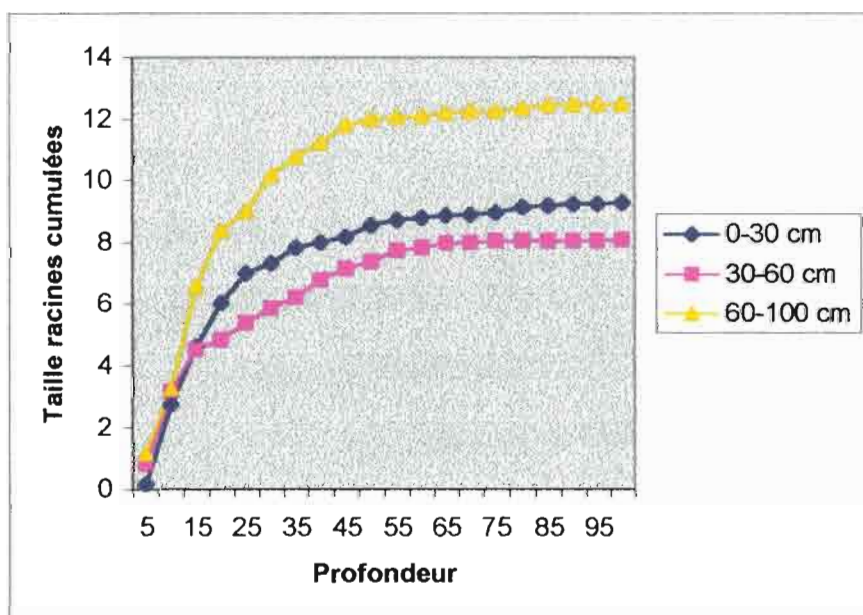
Représentation de la grille maillée :

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
5	5	0,33	5,33	0	0	7	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,33	0
10	1,67	0	4	0,67	0	0	4	0,33	0,67	4	6,67	0	6,67	2	1	0,33	1	7,33	1,33	0,33
15	0,67	4,67	0	6	4	0,33	1,33	6,67	11,3	9,67	0	1	0,67	0	13	0,33	0,33	2	0,67	3,67
20	0,33	0	1,33	0	1,33	0	11,7	12	1,67	0,33	0	0,67	0	2,33	0,67	0,33	1,33	1,67	0	0,33
25	0	0	1	0,67	0	1	0	0,33	0,33	0,67	0	1,33	0	0	3	0,33	1,67	1,67	1	0
30	0,67	0,67	0,33	0	3	1,33	3	2	0,67	0	2	0,33	0	0	0,67	0	6	0	0	2,33
35	0	0,33	0	1,67	0	1	0,67	2,33	1	0	1	0,67	0	0,33	0	0	0	0	2,67	0
40	0,33	0	0	0,33	0,33	1,67	3,33	1,33	0,33	0	0	0	0	0	0	0,33	0,67	0	0	1
45	3	0,67	0	2,67	0,67	0	0	0,33	0,33	0	0	0	0,67	0	1,33	0	0,33	0,33	0	1
50	0	0	1,33	0	0	0	0	0	0,67	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0	0	0
55	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,33	0	0	0	1,33
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,33	0,67	0	0,33	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0	1,33	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Courbes moyennes (sur les 4 plants) de la taille des racines sur les trois traitements :



Courbe de la moyenne cumulée (sur les 4 plants) de la taille des racines pour les trois traitements :



Pour les trois traitements les racines les plus grosses se trouvent dans les trente premiers centimètres. Le traitement à 60-90 cm, mais aussi celui à 0-30 cm, présente des racines de taille plus importante que le traitement à 30-60 cm.

Paradoxalement, on constate que la taille cumulée des racines est plus importante pour le traitement 60-90 cm, alors que c'est le contraire pour le nombre cumulé de racines.

### 3.2.5. Comparaison entre les porte-greffes *Citrus volkameriana* et *Citranger troyer*

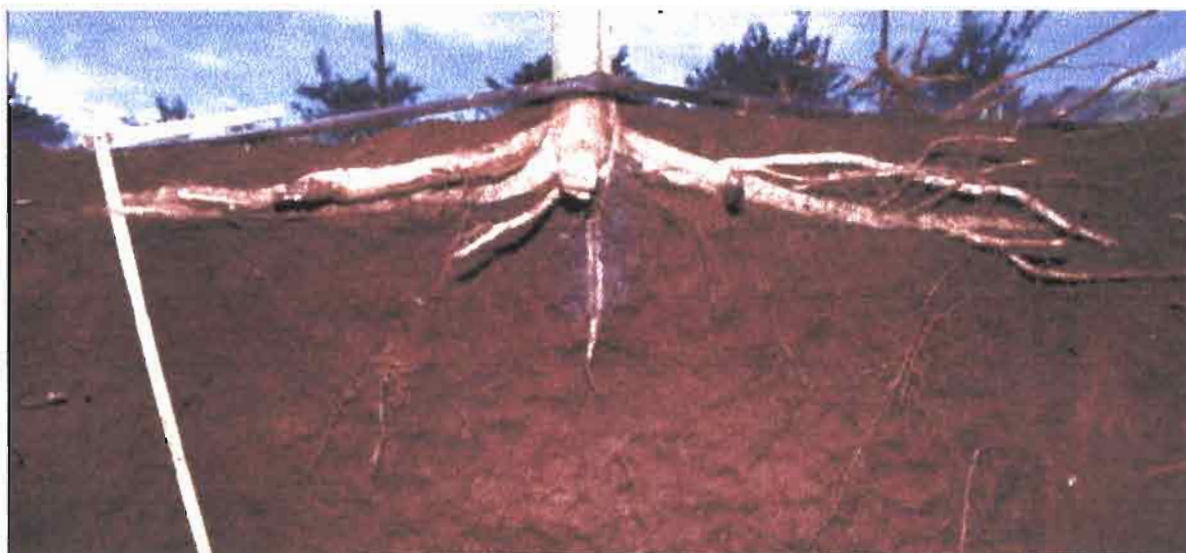
Quatre plants greffés sur *Citrus volkameriana* ont été observés : P18 et P175 pour le traitement 0-30 cm, P3 pour le traitement 30-60 cm, et P186 pour le traitement 60-90 cm. Il n'y a donc pas assez de mesures pour effectuer une comparaison valable entre les deux porte-greffes. On peut cependant noter ici quelques tendances.

Pivot d'un mandarinier greffé sur *Citrus volkameriana* :

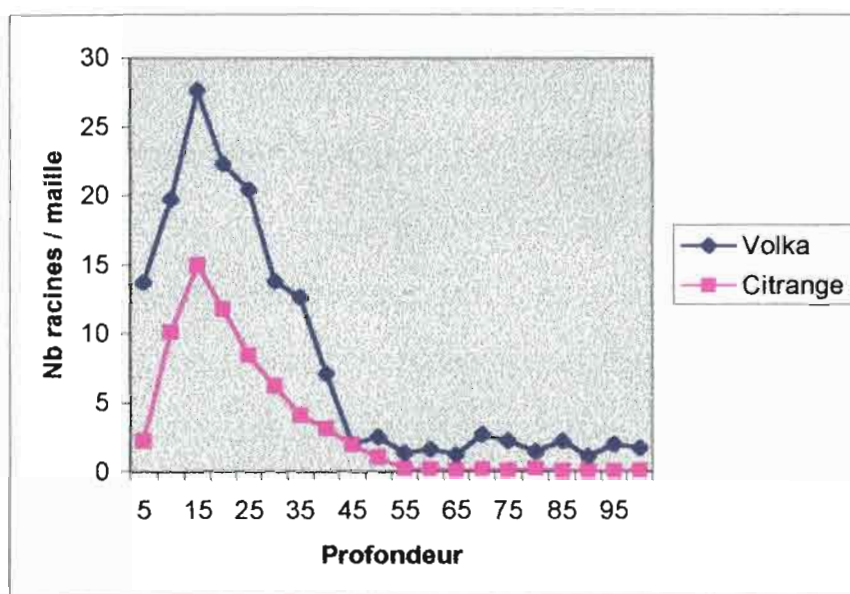




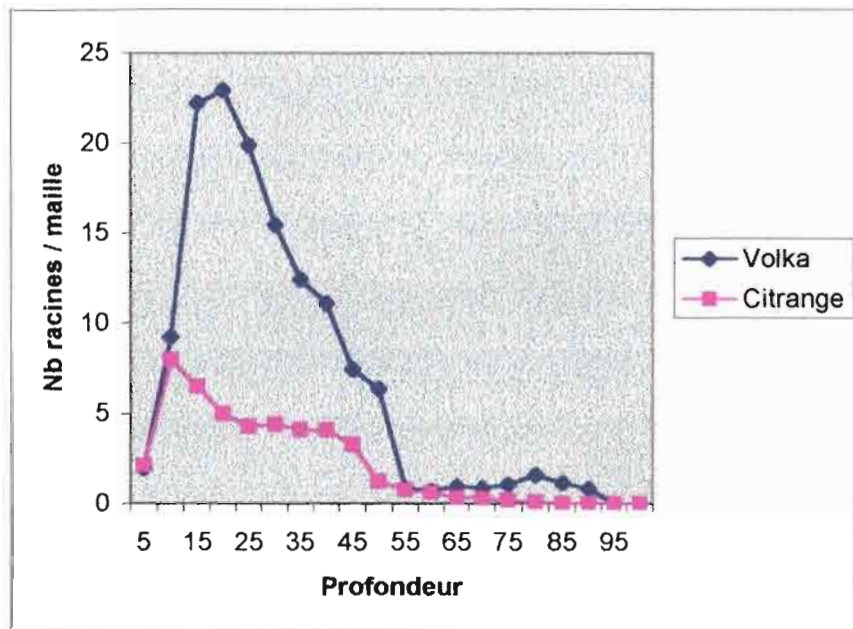
Pivot d'un mandarinier greffé sur *Citrange troyer* :



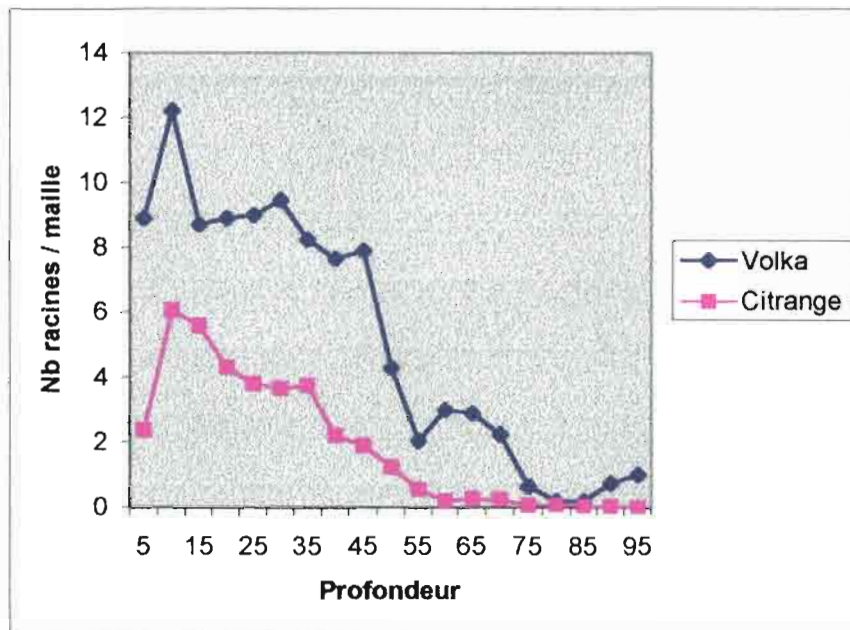
Graphiques comparatifs du nombre de racines pour le traitement 0-30 cm :



Graphiques comparatifs du nombre de racines pour le traitement 30-60 cm :



Graphiques comparatifs du nombre de racines pour le traitement 60-90 cm :



Les trois graphiques font ressortir un meilleur développement racinaire, plus important et un peu plus présent en profondeur, de *Citrus volkameriana* par rapport à *Citrance troyer*.



## 4. Conclusion

Bien que les mesures des appareils végétatifs ne montrent aucune différence significative entre les traitements, on peut tout de même tirer quelques conclusions de l'étude des systèmes racinaires. En effet, l'amendement phosphaté à 0-30 cm semble se dissocier des deux autres, surtout de celui à 30-60 cm.

Dans le cas d'un traitement à 0-30 cm, les racines sont plus abondantes, et situées pour la plupart avant 30 cm. Pour un traitement plus profond, les racines sont légèrement plus en profondeur. Mais la différence principale est qu'elles sont moins abondantes, pour même développement végétatif. Il semble donc qu'il y ait une meilleure efficacité du système racinaire lorsque l'amendement est plus profond.

Ces résultats devront être confirmés lors des prochaines mesures sur le verger expérimental de Ouénarou. Une piste de recherche intéressante serait aussi de limiter ou de supprimer l'irrigation afin de favoriser le rôle des racines profondes.

Il est à noter que le choix d'un maillage 5\*5 cm pour les mesures nécessite un gros travail, mais a permis des observations qui seraient sans doute passées inaperçues avec un maillage de 10\*10 cm.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Mademba-Sy F. et B. Delvaux, 1990 – Profils culturaux , enracinement et aspects de l'arbre en vergers de limetiers à la Martinique. Fruits – vol. 45, n°3.

Tardieu F., 1989 – Cartographie in situ du système racinaire. Perspectives agricoles – Tirés-à-part des n°119,122 et 128.

Tardieu F.– Une méthode d'étude in situ de la répartition verticale des racines.

Bourdon E., T. Becquer, S. Edighoffer et B. Bonzon, 1994 – Evaluation de la compacité des sols ferrallitiques (ferrallisol) de Nouvelle-Calédonie – Nouméa : ORSTOM. Conv. Sci. Vie : Agropédol., 26.

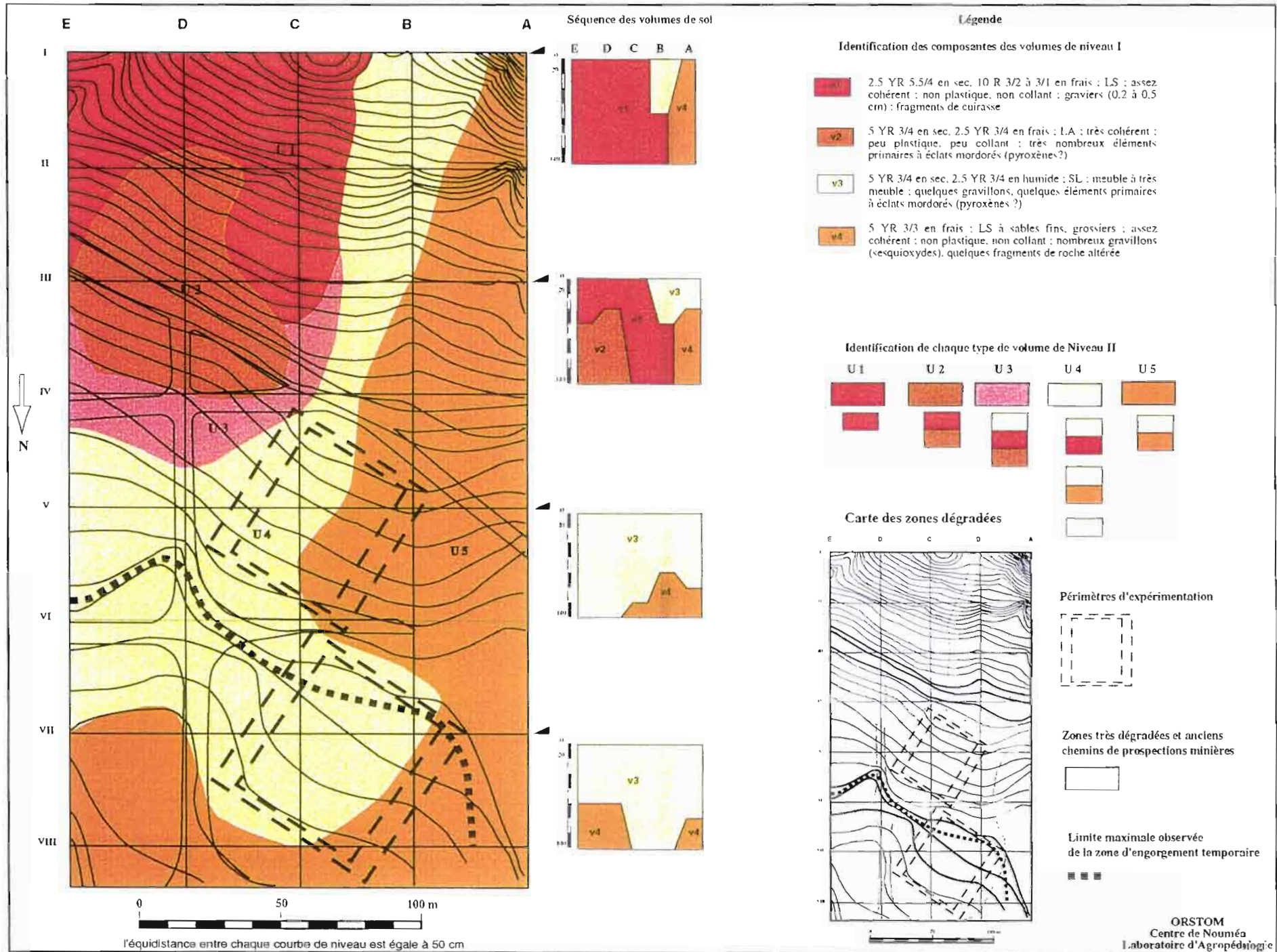
Bourdon E., T. Becquer, S. Edighoffer et B. Bonzon, 1997 – Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du sud de la Nouvelle-Calédonie – Nouméa : ORSTOM. Conv. Sci. Vie : Agropédol., 39.

# **Annexe 1**

Carte des sols du site expérimental de Ouénarou  
Caractéristiques chimiques et physiques moyennes du sol du verger de  
mandariniers

CARTE DES SOLS DE LA ZONE RETENUE POUR LES ESSAIS AGROPÉDOLOGIQUES

E. BOURDON, S. EDIGHOFFER, T. BECQUER



## Caractéristiques chimiques et physiques moyennes du sol du verger de mandariniers

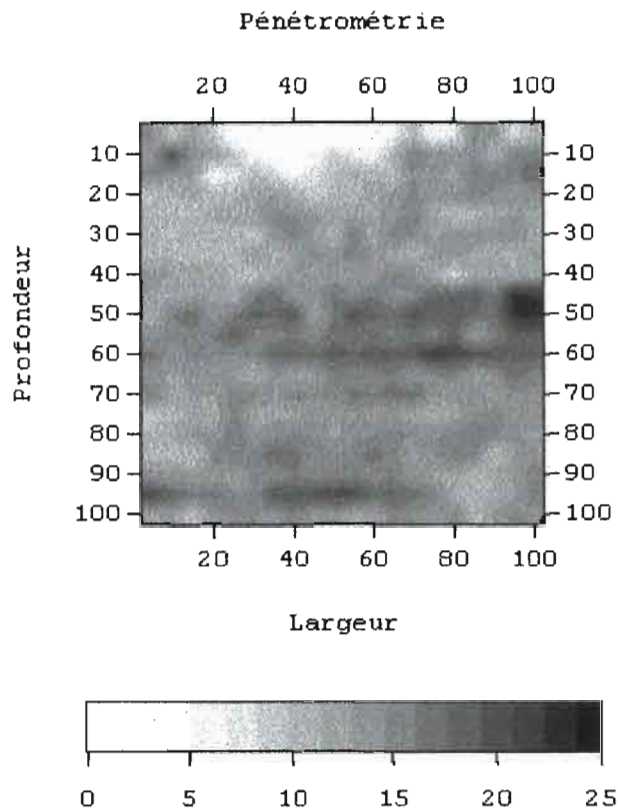
N° PROFIL : OUE 4	UNITÉ CARTOGRAPHIQUE : U 5				
SITUATION TOPOGRAPHIQUE :	Terrasse alluviale, rectiligne à segments concaves				
N° ECHANTILLON	1	2	3	4	5
NOMENCLATURE	-	-	-	-	-
PROFONDEUR (cm)	0 - 4	8 - 9	26 - 39	49 - 67	74 - 80
TEXTURE %					
Argile	24,10	41,90	14,00	8,70	6,50
Limon fin	49,40	37,60	19,40	21,80	10,60
Limon grossier	8,60	6,00	4,80	7,80	4,30
Sable fin	3,70	3,70	21,80	44,40	13,70
Sable grossier	7,60	6,70	38,40	16,20	64,20
Elément grossier	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70
M.O totale	8,10	5,50	1,80	1,20	0,90
Somme	101,40	101,50	100,10	100,20	100,20
pF					
pF 4.2	32,57	27,47	22,30	20,41	9,41
pF 3	43,57	41,03	13,38	29,36	11,33
pF 2.5	49,21	46,42	37,44	34,66	12,77
pH					
pH (H <sub>2</sub> O)	4,6	4,67	4,95	5,1	4,84
pH (KCl)	4,7	5,35	6,19	6,45	6,2
MATIERE ORGANIQUE (mg/g)					
Carbone	47,24	32,12	10,39	7,09	5,32
Azote	1,99	1,48	0,61	0,44	0,20
C/N	23,72	21,66	17,10	16,19	26,68
COMPLEXE D'ECHANGE (még/100g)					
Calcium	0,90	0,13	-0,01	-	-
Magnésium	1,11	0,53	0,12	-	-
Potassium	0,17	0,07	0,03	-	-
Sodium	0,13	0,06	0,02	-	-
Somme des bases	2,31	0,79	0,17	-	-
Capacité d'échange	11,16	6,19	0,07	-	-
Taux de saturation	20,71	12,70	< 100	-	-
Aluminium	-	-	-	-	-
PHOSPHORE (mg/g)					
Total	-	-	-	-	-
Assimilable	-	-	-	-	-
ELEMENTS TOTAUX %					
Perte au feu	19,67	17,80	14,61	13,92	11,42
Résidu insoluble	6,42	6,50	8,73	11,37	6,31
SiO <sub>2</sub> silicates	7,27	5,39	4,21	4,14	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,25	6,85	9,47	11,91	8,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56,32	59,96	57,89	52,30	64,95
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,15	0,20	0,22	0,41
MnO <sub>2</sub>	0,73	0,71	0,86	0,78	0,19
NiO	1,20	1,17	1,04	0,98	0,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,00	2,31	3,24	3,69	9,25
CaO	0,08	0,09	0,12	0,15	0,03
CaO	0,04	0,00	0,00	0,03	0,01
MgO	0,36	0,37	0,63	0,71	0,93
K <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Somme	100,49	101,30	101,00	100,21	101,80
SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-

## **Annexe 2**

Fiche graphique des mesures (Pénétrométrie, Nombre de racines et Taille des racines) réalisées par profil

NB: Sur les graphiques du Nombre et de la Taille des racines, les courbes d'isovaleurs représentent les mesures de pénétrométrie.

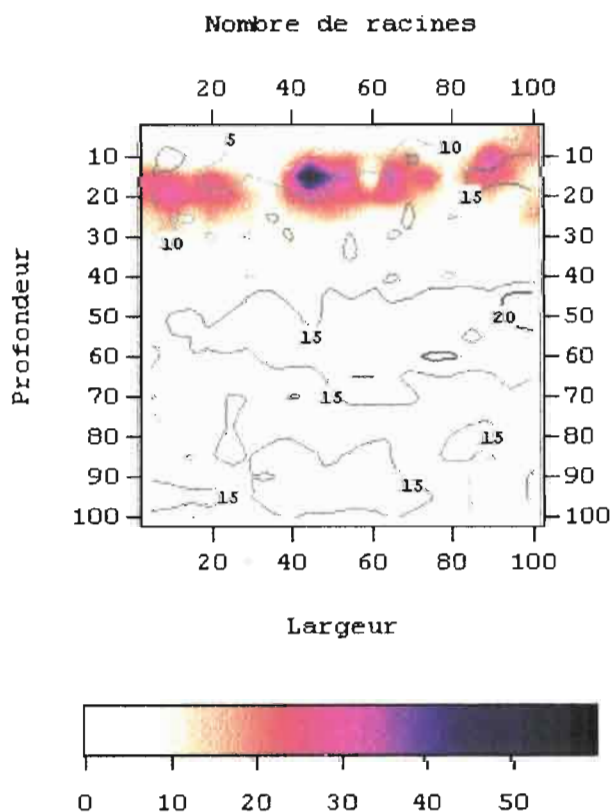
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



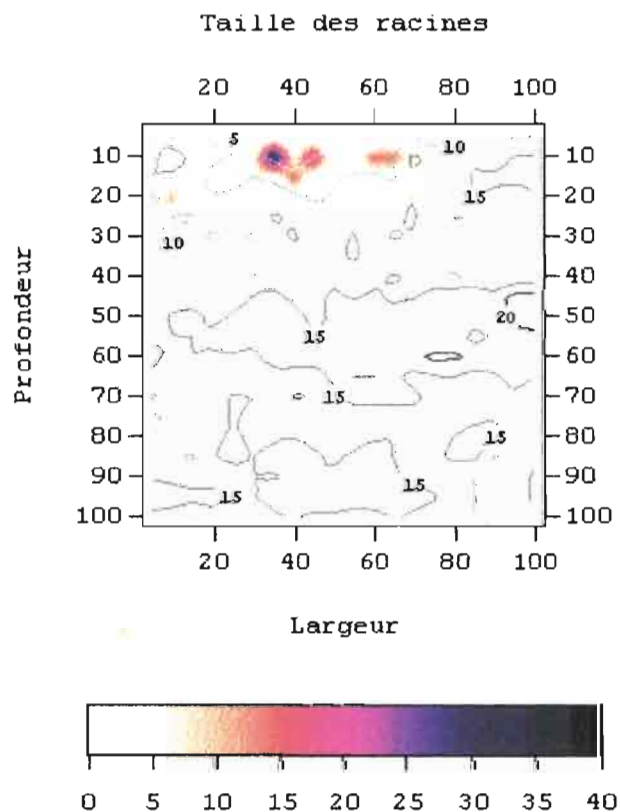
T30\_63P\_3L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm<sup>2</sup>)
- 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm<sup>2</sup>)
- 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm<sup>2</sup>)
- 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm<sup>2</sup>)
- 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm<sup>2</sup>)



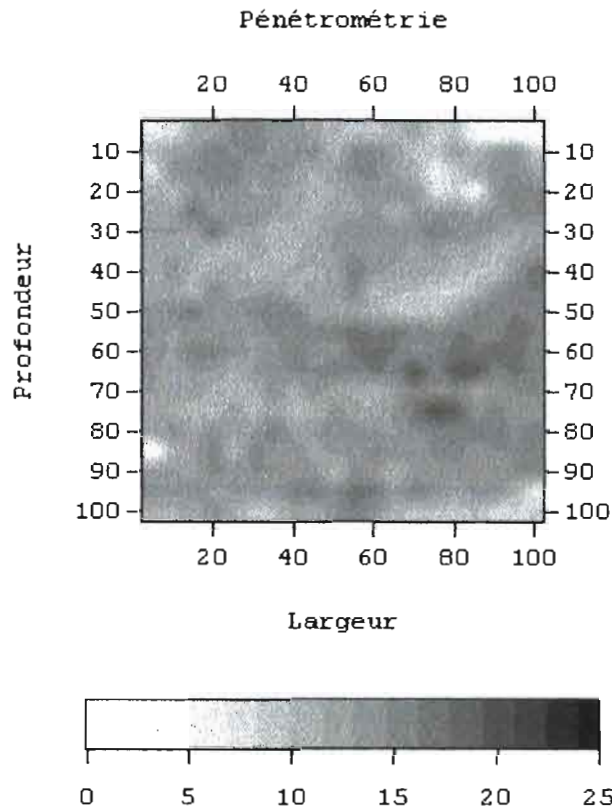
N 63P 3L



T 63P 3L



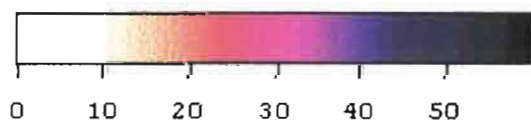
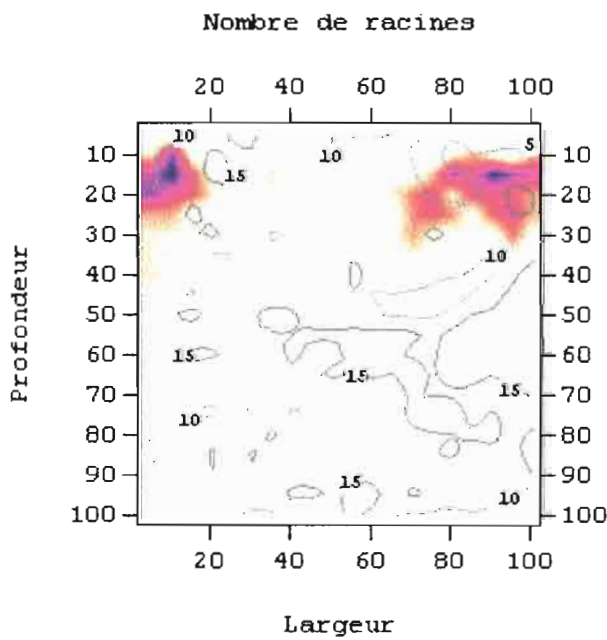
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



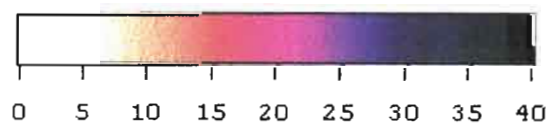
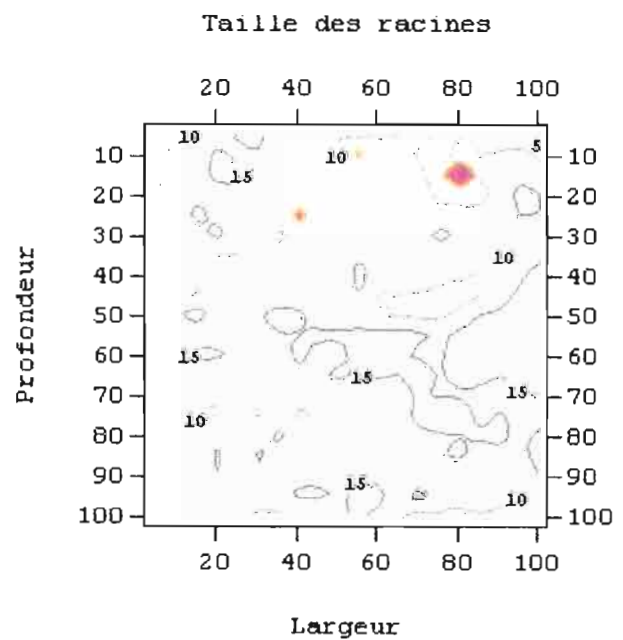
P\_79P\_4L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- |  |   |
|--|---|
| 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )   | 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )  |
| 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )  | 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> ) |   |



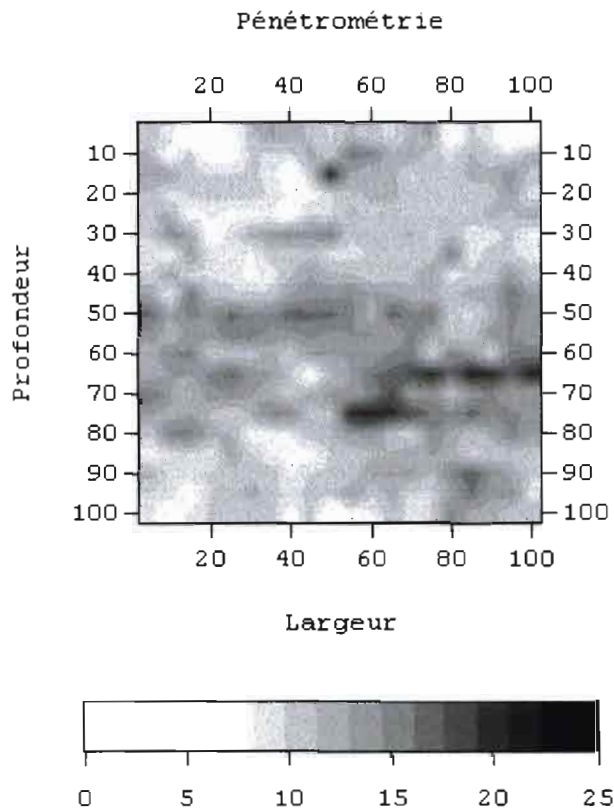
N 79P 4L



T 79P 4L



Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



P\_127P\_6L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

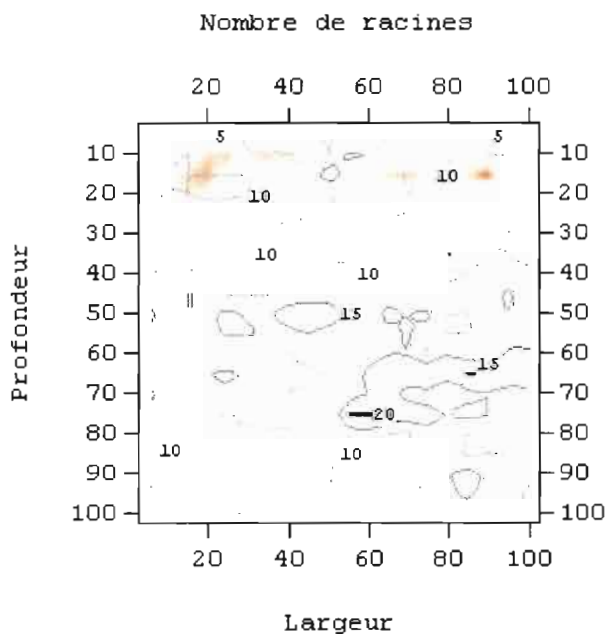
0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm<sup>2</sup>)

15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm<sup>2</sup>)

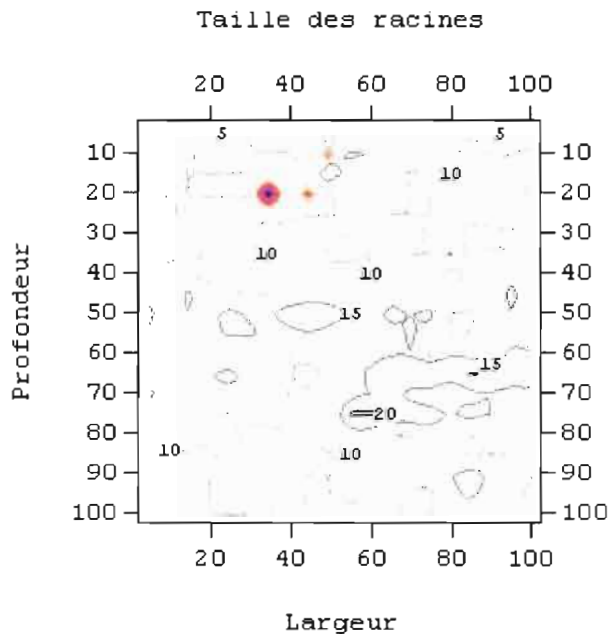
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm<sup>2</sup>)

20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm<sup>2</sup>)

10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm<sup>2</sup>)

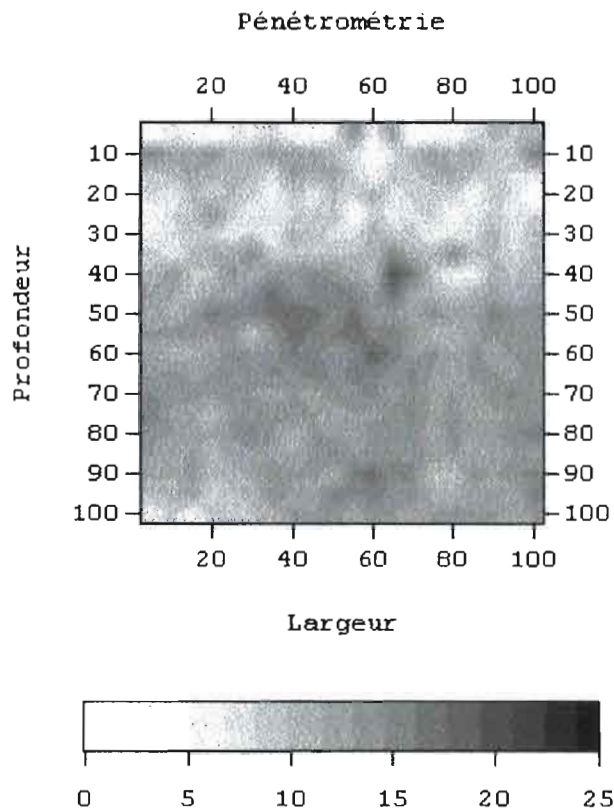


N 127P 6L



T 127P 6L

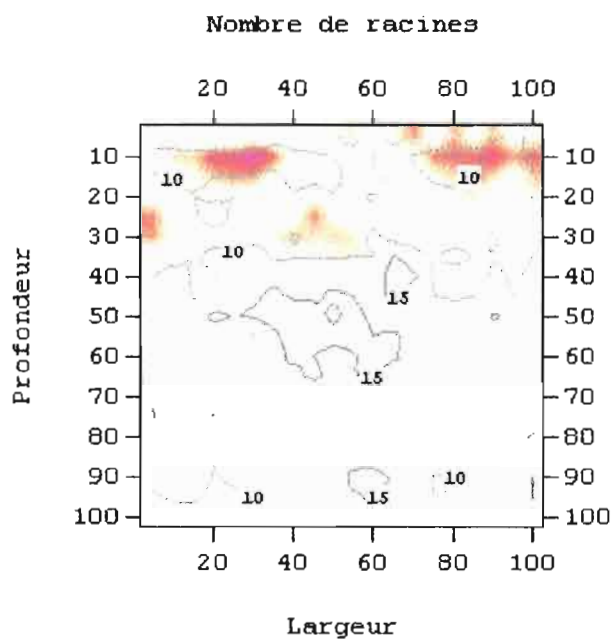
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



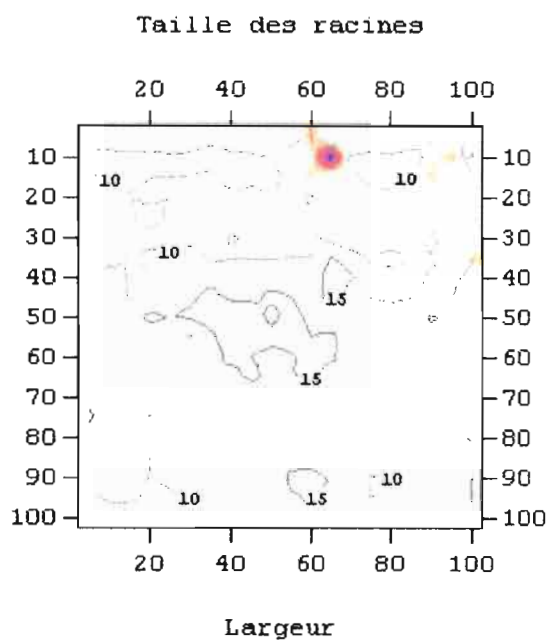
P\_160P\_7L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- |  |   |
|--|---|
| 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )   | 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )  |
| 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )  | 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> ) |   |

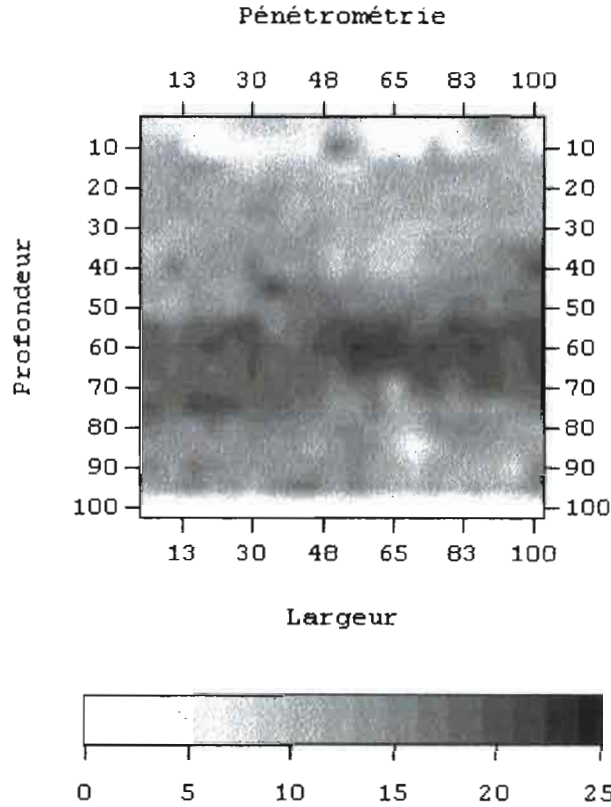


N 160P 7L



T 160P 7L

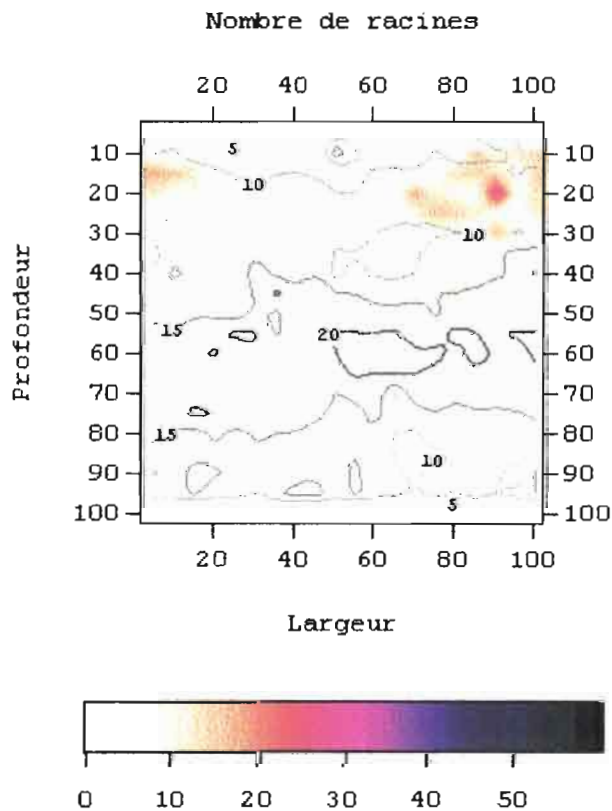
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



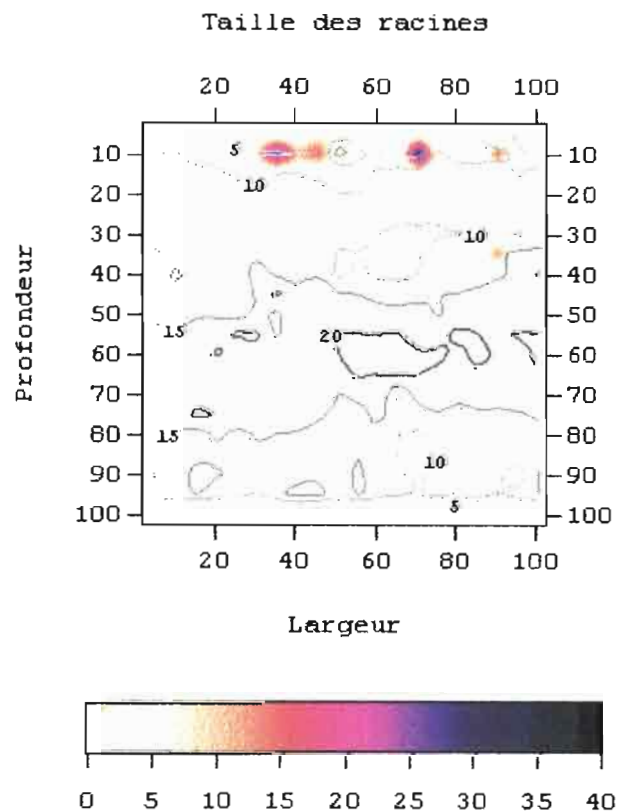
P\_41P\_2L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrétre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )	15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )	20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> )
10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> )	

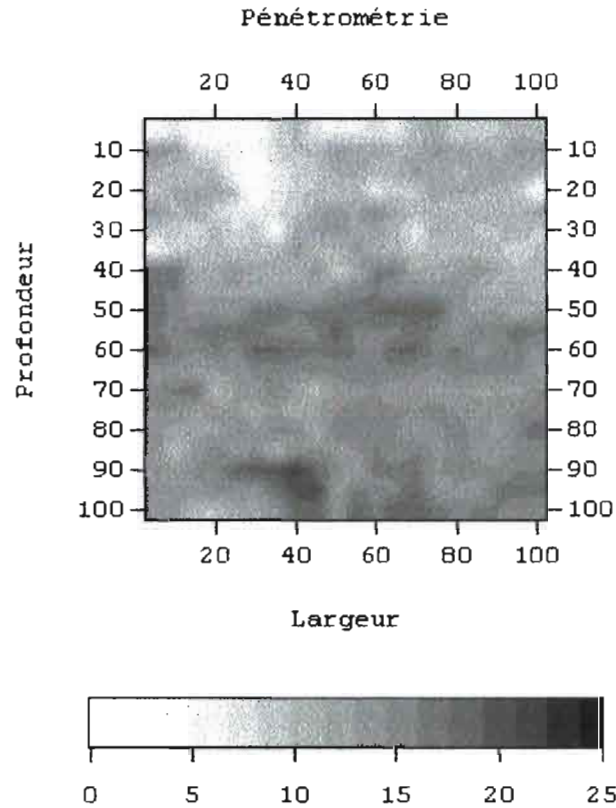


N\_41P\_2L



T\_41P\_2L

Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



P\_60P\_3L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

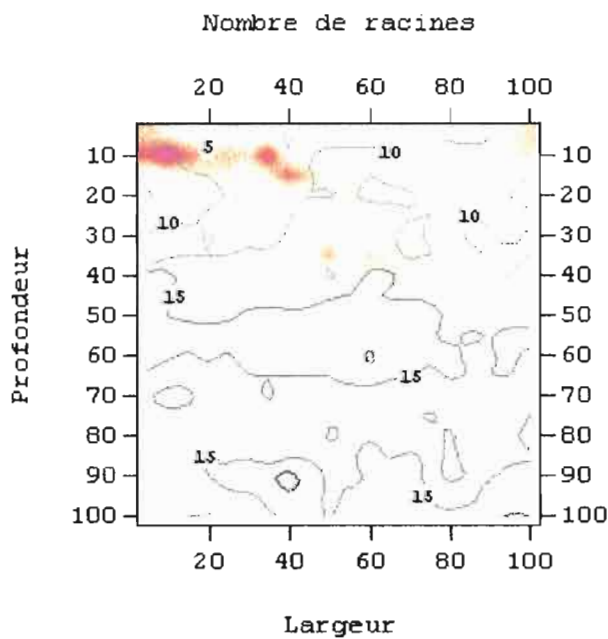
0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm<sup>2</sup>)

15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm<sup>2</sup>)

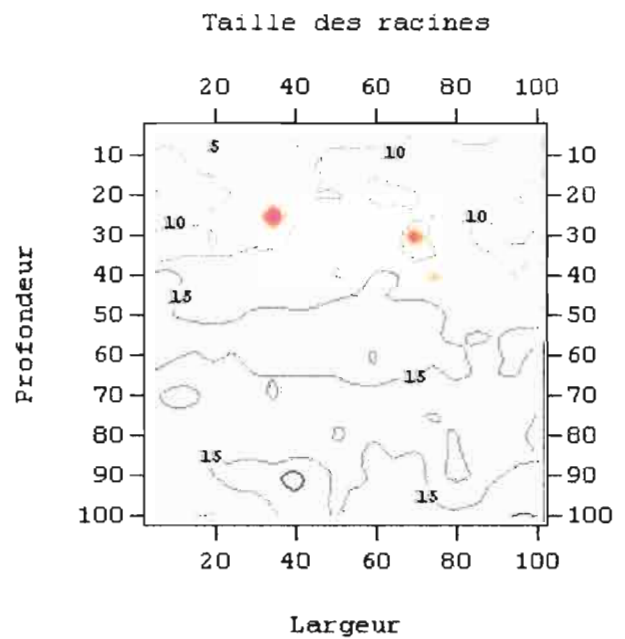
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm<sup>2</sup>)

20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm<sup>2</sup>)

10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm<sup>2</sup>)

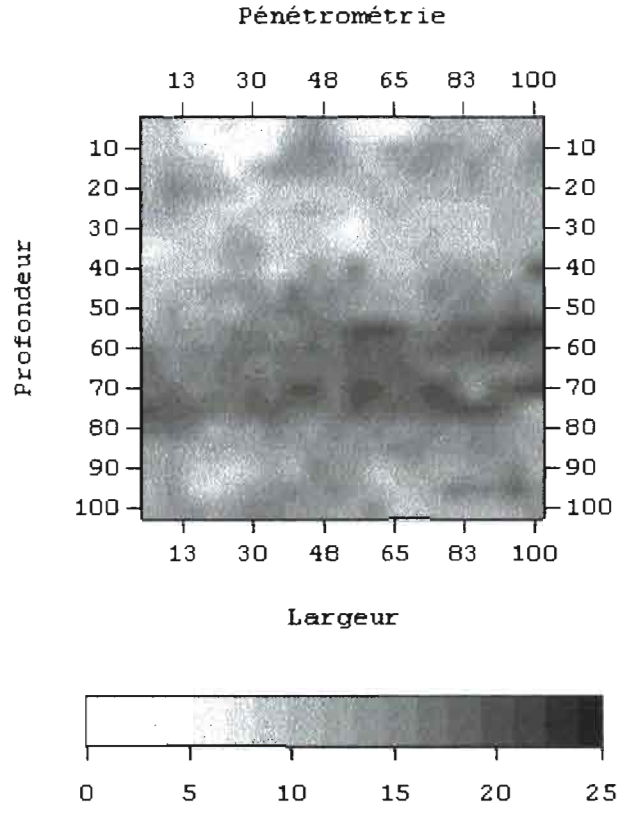


N\_60P\_3L



T\_60P\_3L

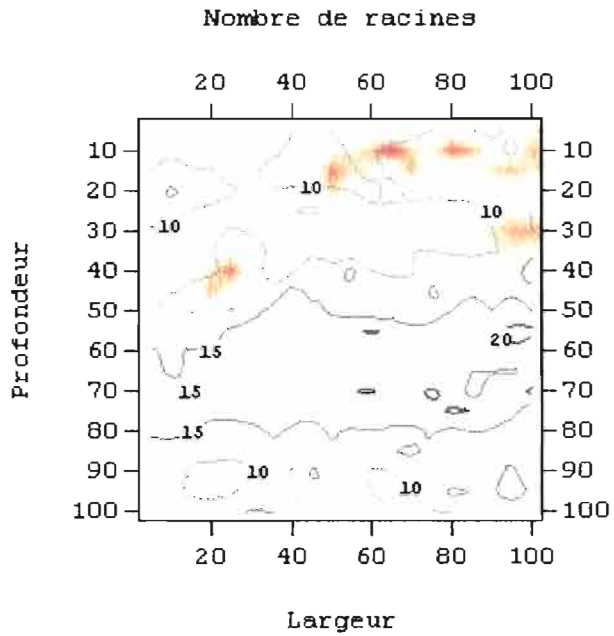
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



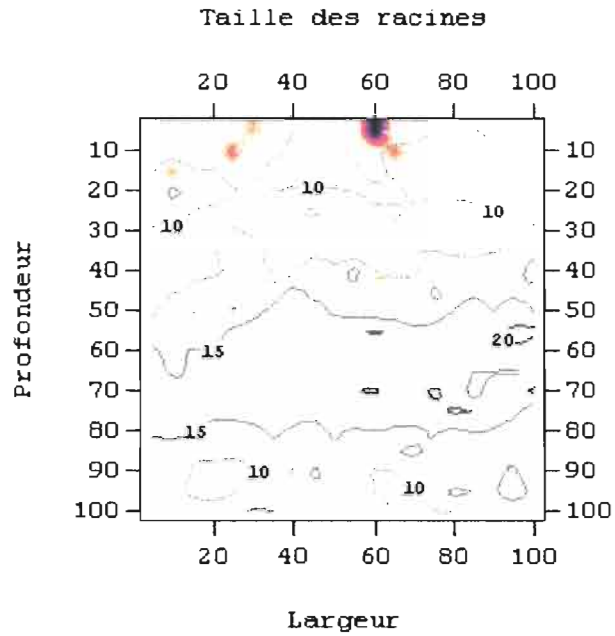
P\_111P\_5L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrétre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )	15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )	20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> )
10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> )	

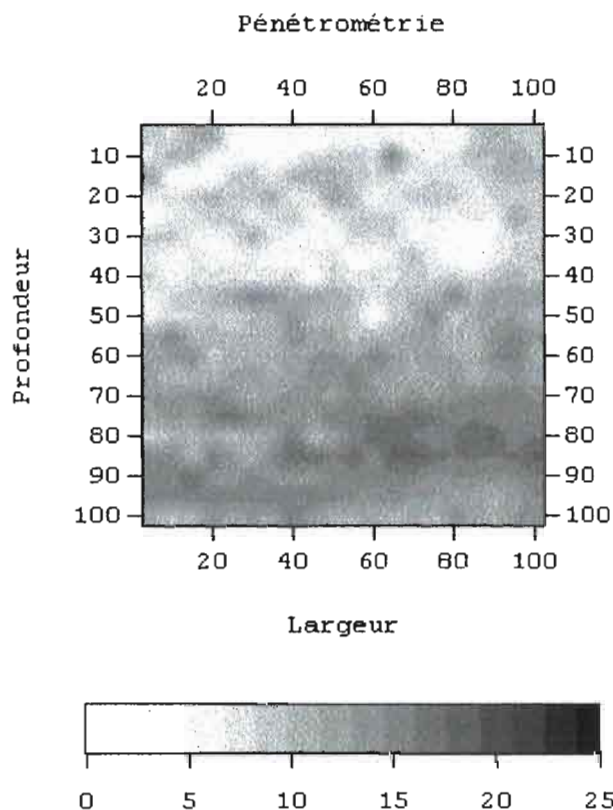


N 111P 5L



T 111P 5L

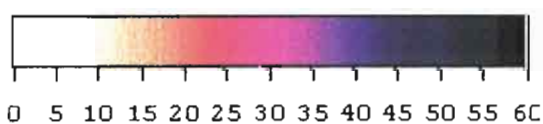
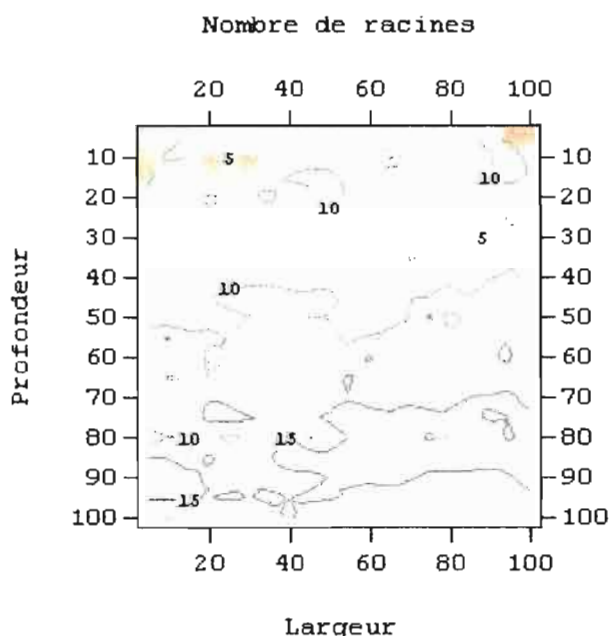
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



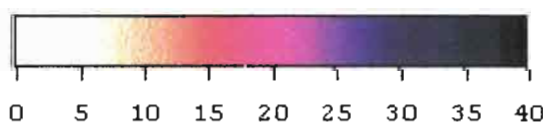
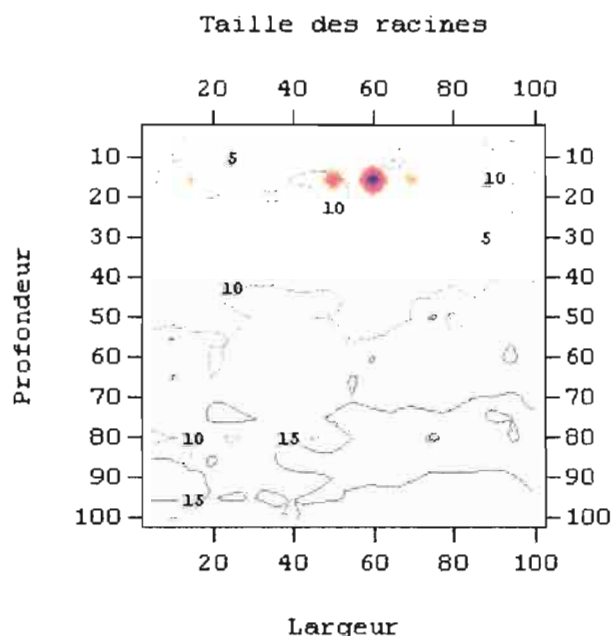
P\_151P\_7L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrétre de type Yamanaoka, à une humidité proche de la saturation.

0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )	15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )	20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> )
10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> )	



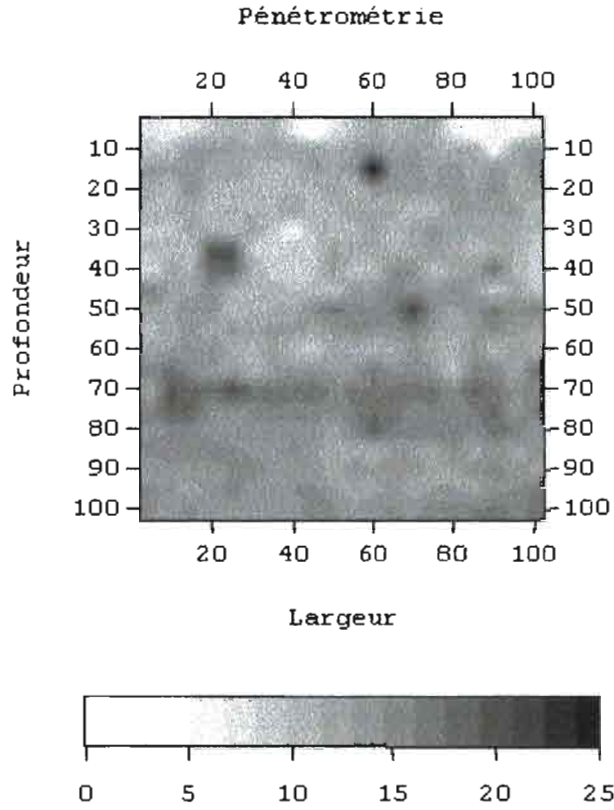
N 151P 7L



T 151P 7L



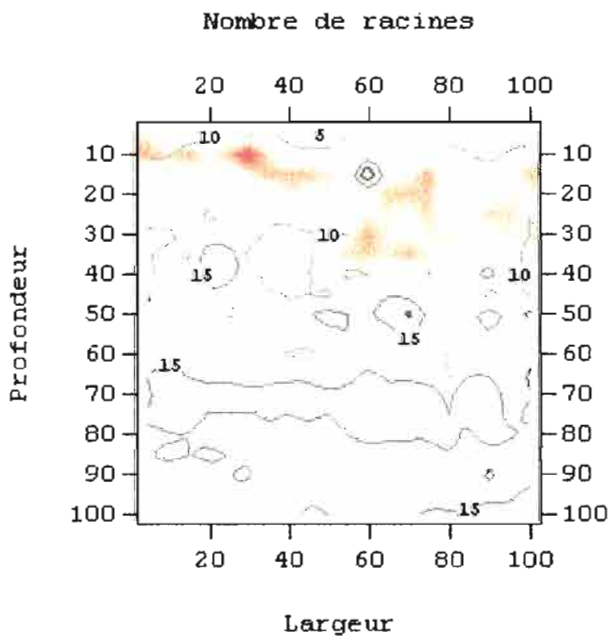
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



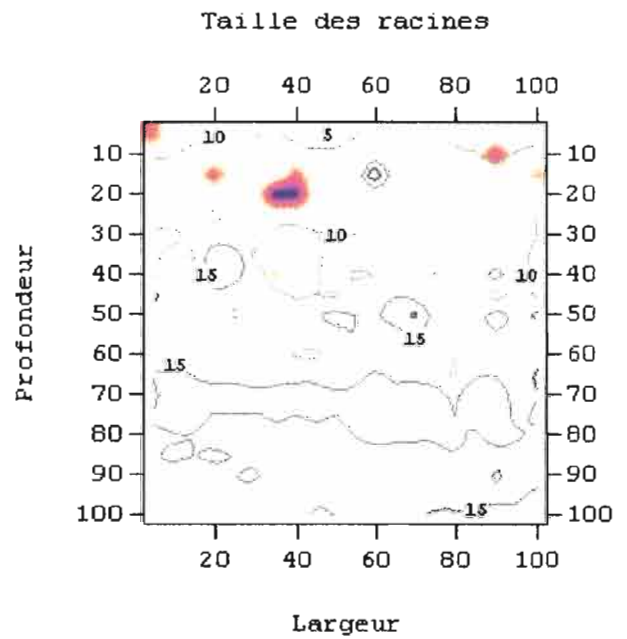
P\_93P\_4L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm<sup>2</sup>)
- 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm<sup>2</sup>)
- 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm<sup>2</sup>)
- 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm<sup>2</sup>)
- 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm<sup>2</sup>)



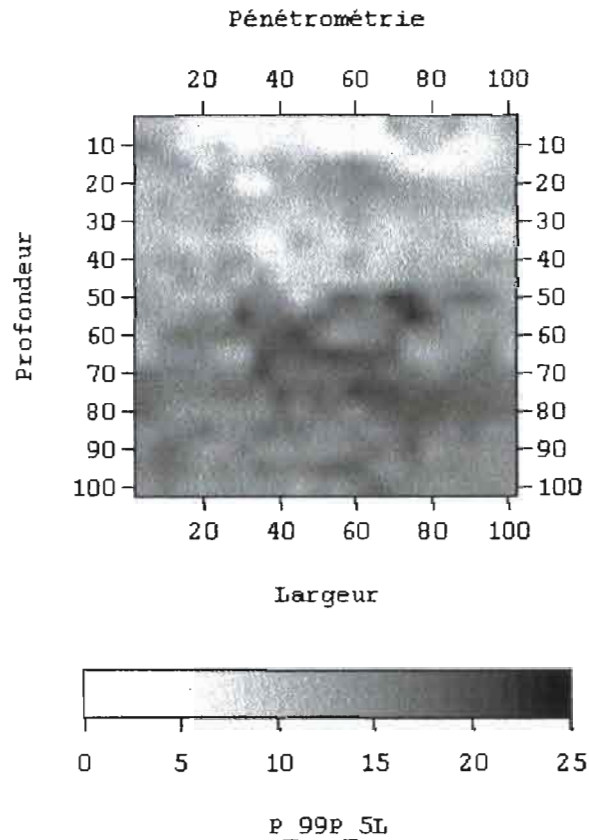
N 93P 4L



T 93P 4L

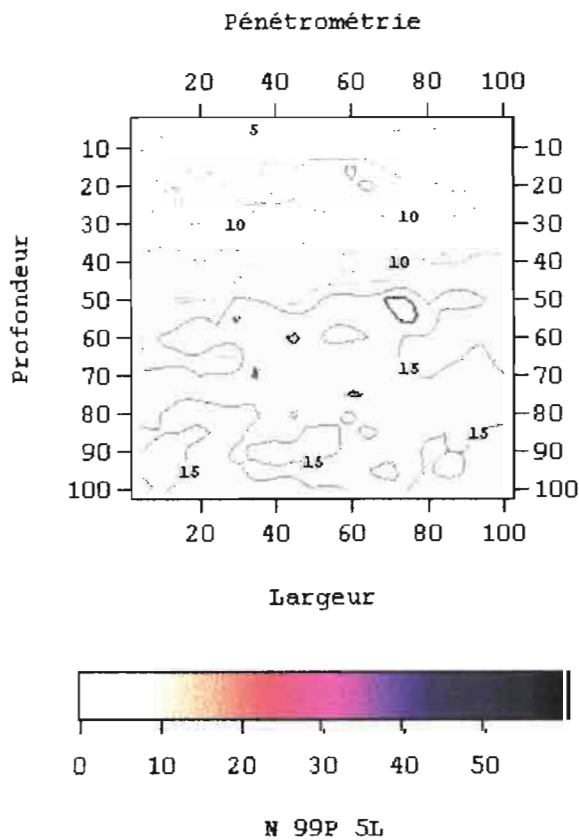


Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines

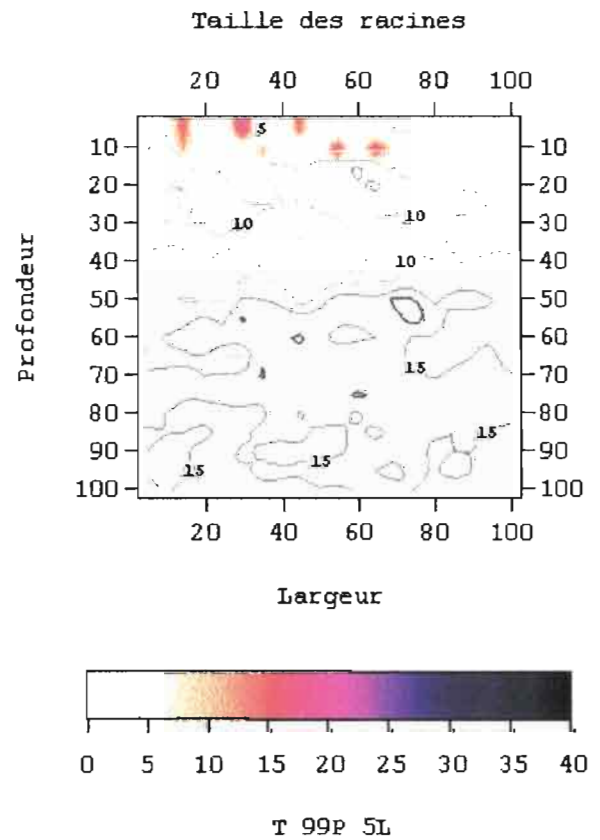


Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrétre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )	15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )	20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> )
10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> )	

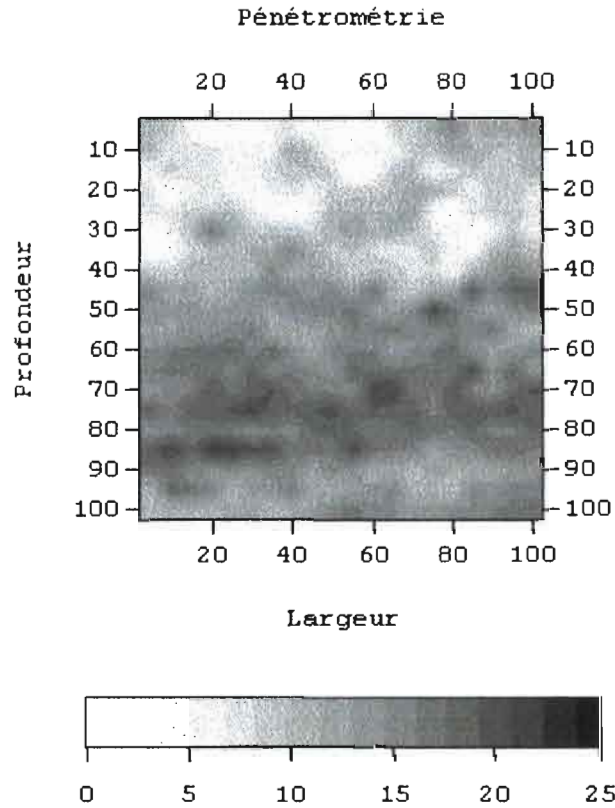


Unité : nombre de racines



Unité : mm d'épaisseur

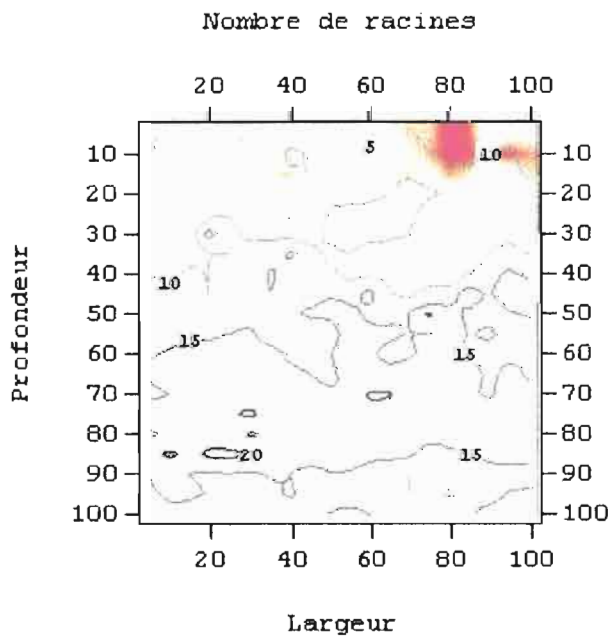
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



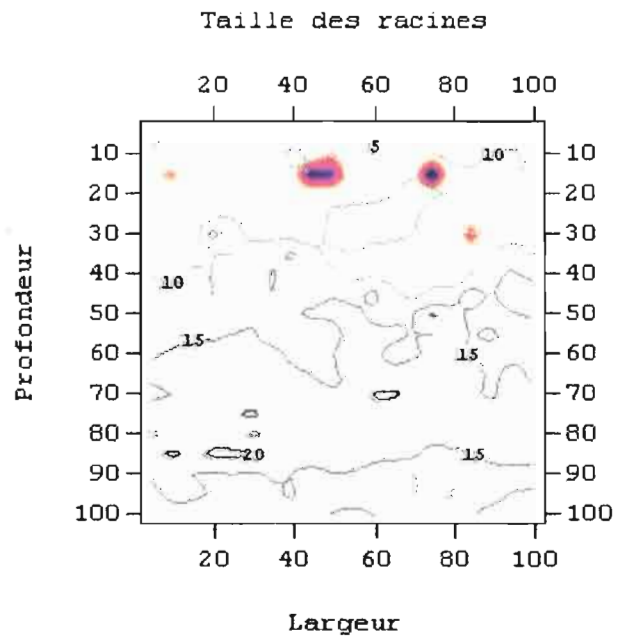
P\_136P\_6L

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrétre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm<sup>2</sup>)
- 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm<sup>2</sup>)
- 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm<sup>2</sup>)
- 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm<sup>2</sup>)
- 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm<sup>2</sup>)

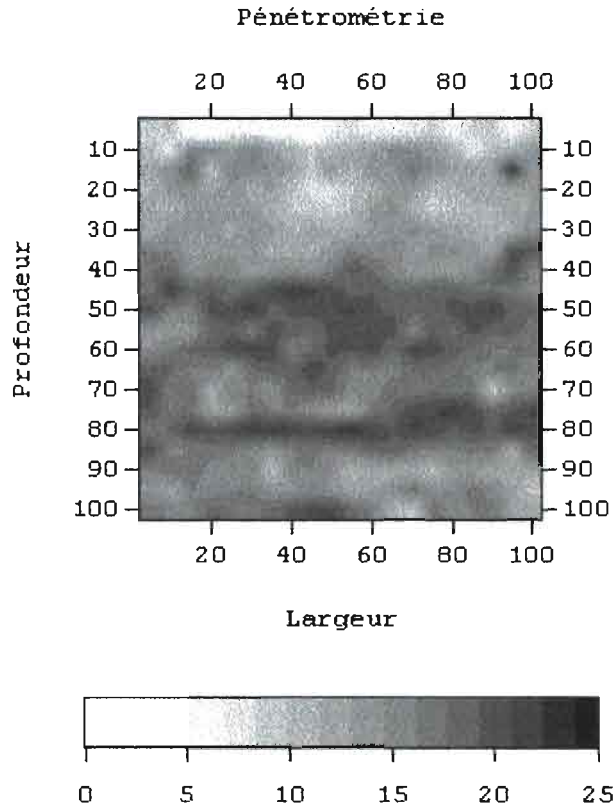


N 136P 6L



T 136P 6L

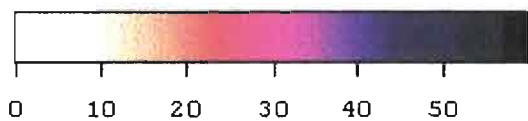
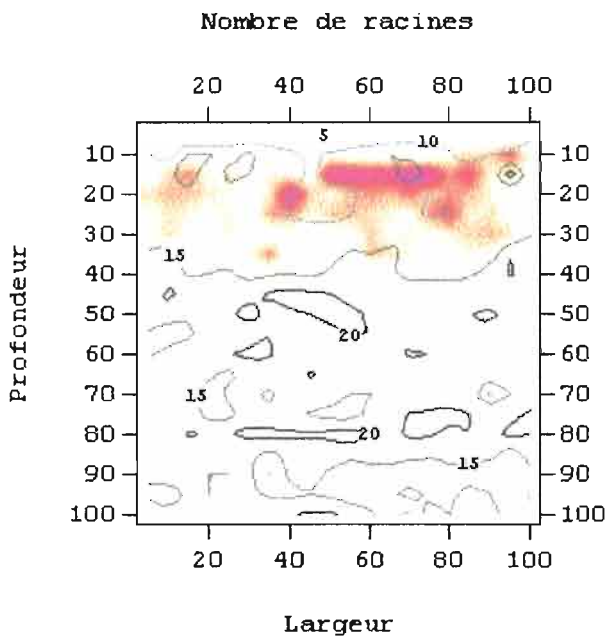
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



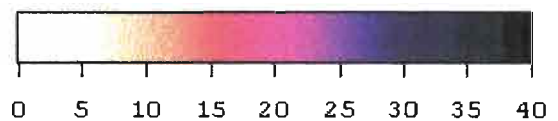
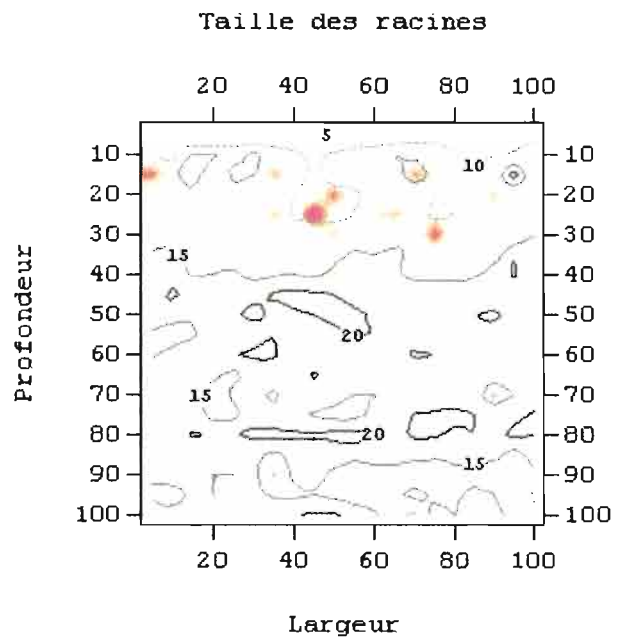
P\_18P\_30T

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétrétre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm<sup>2</sup>)
- 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm<sup>2</sup>)
- 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm<sup>2</sup>)
- 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm<sup>2</sup>)
- 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm<sup>2</sup>)

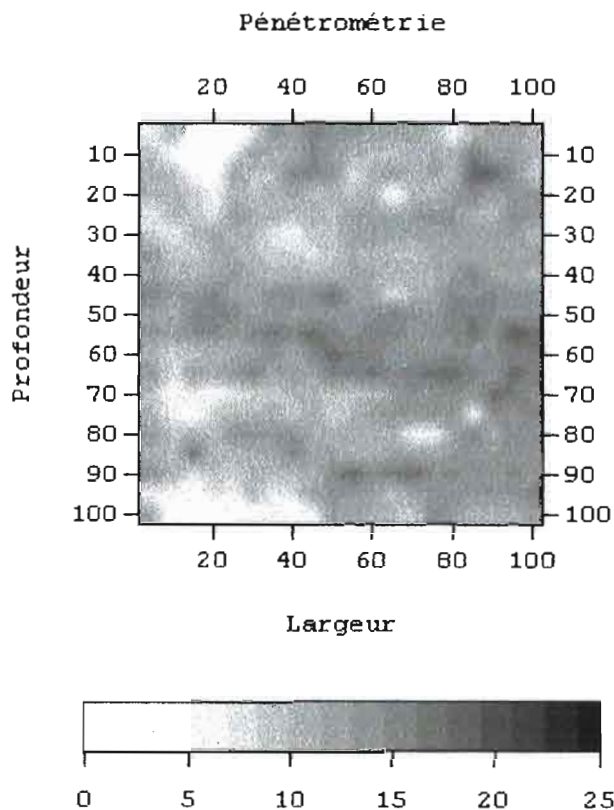


N 18P 30T



T 18P 30T

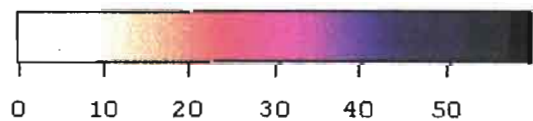
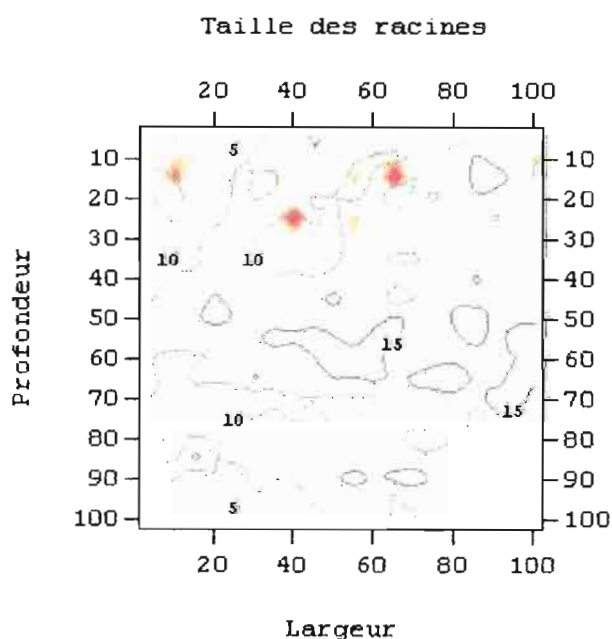
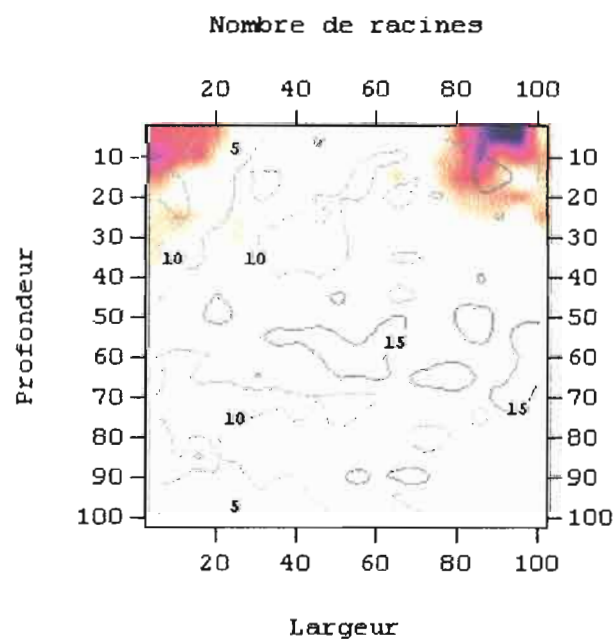
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



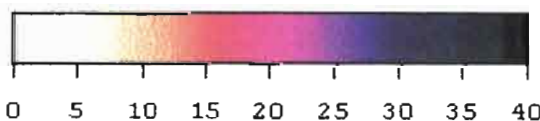
P\_175P\_30T

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )	15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )
5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )	20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> )
10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> )	

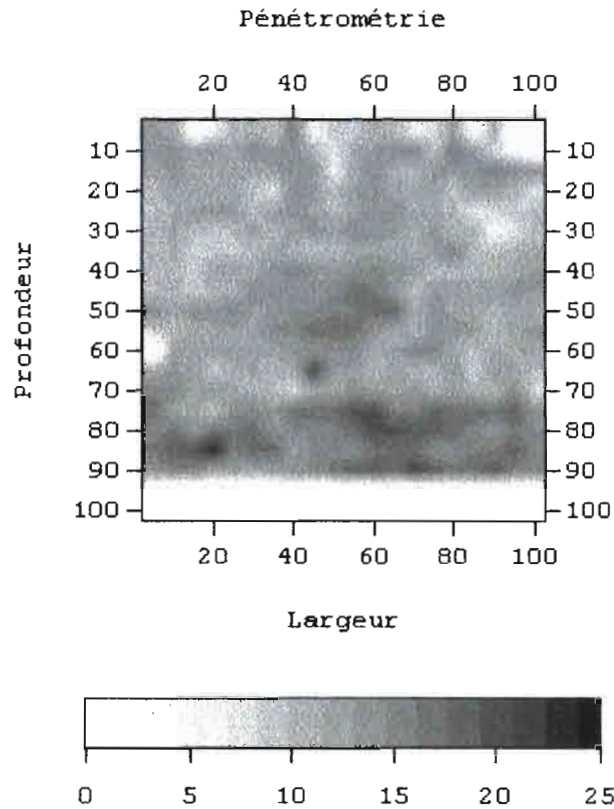


N 175P 30T



T 175P 30T

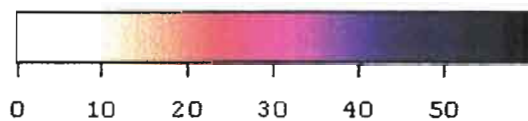
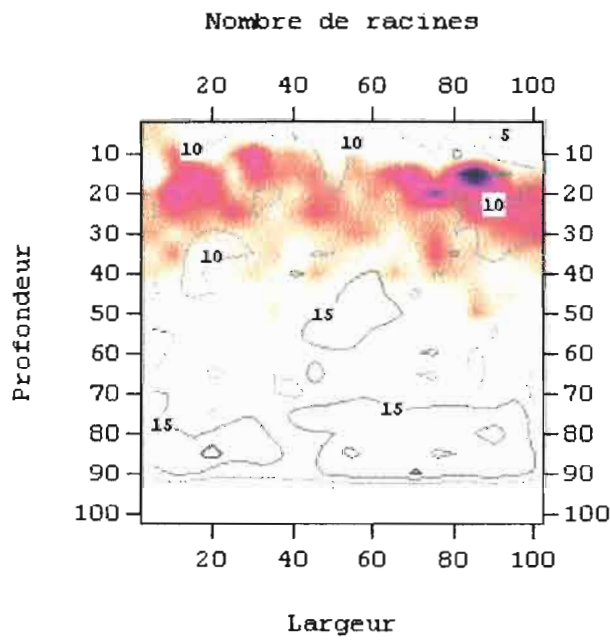
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



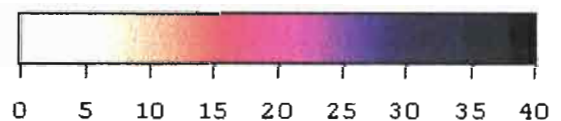
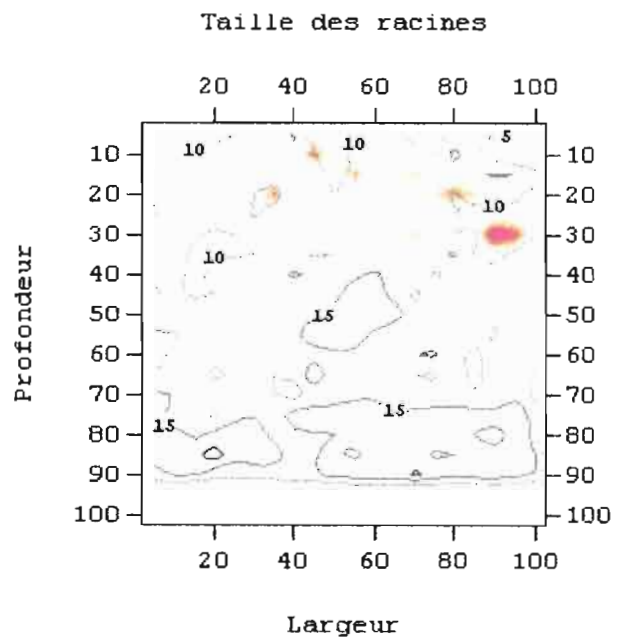
P\_3P\_60T

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- |  |   |
|--|---|
| 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )   | 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )  |
| 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )  | 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> ) |   |



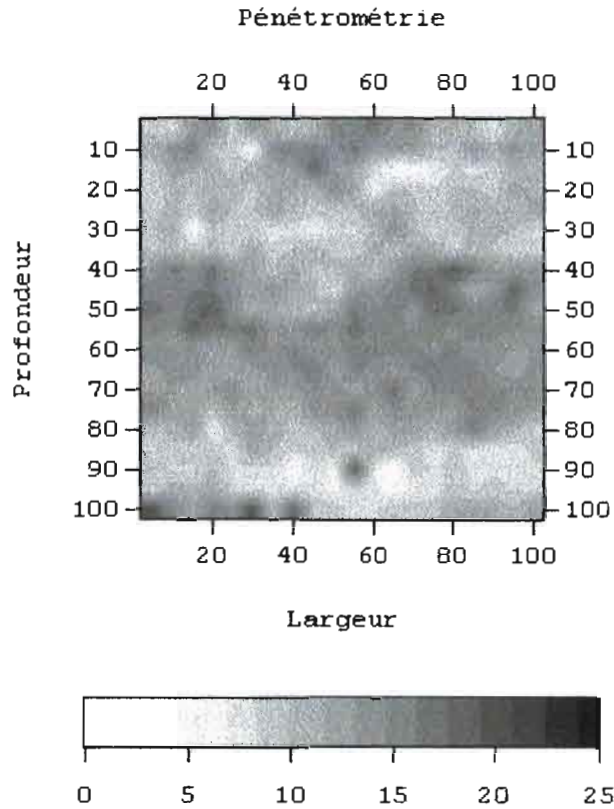
N 3P 60T



T 3P 60T



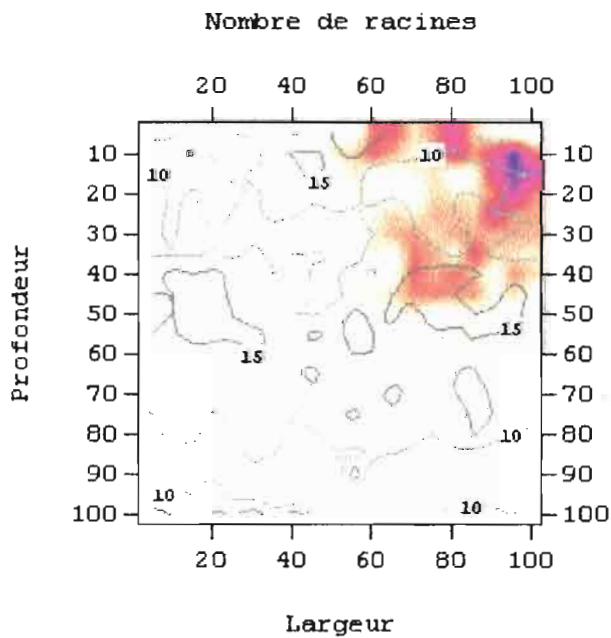
Graphiques de pénétrométrie, du nombre et de la taille des racines



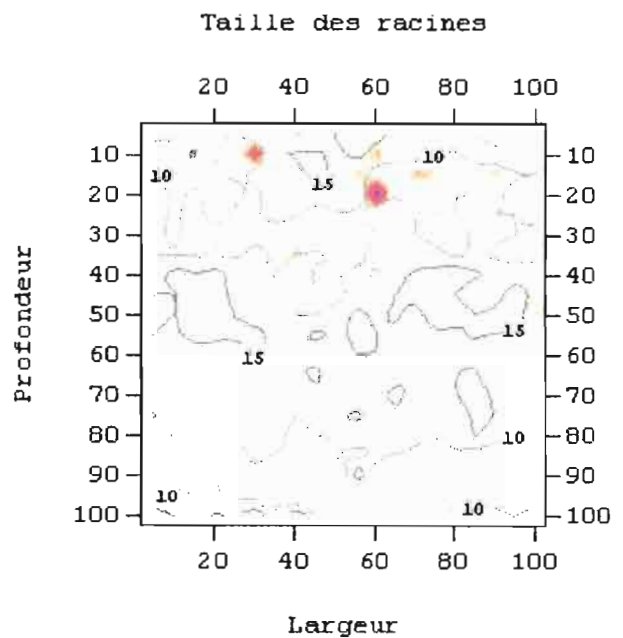
P\_186P\_90T

Valeurs de compacité obtenues, avec un pénétromètre de type Yamanaka, à une humidité proche de la saturation.

- |  |   |
|--|---|
| 0-5 mm : (0.04 - 0.51 kg/cm <sup>2</sup> )   | 15-20 mm : (3.02 - 6.29 kg/cm <sup>2</sup> )  |
| 5-10 mm : (0.51 - 1.40 kg/cm <sup>2</sup> )  | 20-25 mm : (6.29 - 13.97 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 10-15 mm : (1.40 - 3.02 kg/cm <sup>2</sup> ) |   |



N 186P 90T



T 186P 90T

