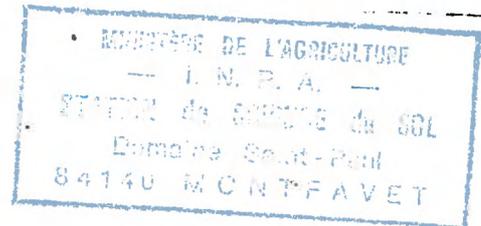


INRA- AVIGNON  
SCIENCE DU SOL

ENITA-DIJON  
OPTION AGRONOMIE.

TH  
T Q 2 3

Q 2  
HC21



COMPARAISON DE METHODES D'ETUDE  
DU SYSTEME RACINAIRE DE VEGETAUX PERENNES  
APPLICATION A DES ARBRES FRUITIERS SOUMIS  
A TROIS MODES D'APPORT D'EAU ET DE SELS.

BERNARD HENNION  
MEMOIRE FIN D'ETUDE 1976

#### AVANT PROPOS

Le travail qui a fait l'objet de ce mémoire de fin d'études a été réalisé à la station de Sciences du Sol du Centre de Recherches Agronomiques du Sud-Est (Avignon) sous la direction de Messieurs G. Monnier, B. Cabibel et R. Guennelon

Ce séjour au contact d'une équipe de chercheurs et de techniciens m'a permis d'être confronté à un certain nombre de méthodes de mesure et d'observations et aux démarches de réflexion qu'elles impliquent.

Que Messieurs Cabibel, Guennelon, Monnier et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin notamment dans la réalisation pratique de ce mémoire trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

## SOMMAIRE

1	Introduction	p. 1
2	Présentation du Matériel	p. 3
	2-1 Le sol	
	2-2 Dispositif expérimental	
	2-21 Matériel végétal	
	2-22 Dispositif	
	2-3 Choix des arbres	
3	Méthodologie	p. 8
	3-1 Introduction	
	3-2 Choix de la surface d'échantillonnage	
	3-3 Estimation de la fonction absorption d'eau du système racinaire	
	3-31 Principe	
	3-32 Technique	
	3-33 Dispositif	
	3-34 Calendrier des manipulations	
	3-4 Estimation de la fonction absorption des sels par le système racinaire	
	3-41 Principe	
	3-42 Technique	
	3-43 Réalisation pratique	
	3-44 Calendrier des Manipulations	
	3-5 Technique d'observation directe	
	3-51 Principe	
	3-52 Technique de réalisation	
	3-53 Calendrier des Manipulations	
4	Présentation des résultats	p. 14
	4-1 Cinétiques de dessiccation	
	4-2 Résultats obtenus par les mesures de radioactivité des feuilles après absorption du $^{32}\text{P}$ par les racines	
	4-3 Résultats des comptages de racines	
5	Résultats et interprétation	p. 17
	5-1 Comparaison morphologique des systèmes racinaires	
	5-12 Morphologie du système racinaire de l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface	

- 5-13 Morphologie du système racinaire de l'arbre irrigué et fertilisé en localisé
- 5-14 Morphologie du système racinaire de l'arbre irrigué par aspersion
- 5-15 Conclusion
- 5-2 Etude de la fonction puits du système racinaire soumis à des régimes hydriques différents.
- 5-21 Rappel des données recueillies. Traitement de ces données
- 5-22 Etude des cinétiques sans apport d'eau
- 5-23 Etude des cinétiques prenant en compte les modalités d'apport d'eau.

6 Conclusion

p. 28

## 1 - INTRODUCTION

Le système racinaire des végétaux supérieurs assure les fonctions essentielles que sont l'ancrage au sol, l'absorption de l'eau et des éléments minéraux nécessaires à leur alimentation, ainsi qu'une fonction de réserves en ce qui concerne les végétaux pérennes.

Les études in situ réalisées jusqu'alors consistent à représenter la densité de racines en fonction de la profondeur et de la distance au tronc. Si cette représentation semble être, à priori, une bonne approche de la fonction ancrage, elle ne donne pas nécessairement une bonne image de la fonction absorption. L'évaluation du nombre de racines, et leur répartition dans le sol ne semblent pas être en effet des critères suffisants pour appréhender les modalités de l'absorption de l'eau et des sels. C'est ainsi que les résultats obtenus par Maertens (1970) sur des milieux artificiels, montrent que les potentialités d'absorption d'eau par les racines ne sont pas des facteurs limitants.

Ces résultats fondamentaux d'un point de vue physiologique ne sont pas directement transposables au champ. En effet, le sol est un milieu complexe où les interactions sol-plante sont importantes. L'étude du fonctionnement d'un système racinaire in situ est donc indispensable.

D'un point de vue pratique, une meilleure connaissance de ce fonctionnement paraît être une condition essentielle au développement de techniques telles que l'irrigation fertilisante localisée.

Dans le cadre de recherches entreprises à la station de Sciences du sol d'Avignon sur la distribution de l'eau et des sels dans des milieux poreux modèles et dans des sols en place, nous avons entrepris de confronter différentes approches de l'étude de l'enracinement d'arbres fruitiers in situ, pour tenter d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

Il s'agit, d'une façon générale de voir dans quelle mesure il est possible de relier une densité racinaire à une évaluation de la fonction absorption d'eau. Pour élargir la variabilité des situations, nous avons étudié le fonctionnement du système racinaire en fonction de deux modes d'apport d'eau fondamentalement différents :

- l'irrigation par aspersion : elle affecte toute la surface du sol et est discontinue dans le temps. Le sol est considéré comme un réservoir d'eau.

- l'irrigation localisée : elle n'affecte qu'un faible volume de sol et est continue dans le temps. Le sol fonctionne alors comme un milieu de transfert de l'eau et des sels vers la plante.

Après avoir présenté le matériel, les méthodes d'études, nous analyserons

les relations qui relient une estimation de la fonction absorption d'eau du système racinaire à une évaluation de ses caractéristiques morphologiques.

Diverses situations seront successivement analysées :

- sans apport d'eau préalable
- après un apport d'eau par aspersion
- après un apport d'eau en localisation

## 2 - PRESENTATION DU MATERIEL

---

### 2-1. LE SOL

Cette étude a été réalisée dans un verger expérimental situé sur le Domaine St Paul du Centre de Recherches Agronomiques d'Avignon. Géographiquement situé au confluent du Rhône et de la Durance, le sol de la parcelle expérimentale étudiée est constitué d'alluvions modernes dosant 30 à 40 % de calcaire total.

Les profils pédologiques réalisés montrent que la couche superficielle (0-1m) est relativement homogène sur l'ensemble de la parcelle. La texture y est de type limono-argileuse à argile limoneuse, (cf Annexe I: Etude pédologique réalisée par M. BOURLET). Les profils étudiés se différencient surtout par leurs caractéristiques structurales et notamment par leur macroporosité. Les variations, essentiellement liées à des états hydriques différents au moment de l'observation se traduisent par la présence ou non de fentes de retrait, par des prises en masse plus ou moins importantes.

La caractéristique essentielle commune à ces profils est la présence à partir de 55 à 60 cm de profondeur, d'un horizon, de texture semblable à celle de l'horizon superficiel, mais plus massif ainsi que le montre la variation de la porosité structurale en fonction de la profondeur.

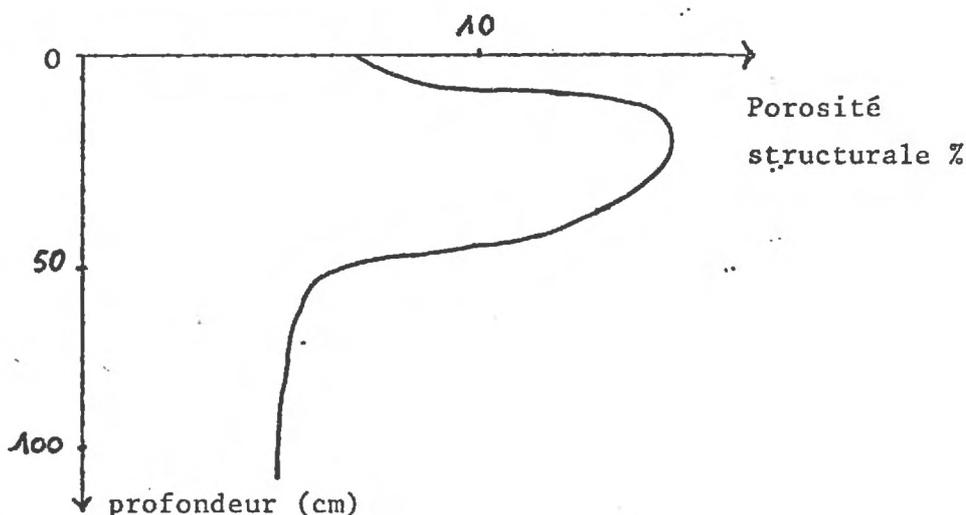


Fig. 1 : Porosité structurale en fonction de la profondeur

Les dosages de matière organique réalisés le long des profils, font également apparaître cette discontinuité (Annexe 2)

Cet ensemble d'observations et de mesures laissait supposer que cette discontinuité constatée dans le sol à la profondeur de 50 à 60 cm, devait être la conséquence d'un labour profond antérieurement effectué. Les recherches entreprises sur le passé cultural de cette parcelle ont effectivement confirmé cette hypothèse. Un labour de défoncement a été réalisé en 1969.

## 2-2 LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

---

### 2-21. Le matériel végétal

Le verger expérimental mis en place en février 1973 est un verger de pommiers de variété Golden Delicious greffés sur EM II. Ce porte-greffe est généralement décrit comme moyennement vigoureux et très sensible à l'asphyxie. L'intervalle de plantation est de 4 m sur la ligne et de 4,5 m sur l'interligne. La densité de plantation, 555 arbres par hectare, correspond à une superficie de 18 m<sup>2</sup> par arbre.

### 2.22. Dispositif :

Le dispositif expérimental comprend trois traitements : (cf plan de la parcelle)

- irrigation par aspersion et fertilisation en surface (parcelle 1 et 2)
- irrigation localisée et fertilisation en surface (parcelle 4 et 5)
- irrigation et fertilisation localisées, les engrais étant apportés dans l'eau d'irrigation (parcelle 3)

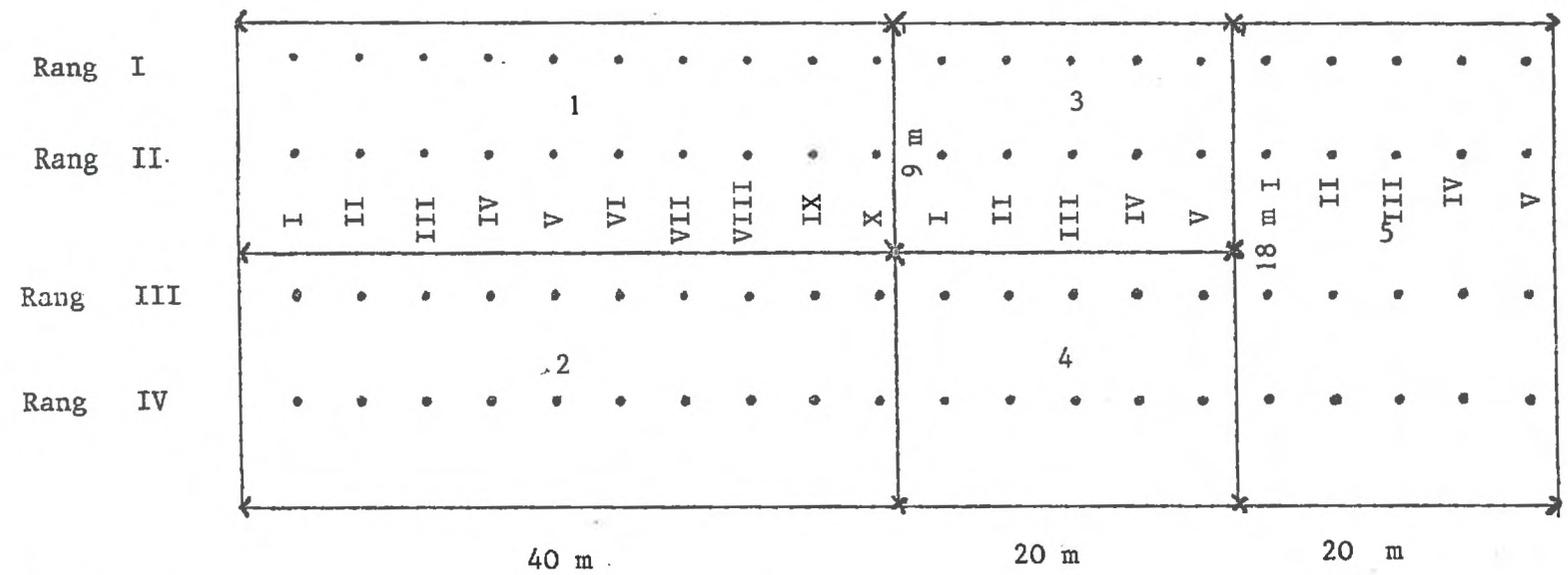
Ces trois traitements ont été appliqués dès l'année de plantation

### \* CONDUITE DE L'IRRIGATION

#### a) Les besoins en eau

Ils sont évalués sur la base de l'ETP de la veille fournie chaque matin par la station de bioclimatologie du centre. L'ETP est mesurée, sur case lysimétrique avec couverture de fétuque élevée, à proximité du verger expérimental. Le coefficient cultural retenu pour 1976 a été fixé empiriquement à 0,5. Les apports d'eau effectués sur les trois traitements sont globalement égaux.

..... HAIE DE CYPRES .....



Surfaces

360 m <sup>2</sup>	1	Irrigation par aspersion, engrais apportés en surface
360 m <sup>2</sup>	2	" " " " " " "
180 m <sup>2</sup>	3	Irrigation localisée, engrais apportés par goutteurs
180 m <sup>2</sup>	4	" " " " " "
360 m <sup>2</sup>	5	" " " " " "
1440 m <sup>2</sup>		

PLAN DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE

### b) Mode d'apport

- En aspersion la dose d'irrigation a été fixée à 50 mm. Ceci a correspondu a une fréquence d'apport d'environ 15 jours.

- En irrigation localisée, on apporte quotidiennement la quantité d'eau correspondant à 0,5 ETP. L'eau est apportée à 50 cm du tronc de chaque arbre par 3 capillaires (Annexe 3 : Schéma du dispositif). La pression étant constante pour toute la durée de la campagne, le débit, compte tenu des caractéristiques hydrauliques du système d'irrigation, est de 6 l par heure et par arbre. Dans ces conditions, seul le temps d'apport journalier varie. Une vanne volumétrique permet de programmer la dose d'eau a apporter. Pour les fortes évapotranspirations (10 mm et plus), le temps d'irrigation dépassait 15 heures. Il se situait généralement entre 8 heures et 10 heures par jour.

### \*LA FERTILISATION

Elle a été réalisée comme suit :

#### a) Doses d'apport des engrais

Identiques pour les traitements, elles sont les suivantes :

- en 1974 et 1975 :	100 U N
	100 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	120 U K <sub>2</sub> O
- en 1976	200 U N
	150 U P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	100 U K <sub>2</sub> O

#### b) Modalités d'apports

L'azote est amené sous forme d'ammonitrate, le phosphore sous forme de super 18, le potassium sous forme de sulfate de potasse. Les apports en surface (parcelles 1-2-4-5) sont réalisés dès le mois de Novembre en ce qui concerne le phosphore et le potassium, en Janvier en ce qui concerne l'azote, les apports dans l'eau d'irrigation (parcelle 3) sont déclenchés début Juin. Ils sont réalisés en trois apports successifs espacés d'une semaine.

### 2-3. CHOIX DES ARBRES

Un brise vent, constitué par une haie de cyprès parallèle aux raies de plantation du verger expérimental, induit dans la parcelle un gradient microclimatique perpendiculaire à cette haie.

De ce fait, les arbres étudiés devaient être choisis sur un même rang dans lequel les trois traitements sont représentés. Pour limiter au maximum une influence des cyprès au niveau de l'absorption de l'eau et

des engrais nous avons retenu le rang 2.

Sur ce dernier nous avons choisi dans chaque traitement l'arbre dont la croissance était la plus proche de la croissance moyenne des arbres du rang et du traitement considéré. (cf Annexe 4 : Courbes de croissance des arbres)

Les arbres retenus sont donc :

- parcelle 1 : arbre n° III
- parcelle 3 : " n° II
- parcelle 5 : " n° II

### 3 - METHODOLOGIE

---

#### 3-1. INTRODUCTION

---

La réalisation de cette étude impliquait le choix d'une surface d'échantillonnage à partir de laquelle seraient mises en oeuvre les différentes techniques d'observation in situ du système racinaire : comptage de racines et évaluation de la fonction puits pour l'eau et les sels.

#### 3-2. CHOIX DE LA SURFACE D'ECHANTILLONNAGE

---

La détermination de cette surface est fondée sur une technique d'étude du système racinaire in situ, mise au point par J.G. HUGUET : "La tranchée spirale". (Annales Agronomiques 1973 vol. 24 n° 6). Cette tranchée est ainsi appelée car sa trace en surface est une spirale logarithmique.

Cette dernière a les propriétés suivantes :

- 1) Elle s'éloigne régulièrement du tronc
- 2) Elle explore une zone inscrite dans un demi-cercle dont le rayon est, par rapport au tronc, la distance maximale de prospection
- 3) Les conditions de comptage de racines sont en tous points comparables : si l'on considère les racines comme les rayons d'un cercle dont le centre serait le pied de l'arbre, elle coupe ces rayons avec un angle constant.
- 4) Le terrassement nécessaire est minimum : confronté à un demi cercle de diamètre AB (Fig 2) ou à un arc de spirale d'archimède, d'extrémités A et B, l'arc de spirale logarithmique est le plus court.
- 5) Elle peut être définie en fonction des dimensions de l'arbre : l'équation de la courbe en coordonnées polaires est :

$$P = \beta e^{\alpha \theta}$$

où  $\alpha$  et  $\beta$  sont des paramètres caractéristiques de la taille de l'arbre. Leurs expressions sont :

$$\beta = 1,5 d \quad \text{où } d \text{ est le diamètre du tronc}$$

$$\alpha = \frac{R}{\pi \log d} \quad \text{où } R \text{ est le rayon de la couronne de l'arbre.}$$

L'abaque de HUGUET donne directement  $\alpha$  en fonction de  $d$  et de  $R$  et, en fonction de l'angle de rotation, les principaux points permettant de définir directement la courbe trace de la face interne de la tranchée d'observation. Par translation, généralement de 60 cm, on obtient la face

externe de cette tranchée.

Cette méthode apparaît comme particulièrement adaptée lorsque le tronc de l'arbre constitue l'axe de symétrie du système racinaire. Or en présence d'une localisation de l'eau, on ne peut exclure l'introduction de ce fait, d'un élément de dissymétrie. De plus, le bulbe humide créé par la localisation de l'eau, constitue une zone d'étude du fonctionnement racinaire particulièrement intéressante.

Compte tenu de ces remarques et des techniques mises en oeuvre, il a été nécessaire d'adapter la surface d'échantillonnage. La spirale a été translatée de 42 cm par rapport à la spirale théorique donnée par l'abaque de HUGUET, son origine ayant été fixée à 50 cm du tronc de l'arbre, au point d'apport de l'eau pour les deux arbres irrigués en localisé. A cette spirale, nous avons adjoint un cercle centré sur le pied de l'arbre et de rayon 50 cm. Le dispositif retenu pour les deux arbres en irrigation localisée a été simplifié pour l'arbre irrigué par aspersion : seul un demi cercle est adjoint à la spirale logarithmique (Figures 2 et 3)

### 3-3. ESTIMATION DE LA FONCTION ABSORPTION D'EAU DU SYSTEME RACINAIRE

---

#### 3-31. Principe

L'évaporation directe étant éliminée par couverture du sol avec un film plastique, on admet que toute diminution de l'humidité du sol, en l'absence de drainage est la conséquence de l'absorption d'eau par les racines

#### 3-32. Technique :

Mesure de dessiccation du sol

Nous avons utilisé un humidimètre à neutrons de type Solo (CEA Cadarache) et un dispositif de mesure in situ, constitué de tubes d'aluminium ( $\phi$  43-45 mm) (Annexe 5 ; La sonde Solo. Caractéristiques. Etalonnage)

#### 3-33. Dispositif

Les tubes de sonde ont été disposés dans le sol, sur la spirale logarithmique et sur le cercle décrits précédemment. Dans chaque système, le nombre de tubes mis en place est fonction des facteurs suivants :

- le temps de sondage disponible par jour : compte tenu des caractéristiques de la sonde, il est difficile de sonder plus de 15 tubes dans la journée.

- la nécessité et l'intérêt d'étudier le "bulbe humide" créé en irrigation localisée. Huit tubes décalé de  $\frac{\pi}{4}$  ont donc été placés sur le cercle. Deux

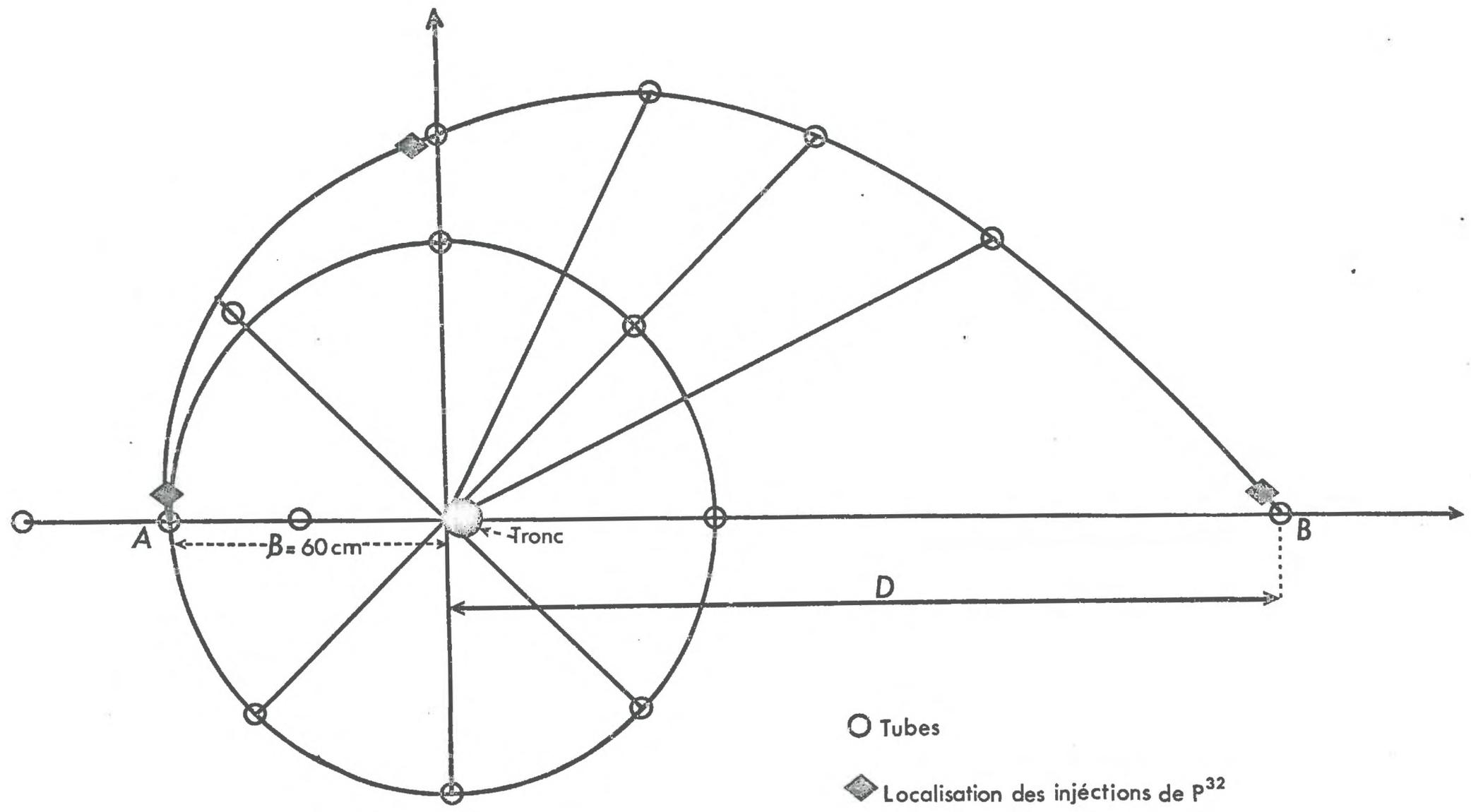


Fig.2 Dispositif utilisé sur les arbres irrigués en localisé

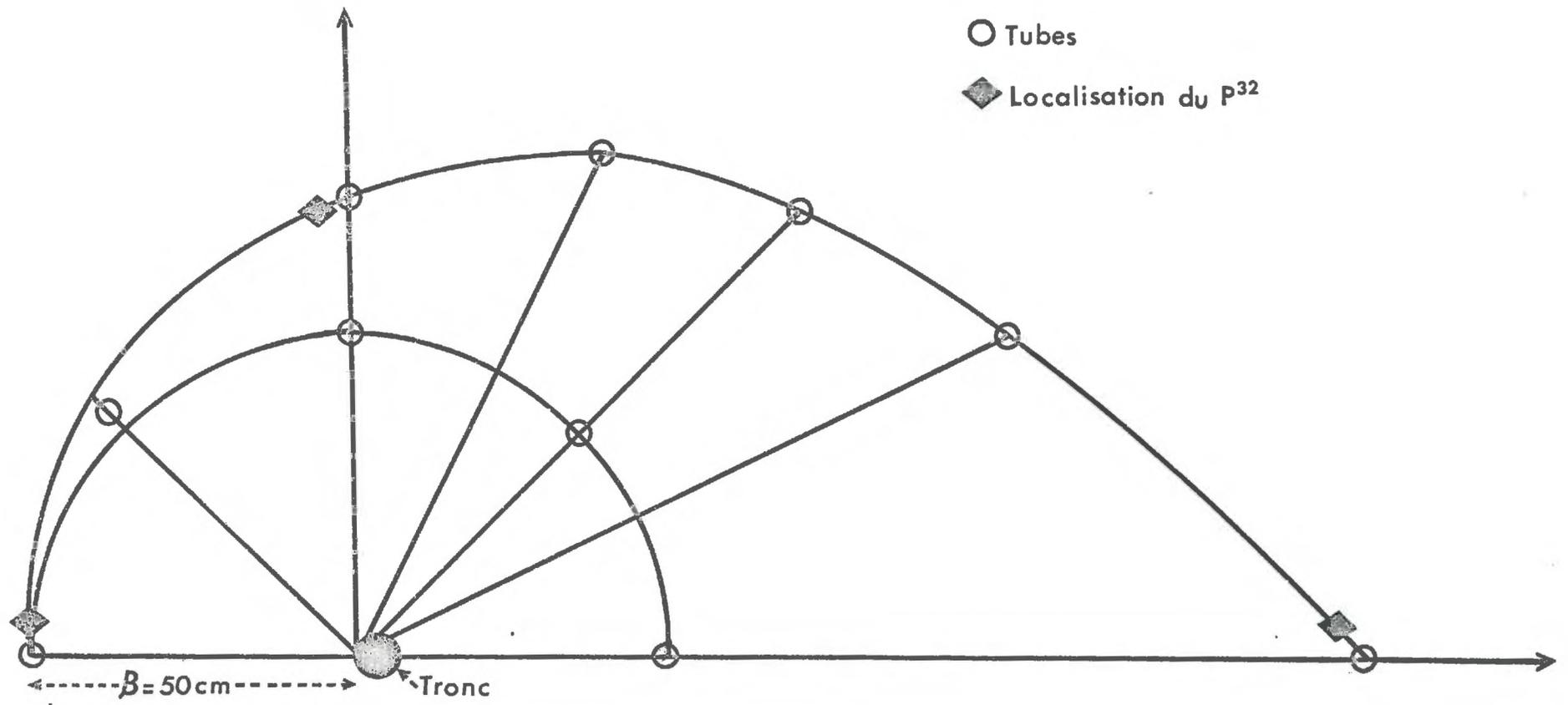


Fig. 3 Dispositif utilisé sur un arbre irrigué par aspersion

tubes placés sur la ligne de plantation, à 25 cm de part et d'autre du goutteur permettent d'explorer plus particulièrement le sol à proximité du point d'apport de l'eau.

Deux tubes sont communs au cercle et à la spirale. Cinq tubes supplémentaires complètent la spirale.

- Le dispositif de l'arbre irrigué par aspersion ne possède que 10 tubes :

7 tubes sur la spirale

3 tubes sur le demi cercle.

(Fig 2 et 3)

### 3-34. Calendrier des Manipulations

Huit cinétiques de dessiccation ont été réalisées.

1° Cinétiques réalisées sur l'arbre irrigué par aspersion

Trois cinétiques ont été réalisées sur le dispositif de cet arbre.

Leurs caractéristiques essentielles sont :

1ere Cinétique : Du 27 mai au 12 juin.

Aucun apport d'eau préalable

ETP cumulée : 22,5 mm

2e Cinétique : Du 24 juin au 5 juillet

Apport d'eau : 34 mm le 22 juin

ETP cumulée : 20,5 mm

3e Cinétique : Du 8 juillet au 21 juillet

Apport d'eau : 55 mm le 5 juillet

ETP cumulée : 51,2 mm

2° Cinétiques réalisées sur l'arbre en irrigation localisée et fertilisation en surface

Trois cinétiques ont également été réalisées :

1ere Cinétique : Du 26 mai au 9 juin

Aucun apport d'eau préalable

ETP cumulée : 47,2 mm

2e Cinétique : Du 16 juin au 25 juin

Apport d'eau : 18 mm du 10 juin au 15 juin

ETP cumulée : 12,0 mm

3e Cinétique : Du 1er juillet au 13 juillet

Apport d'eau : 7,30 mm du 26 juin au 29 juin

ETP cumulée : 31,4 mm

3° Cinétiques réalisées sur l'arbre en irrigation et fertilisation généralisée :

Deux cinétiques ont été réalisées :

1ere Cinétique : Du 18 juin au 28 juin

Apport d'eau : 18 mm du 10 juin au 15 juin

ETP cumulée : 21,3 mm

2<sup>e</sup> Cinétique : Du 3 juillet au 17 juillet

Apport d'eau : 9,4 mm du 29 juin au 2 juillet

ETP cumulée : 37,6 mm

### 3-4. ESTIMATION DE LA FONCTION ABSORPTION DES SELS PAR LE SYSTEME RACINAIRE

---

#### 3-41. Principe

Dans un volume donné de sol, l'absorption des sels par la plante est notamment fonction de la présence de racines fonctionnelles et de l'état hydrique de ce sol. L'introduction d'un marqueur radioactif dans le sol, à diverses distances de l'arbre, devait permettre par analyse foliaire, de juger de la présence de racines et de leur bon fonctionnement par la pénétration de ce marqueur.

#### 3-42. Technique

Deux techniques pouvaient être adoptées :

1) Plusieurs éléments radioactifs tels que  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ , pouvaient être injectés dans le sol à diverses distances de l'arbre. Il était possible de mesurer, au niveau des feuilles, le rayonnement émis par chaque élément après son absorption éventuelle. On pouvait donc savoir si, à une distance donnée de l'arbre, il existait des racines fonctionnelles vis à vis de l'absorption de cet élément. Cette solution n'a pas été retenue car il existe des problèmes de localisation des éléments dans la plante.

De plus, le coût de cette manipulation eut été relativement élevé, et les mesures de plusieurs isotopes, présents conjointement sont plus longues et délicates.

2) La solution adoptée fait intervenir le facteur temps. Le principe en est le suivant : on utilise un élément radioactif dont la période est aussi courte que possible, dont la mobilité dans le sol est faible et qui est absorbé en quantité importante dans un temps relativement court. Au temps  $t$ , on injecte cet élément à une certaine distance du tronc. Puis on mesure régulièrement la radioactivité des feuilles. Lorsque la décroissance est suffisamment importante, on réalise alors une deuxième injection de ce même élément à une seconde distance de l'arbre. L'évolution de la radioactivité des feuilles renseigne alors sur l'absorption éventuelle de l'élément. Compte tenu du temps qui nous était imparti, il nous fallait choisir un radioélément répondant aux deux critères précédemment énoncés. Le Sodium 23 dont la période est de 2 jours aurait permis de nombreuses injections. Mais, par suite des modalités de fabrication, le prix d'un radioélément est généralement d'autant plus élevé que sa période de demi-vie est courte. Nous avons alors choisi le phosphore 32 dont la période est de 14 jours.

### 3-43. Réalisation pratique

Mélangé à de la terre finement broyée, l'élément marqueur est introduit dans le sol entre 30 et 60 cm de profondeur. Un prélèvement de feuilles, effectué deux jours après l'injection, est séché et broyé. Un échantillon de 2 grammes est introduit dans un ensemble de comptage.

(Annexe 6 : Mesure de radioactivité par l'ensemble de comptage RA 15)

Ce prélèvement et cette analyse sont ensuite répétés à intervalles réguliers jusqu'à ce que la radioactivité des feuilles soit suffisamment faible

On réalise alors la seconde injection à une nouvelle distance de l'arbre.

### 3-44. Calendrier des manipulations

Sur les trois dispositifs précédemment choisis nous avons réalisés 3 injections (cf Fig 2 et 3)

Chaque injection a été réalisée à la même date et à la même distance de l'arbre sur les trois dispositifs. Toute injection de P 32 était accompagnée d'une irrigation.

1ere injection	: 13 juin	
		Distance à l'arbre : 50 cm
2e injection	: 29 juin	
		Distance à l'arbre : 71 cm
3e injection	: 19 juillet	
		Distance à l'arbre : 1,55 m

### 3-5. TECHNIQUE D'OBSERVATION DIRECTE

#### 3-51. Principe

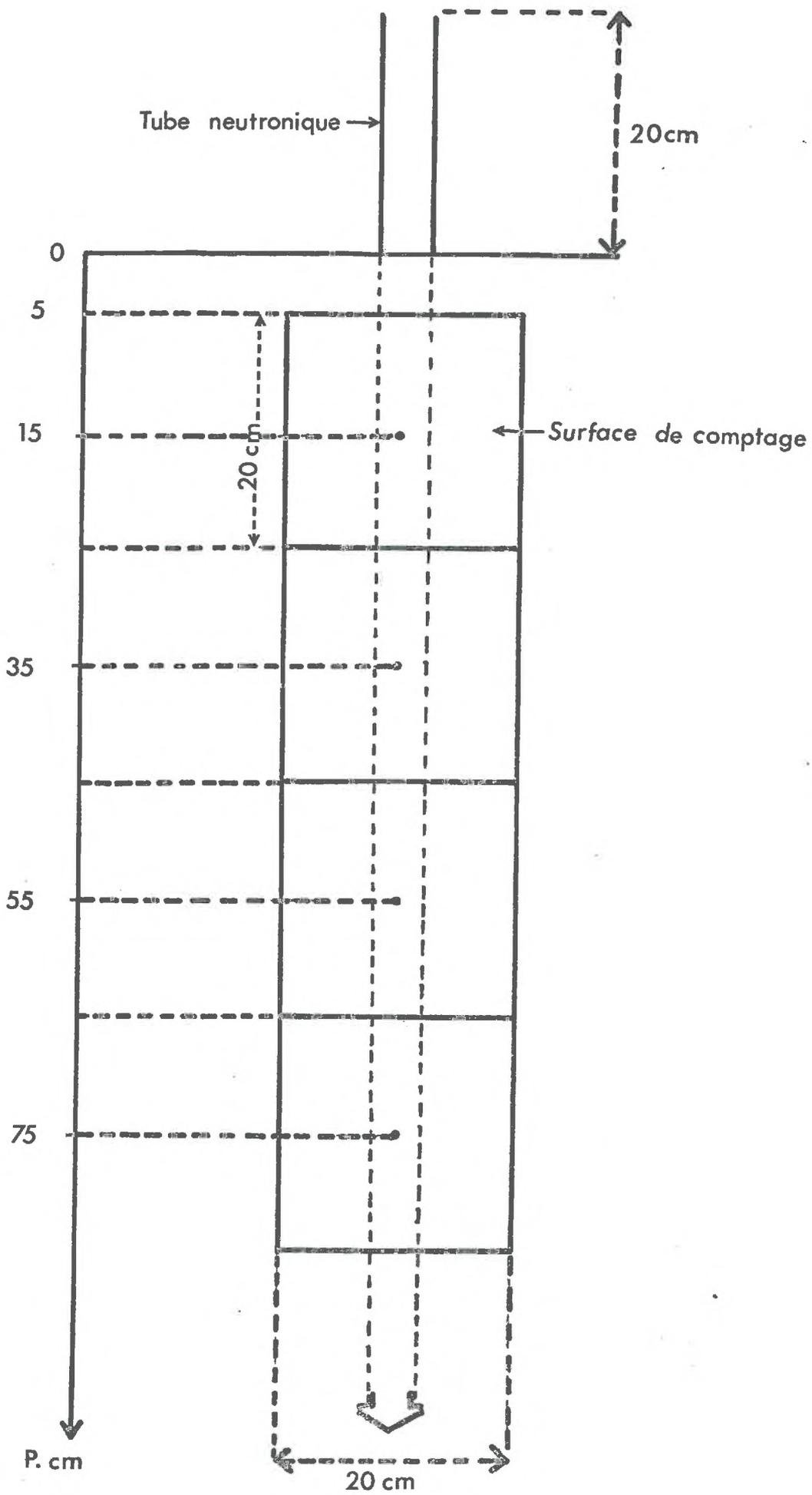
La surface d'échantillonnage étant déterminée pour chaque arbre, il reste à définir des plans de comptage des racines permettant d'établir une comparaison avec le résultat des cinétiques de dessiccation du sol.

Pour ce faire, la maille de comptage doit donc être calquée sur la maille de mesures effectuées à la sonde. Les comptages ont donc été réalisés le long de chaque tube mis en place. La maille élémentaire choisie est un carré de 20 cm de côté car la zone d'influence de la sonde est une "sphère" de 20 cm de diamètre. (Fig 4 : Schéma de comptage des racines)

#### 3-52. Technique de réalisation

Une première approche est réalisée à la bêche. Elle est complétée par un rafraîchissement du profil au couteau, puis par une humectation et un lavage au pistolet à eau. Toutes ces précautions sont prises afin de dégager un maximum de racines fines. En effet, le rafraîchissement au profil avec la seule aide du couteau se révèle, dans ce type de sol, trop dévastateur vis à vis des radicelles. On compte ensuite toutes les intersections des racines avec la

Fig. 4 Schéma de comptage



paroi de la tranchée dans chaque carré de la maille.

Les racines sont réparties en trois classes en fonction de leur diamètre :

- < 1 mm
- 1 <            < 3 mm
- > 3 mm

### 3-53. Calendrier de manipulation

Ces comptages ont été réalisés durant la première partie du mois d'août. Ils ne pouvaient, en effet, intervenir, qu'une fois les autres expériences achevées.

## 4 - PRESENTATION DES RESULTATS

## 4-1. Cinétiques de dessiccation

Huit cinétiques de dessiccation ont été réalisées, avec un pas de mesure de 2 à 3 jours. Les résultats de ces mesures sont exprimés en nombre de coups. Toute variation du nombre de coups, les courbes d'étalonnage étant des droites, est proportionnelle à une variation d'humidité volumique du sol (cf Annexe 5 : Etalonnage de la sonde Solo). On calcule donc, pour chaque cinétique, chaque tube, chaque niveau de mesure, une variation du nombre de coups,  $\Delta c$ , égale à la différence du nombre de coups mesurés en début et fin de cinétique.

$$\Delta c = C_1 - C_2$$

$C_1$  = nombre de coups mesurés en début de cinétique

$C_2$  = nombre de coups mesurés en fin de cinétique

Tout  $\Delta c$  positif correspond donc à une diminution de l'humidité volumique du sol au cours de la cinétique.

#### 4-2. RESULTATS OBTENUS PAR LES MESURES DE RADIOACTIVITE DES FEUILLES APRES ABSORPTION DU $^{32}\text{P}$ PAR LES RACINES

Une mesure de radioactivité des feuilles est effectuée deux jours après implantation de l'élément dans le sol. Cette mesure est exprimée en nombre de coups par heure.

On effectue ensuite plusieurs mesures espacées de 5 à 7 jours. Lorsque la décroissance de radioactivité des feuilles est suffisante, on effectue l'implantation suivante. Le schéma théorique de réponse est donc la résultante de l'absorption continue de  $^{32}\text{P}$  et de la décroissance de radioactivité de cet élément.

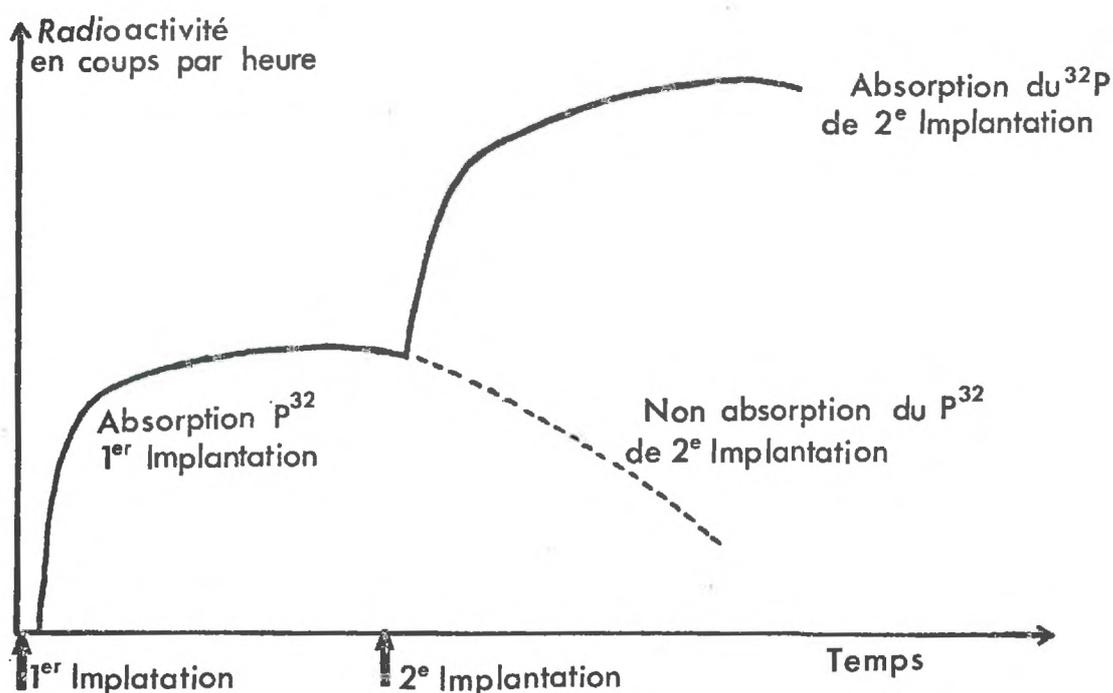
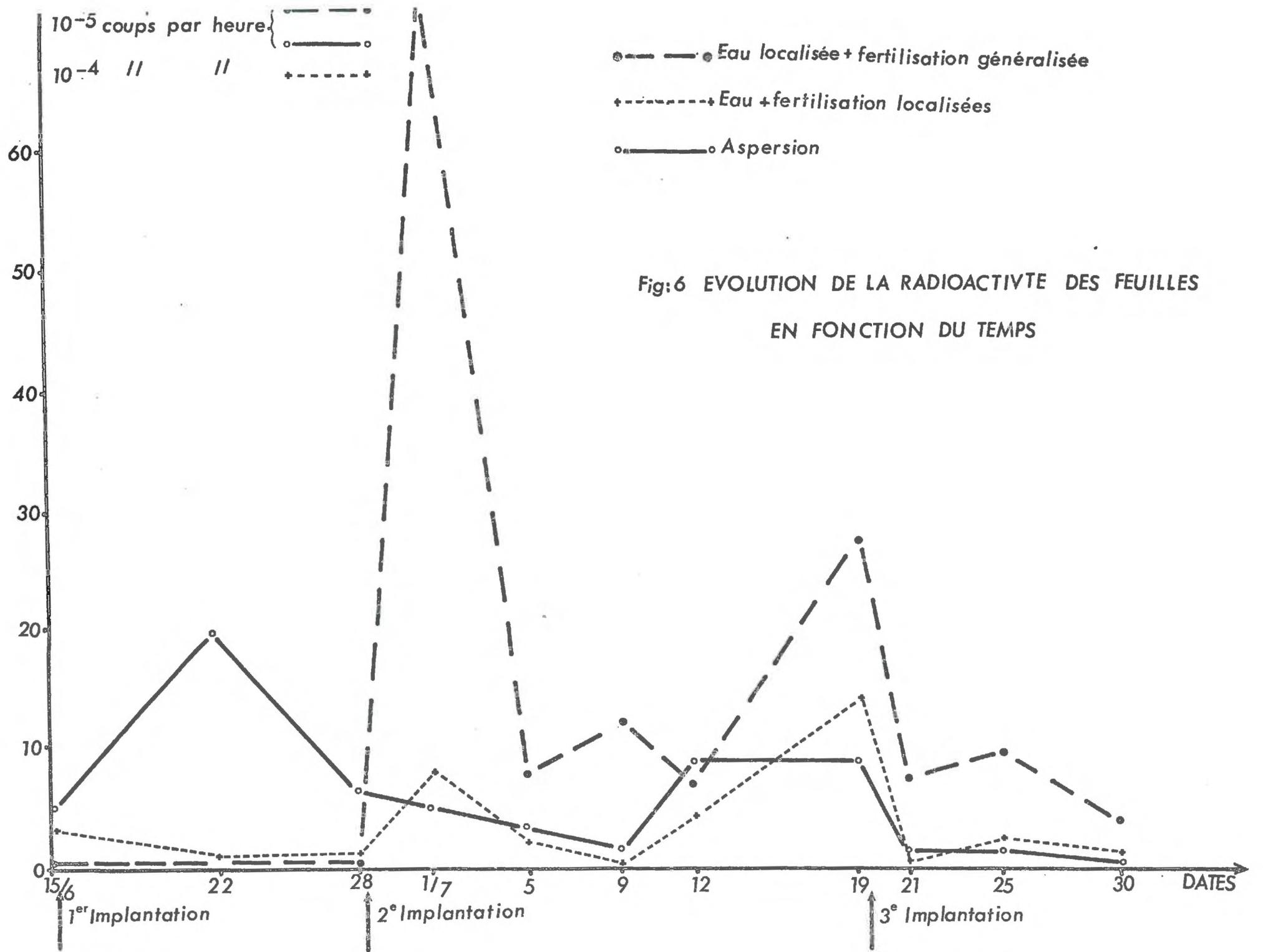


Fig. 5 Schéma théorique de réponse au  $^{32}\text{P}$



Cependant, les résultats obtenus traduisent également d'autres phénomènes (Fig 6: Evolution de la radioactivité des feuilles en fonction des implantations successives de  $^{32}\text{P}$ ). On constate en effet des augmentations de radioactivité à des moments où celle-ci aurait théoriquement dû continuer à décroître. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces phénomènes :

- il peut exister au niveau des parties aériennes et singulièrement au niveau du feuillage de l'arbre des zones de localisation préférentielle du  $^{32}\text{P}$ . Il faut alors poser le problème de l'échantillonnage, c'est à dire le problème du prélèvement des feuilles et de la représentativité de cet échantillon.

- il peut exister des phénomènes de rediffusion à l'intérieur de l'arbre.

- la migration du  $^{32}\text{P}$  dans le sol peut également expliquer ces phénomènes. Le phosphore étant introduit dans le sol sous une forme soluble (phosphate biammonique), le  $^{32}\text{P}$  peut ensuite migrer jusqu'à une racine capable de l'absorber. Cependant, la nature du terrain (30 à 40 % de calcaire total) doit limiter cette migration, le phosphore passant sous forme de phosphate bicalcique peu soluble.

L'interprétation des résultats ne pourra donc se faire qu'à partir de la mesure réalisée deux jours après l'implantation du  $^{32}\text{P}$ . La réponse sera de type "tout ou rien". La condition nécessaire pour que l'on puisse affirmer qu'il y a présence d'au moins une racine fonctionnelle au point d'implantation du  $^{32}\text{P}$  est que la réponse soit positive. Une réponse négative ne signifie pas obligatoirement "absence de racines" mais au moins "pas de racines fonctionnelles, au moment de l'expérience, vis à vis de l'absorption du phosphore"

Les résultats bruts permettent donc de tirer les conclusions suivantes

- 1) Après la première implantation, la réponse des arbres irrigués en localisé peut être considérée comme négligeable en soi surtout si on la compare à la réponse de l'arbre irrigué par aspersion. Cette dernière indique clairement, par contre, que les racines de l'arbre ont absorbé le  $^{32}\text{P}$

- 2) Les mesures réalisées après la seconde implantation montrent que l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface a absorbé massivement l'élément introduit. L'arbre irrigué et fertilisé en localisé a également répondu positivement. Par contre, l'arbre irrigué par aspersion n'a pas donné de réponse positive.

- 3) Enfin, aucun arbre n'a absorbé le  $^{32}\text{P}$  introduit lors de la troisième implantation.

#### 4-3. RESULTATS DES COMPTAGES DE RACINES

---

Les résultats des comptages effectués dans chaque carré de la maille précédemment définie est inscrit, pour chaque arbre dans un tableau à double entrée. Les lignes et les colonnes de ce tableau représentent respectivement les profondeurs des comptages et leurs distances à l'arbre. Les chiffres inscrits à l'intersection de ces lignes et de ces colonnes représentent le nombre de racines appartenant à chaque classe précédemment définies (cf paragraphe 3-52)



P (cm)	D (cm)	25	50	75	57	64	71	88	99	114	132	155	50	50	50	50	50	50	
	N°	34	35	36	37	-	38	39	40	71	-	41	42	43	44	45	46	47	
5-25	(a)	3	3	0	8	19	0	0	0	0	1	0	16	2	0	0	0	0	1
	(b)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	(c)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-45		26	11	2	27	21	14	1	0	6	2	16	27	15	2	17	11	25	
		4	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	
		2	1	0	2	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
45-65		6	5	2	9	10	11	11	6	6	2	6	23	20	17	17	29	8	
		0	0	1	1	1	1	0	1	0	2	1	2	2	3	1	1	2	
		0	0	0	3	4	0	1	0	0	0	0	4	2	1	0	2	0	
65-85		0	8	5	3	7	4	1	7	7	0	9	0	6	7	16	4	2	
		0	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	

D: distance au tronc

P: profondeur de comptage

N°: numéro du tube correspondant

a: racines de diamètre inférieur à 1mm

b: " " " compris entre 1mm et 3mm

c: " " " supérieur à 3mm

Tableau de comptage des racines - traitement Aspersion

P (cm)	D (cm)	50	57	63	71	88	99	114	132	155	50	50	50	
	N°	62	63	-	64	65	66	73	-	67	68	69	70	
5-25	(a)	9	2	0	0	0	0	7	0	0	0	6	1	
	(b)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25-45		3	3	11	13	6	24	13	30	0	11	6	5	
		3	0	2	0	1	2	0	2	0	1	1	2	
45-65		8	2	15	20	4	1	16	11	1	23	10	6	
		3	0	3	4	0	0	4	0	1	6	4	3	
65-85		0	1	0	2	0	1	8	0	3	1	5	4	
		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	

D : distance au tronc

P : profondeur de comptage

N° : numero du tube correspondant

a : racines de diamètre inférieur à 1mm

b : " " " supérieur " "

## 5 - RESULTATS ET INTERPRETATION

---

### 5-1. COMPARAISON MORPHOLOGIQUE DES SYSTEMES RACINAIRES

---

#### 5-11. Introduction

Il faut tout d'abord rappeler que ces comptages, ont été faits dans un but précis, selon un schéma d'observation discontinu. Même si ces comptages ont été complétés par d'autres, semblables, à mi-distance de deux tubes chaque fois que leur distance dépassait 40 cm, la variabilité des résultats est importante (cf. Tableaux de résultats).

De ce fait l'interprétation des courbes de densité racinaire en fonction de la distance au tronc, n'a pu être effectuée qu'en adoptant la technique des moyennes mobiles. Mais cette technique, en diminuant considérablement la précision des données de distance au tronc ne nous permet de faire cette interprétation que prudemment. De plus, l'interprétation des données par classe de taille de racines, donnant des résultats comparables, nous effectuerons cette comparaison morphologique sur l'ensemble des racines, c'est à dire, toutes classes de tailles confondues.

#### 5-12. Morphologie du système racinaire de l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface

L'enracinement de surface (5-25 cm) diminue rapidement lorsque l'on s'éloigne du tronc. Il disparaît totalement à 80 cm de l'arbre. Dans les couches intermédiaires, (25-45 cm et 45-65 cm), le nombre de racines est important à proximité du tronc. Il diminue rapidement dès que la distance au tronc atteint 1 m, mais on trouve encore des racines au delà de 1, 40 m. En profondeur (65-85 cm), le nombre de racines, quoique plus faible que dans les couches supérieures, semble relativement constant à partir de 50 cm et jusqu'à 1,40 m du tronc.

#### 5-13. Morphologie du système racinaire de l'arbre irrigué et fertilisé en localisé.

Le système racinaire de cet arbre est du même type que celui étudié précédemment. La différence d'enracinement réside essentiellement dans l'extension relative de ces deux systèmes racinaires. Dans ce cas, si l'enracinement de surface est comparable au précédent, on note dans les couches plus profondes une diminution du nombre de racines. Cette différence croît avec la distance du tronc et la profondeur.

#### 5-14. Morphologie du système racinaire de l'arbre irrigué par aspersion

Le type d'enracinement de cet arbre est assez différent des précédents.

Le nombre de racines comptées dans la couche de surface (5-25 cm), quoique faible est relativement constant jusqu'à 1,40 m. La couche 25-45 cm est fortement colonisée par les racines, quelle que soit la distance à l'arbre (maximum 1,40 m). Si le nombre de racines comptées dans la couche 45-65 cm paraît, dans l'ensemble moins important que dans la couche précédente, on compte encore vers 1,40 m un nombre de racines non négligeable. En profondeur (65-85 cm), le nombre de racines augmente sensiblement avec la distance au tronc

Le système racinaire de cet arbre semble donc plus régulier que celui des deux arbres irrigués en localisé. Il est, cependant, globalement plus faible que celui de l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface.

#### 5-15 Conclusion

Cet examen sommaire de la morphologie du système racinaire des trois arbres étudiés semble donc indiquer qu'il existe une relation entre le type d'enracinement et le mode d'irrigation.

Cependant, cette conclusion doit être assortie des remarques suivantes :

- le but principal de cette étude, n'ayant jamais été la comparaison de la morphologie des systèmes racinaires en fonction du mode d'irrigation, les moyens mis en oeuvre étaient insuffisants.

L'absence de répétitions (1 arbre par traitement), ainsi que l'inadaptation de la technique utilisée pour réaliser ce genre de travail ne permettent pas de tirer des conclusions formelles.

- La dénomination "Mode d'irrigation" n'a pas en elle même de signification précise et générale. Le rythme des apports, le débit d'eau, l'humidité du sol au départ de l'irrigation, la nature du sol tant structurale que texturale, sont autant de facteurs influençant le volume de répartition de l'eau dans le sol. On ne peut donc parler ici que de la comparaison morphologique des systèmes racinaires étudiés en fonction de la technique d'irrigation utilisée sur un sol donné.

Ces nuances justifient pleinement les divergences qui existent parfois entre les conclusions de J.G. HUGUET (Annales Agronomiques, à paraître) et les nôtres.

Traitement EAU LOCALISEE • FERTILISATION GENERALISEE

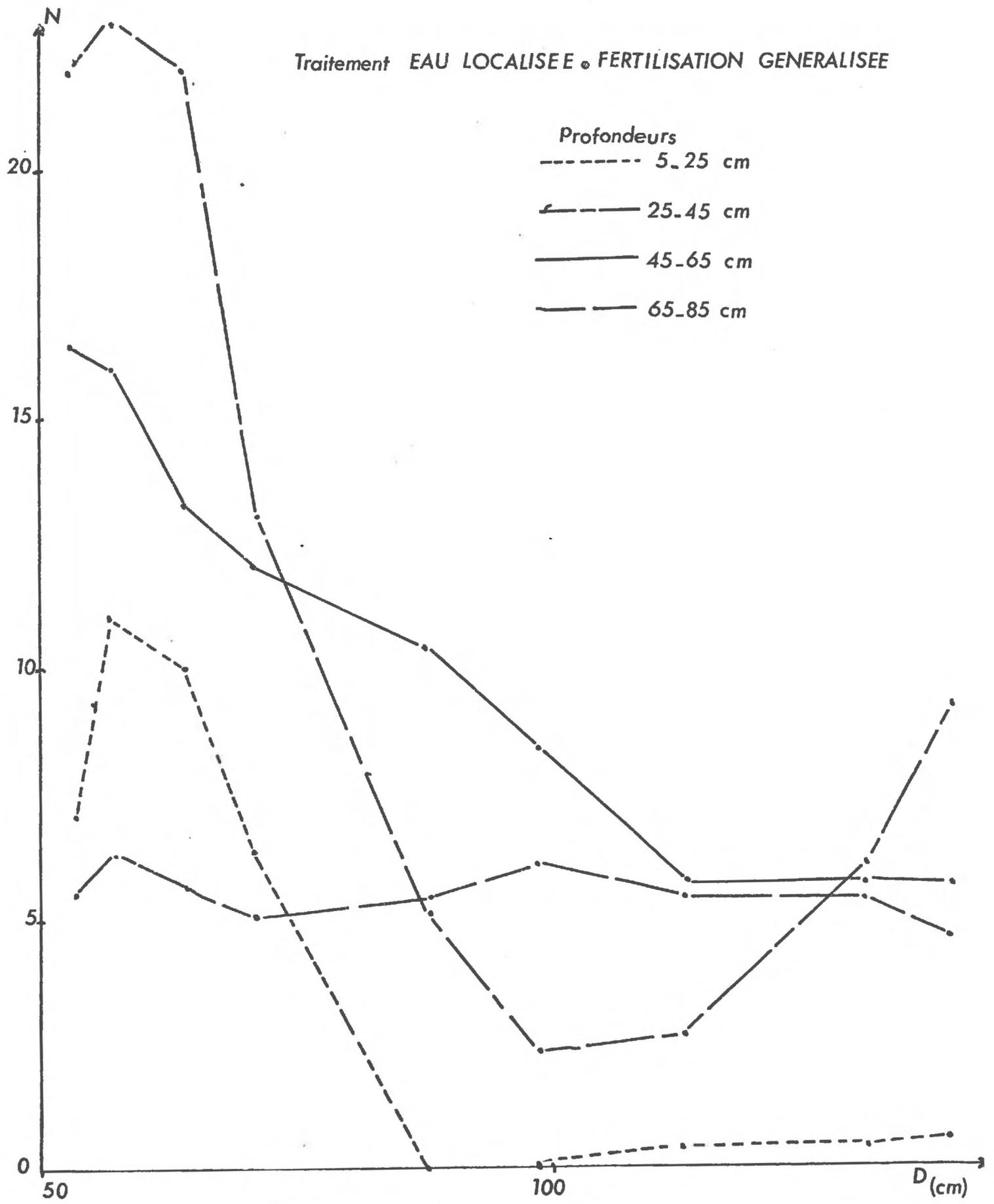


Fig.7: Distribution des racines en fonction de la distance au tronc (D)

N : nombre de racines

Traitement EAU ET FERTILISATION LOCALISEES

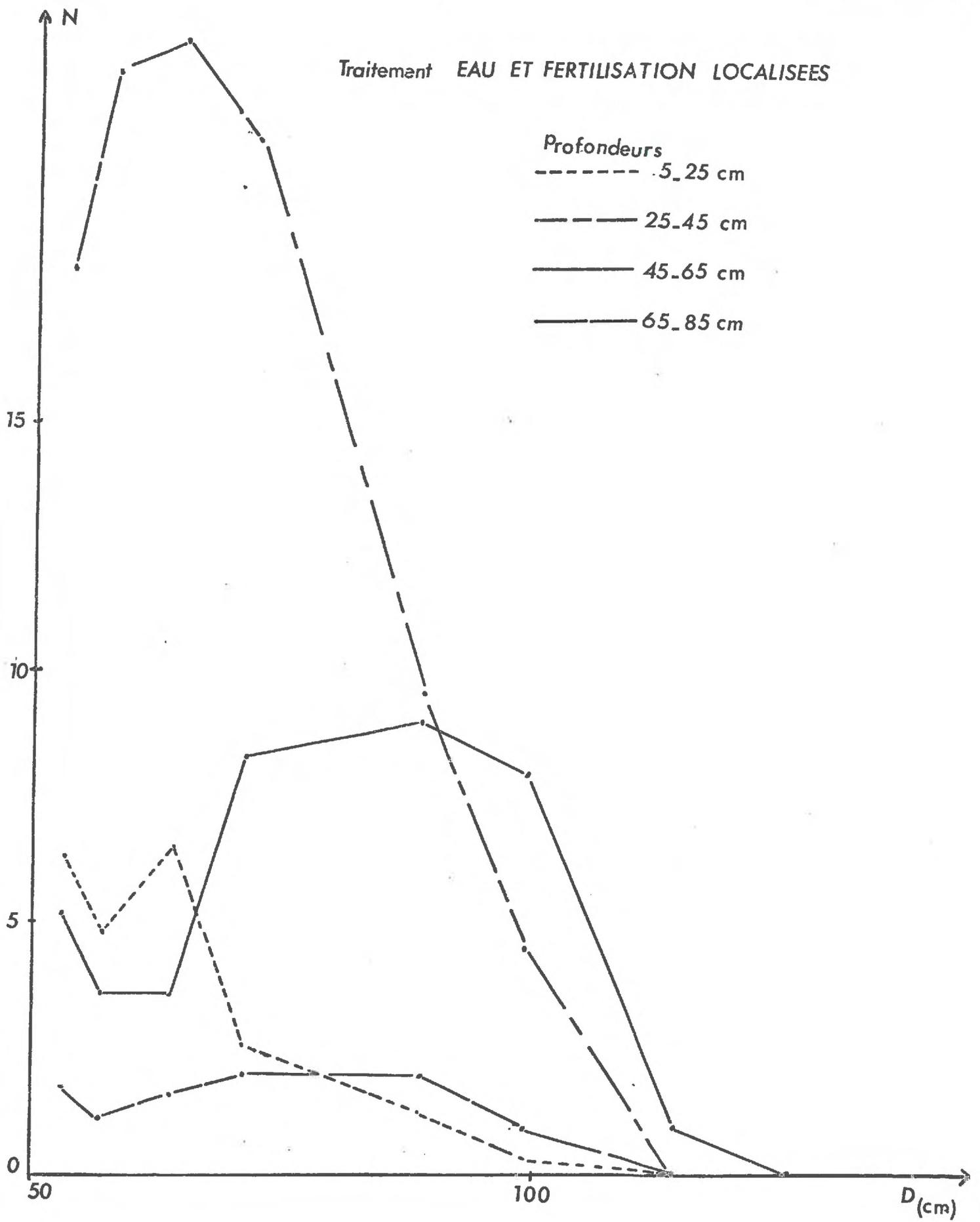


Fig. 8 : Distribution des racines en fonction de la distance au tronc (D)

N: nombre de racines

Traitement ASPERSION

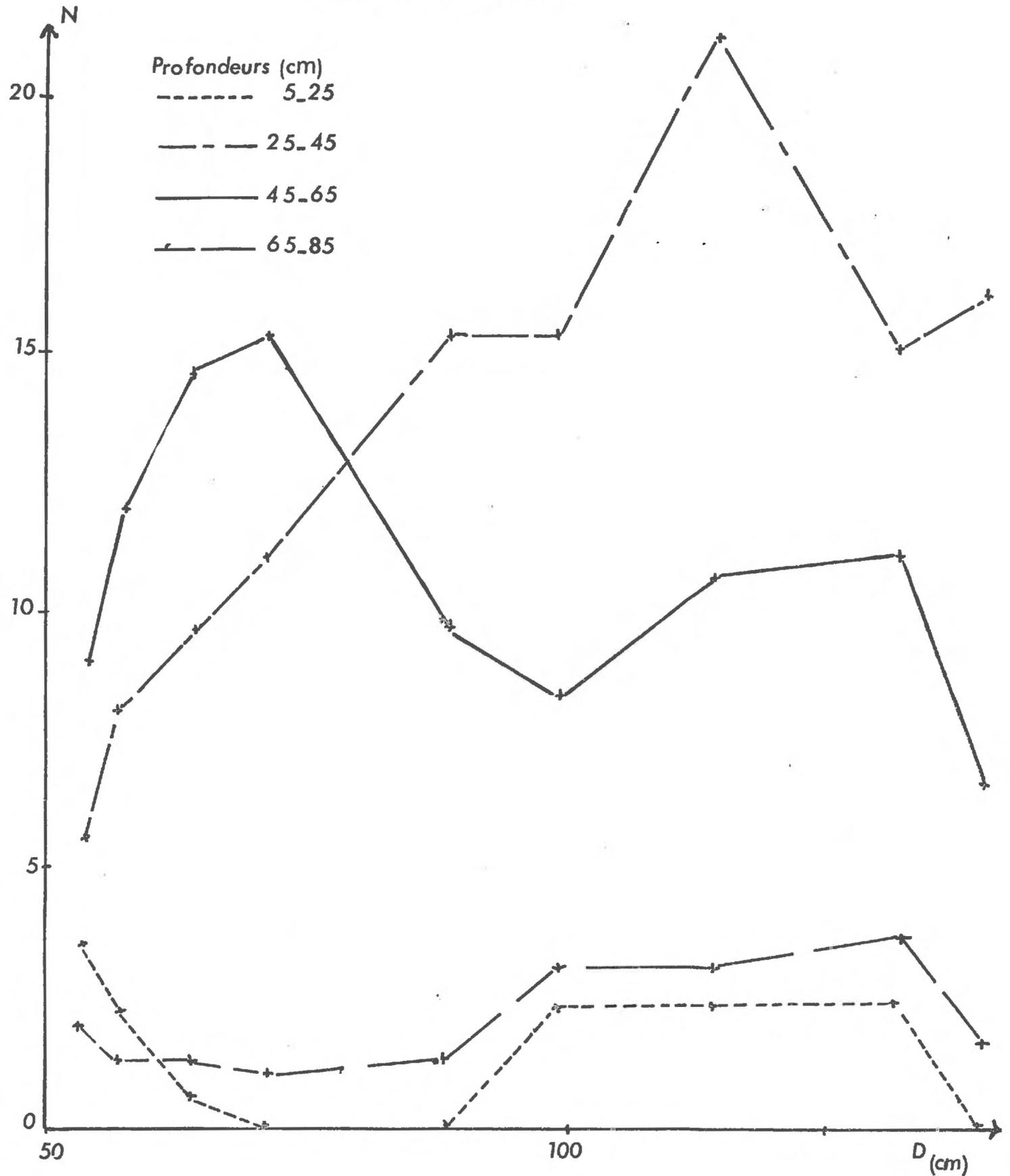


Fig. 9: Distribution des racines en fonction de la distance au tronc (D)

N: nombre de racines

## 5-2. ETUDE DE LA FONCTION PUIITS DU SYSTEME RACINAIRE SOUMIS A DES REGIMES HYDRIQUES DIFFERENTS

### 5-21. Rappel des données recueillies. Traitement de ces données

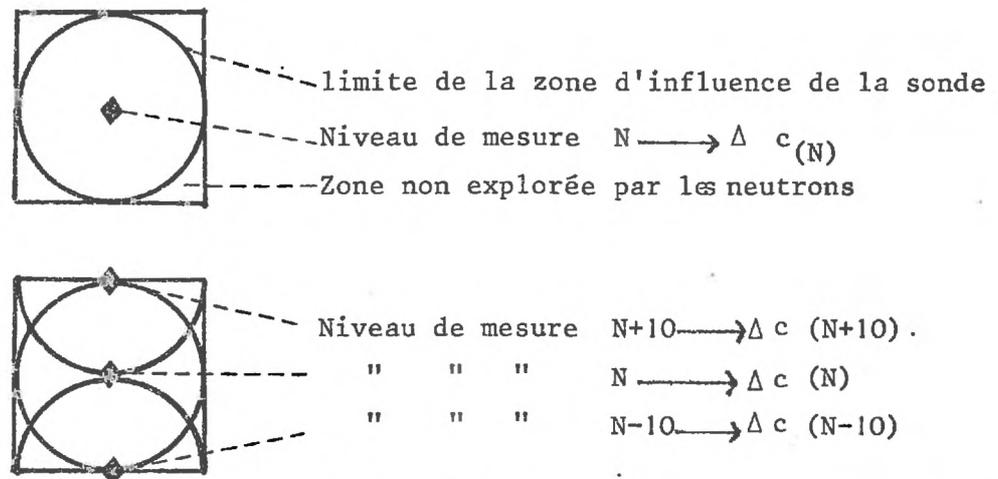
Trois types de données ont été recueillies pour réaliser cette étude.

#### 1° Comptages de racines

On n'utilisera ici que le nombre de racines de diamètre inférieur à 1 mm, comptées dans chacun des carrés de 400 cm<sup>2</sup> précédemment définis. Ces racines, les plus fines qui ont été observées, peuvent en effet être considérées comme les éléments absorbants du système racinaire.

#### 2° Dessiccation du sol

Pour chacune des cinétiques effectuées, et pour tous les niveaux de mesure considérés isolément, on a calculé la variation du nombre de coups enregistrés ( $\Delta c$ ) entre le début et la fin de la cinétique. Le pas de mesure le long d'un tube, étant de 10 cm, les données acquises a un niveau N ont été pondérées en prenant celles acquises aux niveaux (N-10) et (N+10)



Dans ces conditions, le calcul de la variation du nombre de coups  $\Delta c$  au niveau N est :

$$\Delta c = \frac{\Delta c(N) + 0,5 \Delta c(N+10) + 0,5 \Delta c(N-10)}{2}$$

Cette transformation a été effectuée pour améliorer la précision des mesures qui seront utilisées et faire correspondre, aussi étroitement que possible, les volumes de sol pris en compte d'une part pour les comptages de racines, et d'autre part pour les mesures neutromiques de l'humidité volumique. A chaque  $\Delta c$  ainsi calculé, on peut alors associer le nombre de racines de diamètre inférieur à 1 mm comptées pour chaque carré correspondant.

Pour chaque niveau de sol et pour chaque cinétique, on calcule le coefficient de corrélation liant la variable  $\Delta c$  à la variable "nombre de racines" ou à une fonction de cette variable.

#### 3° Resultats de l'absorption du 32P.

Les résultats bruts obtenus par l'analyse de la radioactivité des feuilles seront utilisés pour discuter et étayer, le cas échéant, des conclusions obtenues par le traitement des autres données.

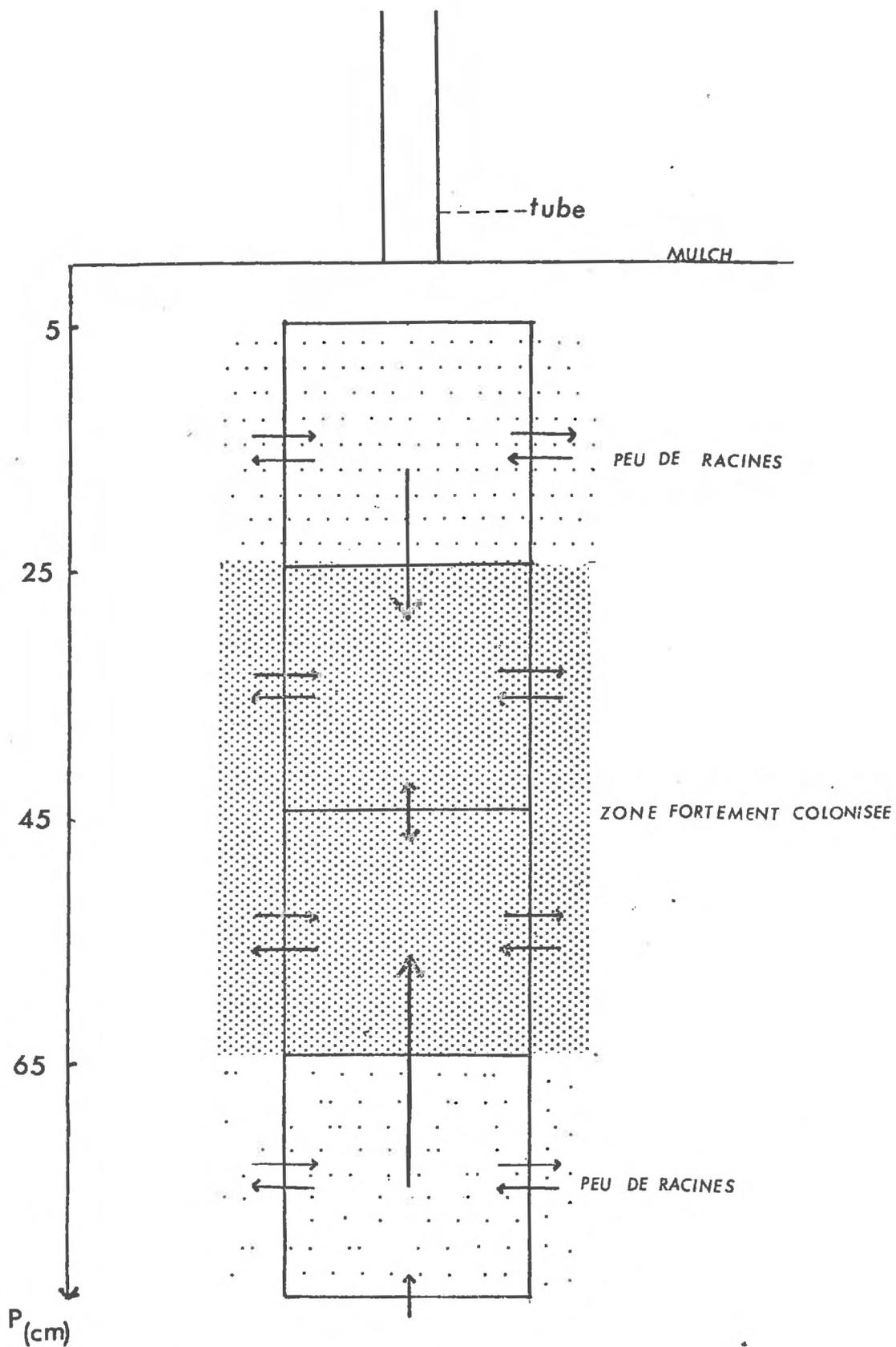
#### 5-22. Etude des cinétiques sans apport d'eau

L'étude de ces cinétiques peut être considérée comme un moyen d'étude du fonctionnement du système racinaire vis à vis de l'eau du sol en l'absence de l'influence du mode d'irrigation. Cette considération suppose une homogénéité de l'état hydrique du sol afin que l'ensemble du système racinaire soit dans des conditions de fonctionnement sensiblement équivalentes. Compte tenu de la date à laquelle ces cinétiques ont été réalisées, on pouvait supposer que cette dernière condition était approximativement remplie.

##### a) Cas de l'arbre irrigué par aspersion

A partir des données précisées au paragraphe précédent, on calcule, pour chaque niveau de sol, le coefficient de corrélation entre le nombre de racines et la variation du nombre de coups calculée. Ces corrélations ne sont pas significatives, à l'exception de celle calculée pour le niveau 65-85 cm :  
 $r = 0,52^{**}$  pour  $n = 24$

Cette absence de liaison, laisse supposer qu'il existe dans le sol des mouvements d'eau capables de masquer les prélèvements effectués par les racines. Le sol étant à une humidité initiale égale, au maximum, à la capacité de rétention, toute circulation d'eau, importante et gravitaire doit être exclue. Par conséquent, seuls les gradients de potentiel créés par l'absorption d'eau par les racines, peuvent être à l'origine de ces mouvements. Or, on remarque, plus particulièrement encore sur l'arbre irrigué par aspersion, que la répartition des racines est relativement homogène pour un niveau de profondeur donné. On peut donc penser que les gradients de potentiel pour l'eau seront essentiellement verticaux. Il est donc possible de proposer un modèle de transfert de l'eau dans le sol, dont l'humidité est plus égale à la capacité de rétention, en fonction de la colonisation du sol par les racines



→ :mouvements d'eau

Fig 10 Modèle de transfert d'eau dans le sol à une humidité au plus égale à la capacité de rétention, en fonction de la colonisation du sol par les racines

Dans un tel modèle, on peut donc considérer que pour un volume de sol correspondant à un carré de mesure, le bilan hydrique horizontal sera sensiblement équilibré alors que le bilan hydrique vertical pourra être nettement déséquilibré.

On est donc amené à calculer la variation moyenne du nombre de coups mesurés pour l'ensemble du profil. La corrélation calculée entre cette variation moyenne du nombre de coups et le nombre de racines comptées tout le long du profil est de :

$$r(x, y) = 0,7413^{**} \quad \text{avec } n = 10$$

$x = \log_e r$       $r$  : nombre de racines de diamètre inférieur à 1 mm  
comptées le long du profil

$y = \Delta c$       $\Delta c$  : variation moyenne du nombre de coups sur l'ensemble  
du profil

Cette relation traduit que le prélèvement d'eau dans le sol est une fonction logarithmique du nombre de racines présentes

b) Cas de l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface

Les conditions de réalisation de cette cinétique étant identiques à celles mises en oeuvre précédemment, devaient théoriquement conduire à des résultats semblables. Or la corrélation liant  $\Delta c$  et  $\log_e r$  n'est pas significative. L'examen de l'état hydrique du sol au départ de ces deux cinétiques révèle que si l'humidité volumique moyenne mesurée sur l'ensemble des tubes de chaque système n'est pas très différente, la répartition de l'eau est elle, par contre, nettement plus hétérogène dans le cas de l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface. Cette observation nous a donc conduit à rechercher dans ce dernier cas l'existence d'une relation entre le nombre de racines et l'humidité volumique initiale du sol.

La relation trouvée, dont le coefficient de corrélation est :

$$r(c_i, r) = -0,6801^{**} \quad \text{avec } n = 13$$

où  $c_i$  est le nombre de coups moyens par tube mesurés au départ de la cinétique.

$r$  est le nombre de racines comptées sur l'ensemble de chaque profil. Ceci souligne que l'humidité volumique au départ de la cinétique est d'autant plus faible que le nombre des racines est important.

Ces considérations permettent de penser que la consommation en eau de l'arbre irrigué en localisé débute plus tôt que celle de l'arbre irrigué par aspersion. Cette observation peut confirmer partiellement les constatations généralement faites au niveau des récoltes qui montrent que l'irrigation localisée améliore la précocité des végétaux.

En conséquences la technique utilisée pour mettre en évidence le fonctionnement du système racinaire consiste :

1) à évaluer en nombre de coups l'humidité volumique du sol correspondant à sa capacité de rétention.

2) Puis à calculer pour chaque tube la variation du nombre de coups entre la capacité de rétention (C.R.) et l'humidité du sol au départ de la cinétique ( $c_1$ )

$$\Delta c = C.R. - C_1 \quad \text{où}$$

CR. = 455 : nombre de coups correspondant à la capacité de rétention du sol.

et  $C_1$  est le nombre de coups mesurés pour chaque tube au départ de la cinétique

La valeur du coefficient de corrélation est :

$$r(\log_e r, \Delta c) = 0,611^* \text{ avec } n = 13$$

La relation qui lie la variation d'humidité volumique du sol et le nombre de racines est bien du même type que celle calculée pour la cinétique sèche dans le "traitement Aspersion"

### c) Conclusion

- Les conditions de mise en évidence de fonctionnement d'un système racinaire vis à vis de l'eau s'avèrent particulièrement étroites. Une bonne homogénéité hydrique du sol, à une teneur ne devant pas être supérieure à celle correspondant à la capacité de rétention, est la condition essentielle à cette mise en évidence. Dans ces conditions, les quantités d'eau prélevées sur chaque profil complet sont proportionnelles au logarithme népérien du nombre de racines.

- Une telle étude du fonctionnement racinaire vis à vis de l'eau et des sels ne peut donc être réalisée qu'à une époque bien déterminée, au début du printemps : lorsque le sol, bien ressuyé est dans son ensemble au voisinage de la capacité de rétention et avant que les racines n'aient induit une hétérogénéité hydrique trop importante. Elle doit donc se situer au départ de la végétation des plantes.

- Lorsque ce dernier impératif n'est pas réalisé, l'hétérogénéité hydrique du sol devient importante. C'est le cas de la cinétique sans apport d'eau réalisée sur l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface. La relation calculée précédemment entre  $C_1$  et  $r$  montre que cette hétérogénéité est induite par les racines elles mêmes. On peut alors émettre l'hypothèse suivante : lorsque l'humidité volumique d'un certain volume de sol diminue, l'énergie mise en jeu par la plante pour prélever l'eau doit augmenter. Dans ce cas, la plante prélèvera l'eau aux endroits où celle-ci est la plus disponible.

L'humidité volumique du sol au départ de la cinétique devient alors le principal facteur de variation de l'état hydrique du sol au cours de cette cinétique.

De toutes ces considérations, il ressort essentiellement que le facteur limitant pour l'absorption de l'eau par la plante, n'est pas le nombre de racines mais les conditions de milieu.

#### 5-23. Etude des cinétiques prenant en compte les modalités d'apport d'eau

Deux cinétiques avec apport d'eau ont été réalisées sur chacun des trois arbres. Le traitement des données a été réalisé de la même façon que pour les cinétiques sans apport d'eau.

##### a) Résultats

Pour l'ensemble des cinétiques il n'existe pas de relation entre le nombre de racines et l'appauvrissement en eau du sol. L'intégration des données par profil aboutit à la même conclusion. Compte tenu des résultats significatifs obtenus pour les cinétiques sans apport d'eau, l'absence de relation pour les cinétiques après irrigation ne peut s'expliquer par une remise en cause des caractères et paramètres communs à l'ensemble des cinétiques, à savoir :

- les comptages de racines et leur classification
- les données neutroniques et la fiabilité des mesures
- les potentialités de fonctionnement intrinsèque des racines comptées : leur bon fonctionnement a en effet été mis en évidence

Il convient donc de rechercher une explication au niveau des différences existant entre ces deux types de cinétiques, différences essentiellement liées à l'état hydrique du sol et qui sont :

- l'existence, sous irrigation, de teneurs en eau plus élevées et, en certain points du sol, supérieures à la capacité de rétention
- l'existence d'une hétérogénéité hydrique du sol plus importante notamment dans le cas des cinétiques réalisées après irrigation localisée

On peut alors supposer que :

- les teneurs en eau initiales, plus élevées, permettent des redistributions d'eau suffisamment importantes pour masquer le prélèvement d'eau par les racines
  - pour expliquer l'absence de relations, ces mouvements devraient avoir une composante horizontale importante puisque les comparaisons portent sur des profils verticaux. Or, cette circonstance, plausible dans le cas des apports d'eau localisés est très improbable dans le cas de l'aspersion où la résultante des flux d'eau est nécessairement verticale.
- Cet ensemble d'hypothèses permet d'admettre que le facteur essentiel serait dans des conditions de teneur en eau élevée, cette teneur en eau elle-même.

##### b) Cas de l'aspersion

Il existe une relation entre la dessiccation du sol et la distance

des racines au tronc. Le coefficient de corrélation calculé est :

$$r(\Delta c, d) = -0,6483^*$$

où  $\Delta c$  est la variation d'humidité volumique du sol  
et  $d$  : la distance au tronc

Cette relation signifie que ce sont les racines les plus proches du tronc qui sont les plus fonctionnelles. On doit cependant considérer :

- que la profondeur des racines croît avec la distance au tronc
- qu'après une irrigation par aspersion, c'est la couche de surface qui est la plus réhumectée (cf Fig 12 ). L'eau des couches superficielles sera donc plus disponible pour les racines.

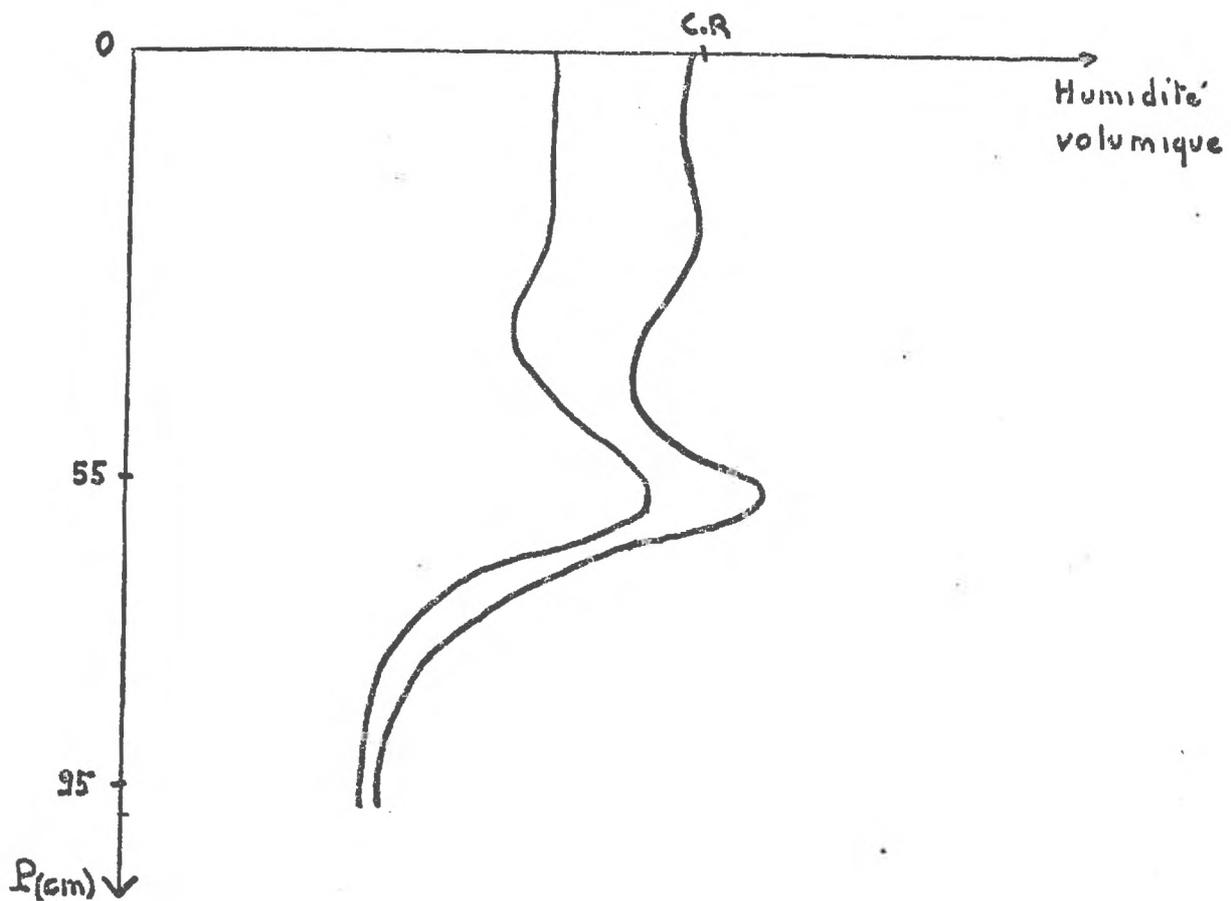


Fig 12 Evolution de l'humidité volumique du sol après un apport

de 55 mm par aspersion

----- profil hydrique avant apport

———— profil " après "

On pourra donc considérer que, situées dans la couche de sol où l'eau est la plus disponible, ce sont les racines de surface qui assureront l'essentiel de l'alimentation de l'arbre en eau.

c) Cas de l'irrigation localisée

L'hétérogénéité hydrique qui résulte d'un apport d'eau localisé qui aboutit à la formation d'un "bulbe humide" permet de mettre en évidence le facteur "teneur en eau du sol au départ de la cinétique".

Le coefficient de corrélation calculé, liant la perte en eau à l'humidité initiale est :

$$r(C_1, \Delta c) = 0,7600^{**} \text{ avec } n = 10$$

ou  $C_1$  est l'humidité volumique du sol au départ de la cinétique et  $\Delta c$  est la variation de l'humidité volumique au cours de la cinétique.

L'équation reliant  $\Delta c$  et  $C_1$  est alors :

$$\Delta c = 0,286 \times C_1 - 92,7.$$

La variation d'humidité du sol au cours de la cinétique augmente donc avec l'humidité volumique du sol au départ de la cinétique. Mais ce résultat à des limites. En effet, compte tenu de l'hétérogénéité hydrique du sol, il peut exister des mouvements d'eau qui ne soient pas liés à l'absorption d'eau par les racines.

Aussi, pour analyser ce résultat, on entreprend la démarche suivante :

1) On détermine des zones en fonction de leur humidité au départ de la cinétique. Trois zones sont définies :

- une zone "coeur du bulbe" où l'humidité du sol est supérieure à la capacité de rétention.

- une zone "intermédiaire" où l'humidité du sol est voisine de la capacité de rétention.

- une zone "périphérique" où l'humidité du sol est inférieure à la capacité de rétention. Elle est limitée par le front d'humectation

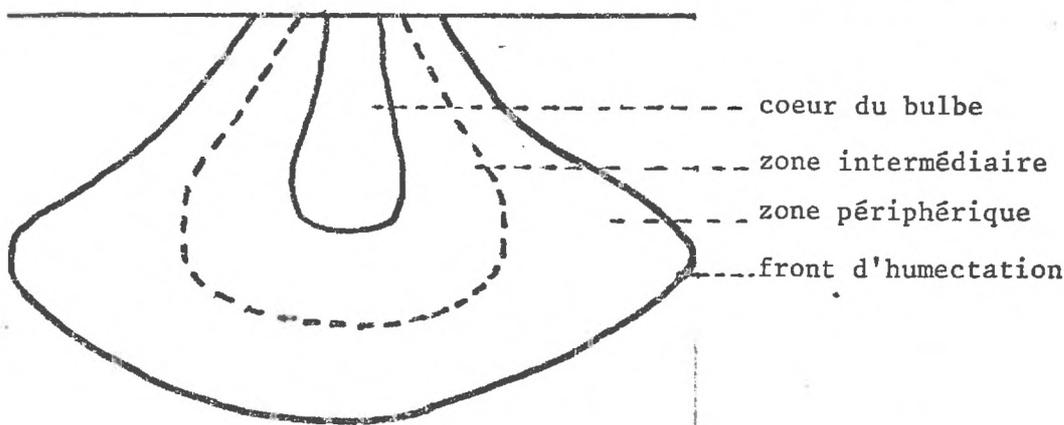


Fig.11 : Schéma théorique du bulbe humide

2) On examine les départs d'eau mesurés pour chacune de ces zones durant la cinétique (Cinétique réalisée sur l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface)

coeur du bulbe :  $\Delta c = 15$  (coups "Solo")

zone intermédiaire :  $\Delta c = 26$

zone périphérique :  $\Delta c = 22$

3) On admet que s'il y a transfert horizontal de l'eau, ce transfert ne peut se faire que des zones les plus humides vers des zones plus sèches. Dès lors, si l'on estime le transfert latéral au maximum égal à 15 coups solo, on constate que l'absorption d'eau au coeur du bulbe est toujours inférieure à l'absorption d'eau dans les zones périphériques. Ce résultat est en contradiction avec le résultat obtenu sur cinétique après aspersion où il est montré que c'est l'eau la plus disponible qui est absorbée.

Cette distorsion des résultats peut trouver son origine dans les différences essentielles existant au niveau du sol :

- Après une aspersion de 55 mm, les couches de sol les plus réhumectées sont au voisinage de la capacité de rétention. Dans le cas de l'irrigation localisée, le coeur du bulbe est à une humidité voisine de la saturation. L'aération du milieu n'est peut être plus suffisante pour assurer un bon fonctionnement des racines et devient dès lors un facteur limitant pour l'absorption de l'eau.

- Les débits utilisés en irrigation localisée, obligeant l'eau à séjourner durant des laps de temps importants dans des tuyaux plastiques chauffés au soleil, la température de celle-ci est proche de 40° C. Or à ces températures, l'efficacité des racines est compromise (Cornillon, communication personnelle). Inversement, comme la température de l'eau tend vers celle du sol lorsque l'on s'éloigne du point d'apport, l'efficacité des racines vis à vis de l'eau, s'améliore.

Il semble donc, qu'en irrigation localisée, le système racinaire fonctionne essentiellement à partir des zones périphériques du bulbe humide. C'est dans ces zones que les conditions de milieu sont les plus favorables. Les expériences effectuées avec le <sup>32</sup>P confirment ces résultats. L'absorption du phosphore radioactif par les arbres irrigués en localisé s'avère négligeable au coeur du bulbe. Elle est en effet de l'ordre d'erreur de la mesure.

Cet ensemble de constatations est un élément d'explication de la différence de développement qui existe entre l'arbre irrigué et fertilisé en localisé et l'arbre irrigué en localisé et fertilisé en surface. En effet, les éléments minéraux peu mobiles (P, K) mis à la disposition du système racinaire par l'intermédiaire de l'eau d'irrigation, risquent de ne pas être absorbés du fait des conditions de milieu qui inhiberaient la fonction absorption du système racinaire. Les dates des apports de sols minéraux peuvent également être un des éléments d'explication de cette différence. Les apports d'engrais réalisés dans l'eau d'irrigation semblent trop tardifs (Début juin). Il serait

notamment souhaitable d'envisager, dans le cas des plantes pérennes, avec fertilisation en couverture à une période précédant l'irrigation, comme cela est le fait dans les vergers irrigués par aspersion.

Il est donc nécessaire de revoir les modalités d'apport de l'eau et des sels en localisé. Mais ces modalités d'apport nécessitent avant tout une bonne connaissance de la circulation de l'eau et des sels dans le sol compte tenu des caractéristiques de ce dernier. La texture, la structure, la porosité l'humidité initiale du sol au déclenchement de l'irrigation, la nature et les caractéristiques des couches inférieures sont autant d'éléments influençant la répartition de l'eau et des sels dans le sol (B. CABIBEL, communic. personnelle)

## 6 - CONCLUSIONS

Les méthodes d'étude du système racinaires que nous avons utilisées présentent chacune des avantages et des inconvénients.

- Méthode morphologique

Cette méthode permet d'estimer de façon relativement précise le volume de sol qui est exploré par les racines. C'est une notion importante en ce qui concerne la fonction ancrage et en ce qui concerne la fonction absorption d'eau et de sels lorsque l'on introduit pas, artificiellement ou non une hétérogénéité hydrique importante au niveau du sol. Par contre, il est difficile de savoir ce que représente un nombre de racines vis à vis de l'absorption de l'eau et des sels lorsque l'hétérogénéité hydrique du sol est importante.

- Méthode neutronique

Cette méthode permet d'évaluer la "fonction puits" des racines quel que soit l'état hydrique du sol. Il est cependant assez difficile d'attribuer toute variation de l'humidité du sol au fonctionnement des racines. Les mouvements d'eau au niveau du sol ne sont, en effet, pas négligeables.

La comparaison des deux méthodes n'a donc pu être effectivement réalisée que dans les conditions précises où elles sont l'une et l'autre utilisables c'est à dire une bonne homogénéité hydrique du sol, donc en début de végétation

Dans tous les autres cas, cette comparaison aboutit à une absence de corrélation entre les deux séries de données. Ceci montre que les grandeurs évaluées ne sont pas reliées entre elles de façon simple. Les deux méthodes fournissent des données complémentaires. Une utilisation conjointe de ces deux types de méthodes devrait permettre de prendre en compte différents facteurs importants d'établissement et de fonctionnement du système racinaire.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) HUGUET J.G. 1973 : Nouvelle méthode d'étude de l'enracinement des végétaux pérennes à partir d'une tranchée spirale  
Annales Agronomiques, 24 (6), 707-731
- (2) HUGUET J.G. Influence d'une irrigation localisée sur l'enracinement de jeunes pommiers  
Annales Agronomiques, à paraître
- (3) MAERTENS C. 1970 Influence des conditions de milieu sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les systèmes modiculaire de quelques graminées cultivées.  
Thèse en vue de l'obtention du grade de Docteur-Ingénieur  
Toulouse
- (4) NORMAND 1973 Une méthode d'étalonnage d'un humidimètre à neutrons utilisant les mesures de densité du gammadensimètre associé  
IAEA-5 M- 176/24  
Colloque sur l'emploi des isotopes et des rayonnement dans les études sur la physique du sol, l'irrigation et le drainage, pour la production agricole
- (5) PERIGAUD 1967 Effet du manque d'oxygène et de l'excès d'eau au niveau des racines sur la croissance et la nutrition globale de la plante  
Annales Agronomiques, 18(5), 485-506

Annexe 1

ETUDE PEDOLOGIQUE REALISEE PAR M. BOURLET

DATE : Juillet 1976

LIEU : Domaine St Paul  
Parcelle Barre.

SITUATION TOPOGRAPHIQUE : Plaine.

GEOLOGIE : Alluvions modernes

PEDOLOGIE: Classification possible : Sol peu évolué d'apport alluvial.

CULTURE ACTUELLE : Pommier var. Golden.

CULTURE PRECEDENTE : Luzerne (1972)

ANTECEDENTS CULTURAUX : Défoncement avant plantation.

Labour profond avec enfouissement de l'engrais-vert.

TRAVAIL DU SOL : Motobineuse - dernier passage : en Juin 1976.

IRRIGATION : I. conduite par aspersion.

II. conduite au goutte à goutte, solution saline.

III. conduite au goutte à goutte, eau seule.

-----

CARACTERISTIQUES GENERALES :

- Couleur. 2,5 Y - 4,5/2. Brun olivatre à brun olivatre clair
- Minéralogie. Illite et vermiculite prédominantes.  
Présence de Chlorite et kaolinite.  
Traces de Montmorillonite.
- Rapport C/N. 7 à 8. Capacité d'échange (% A). 30/35 méq.
- Humidité équivalente (1000 g). 26 %
- Ca Co<sub>3</sub> Total. 35 %      Ca Co<sub>3</sub> Actif. 15 %

-----

## PROFIL I.

- Ap1. 0 - 10 cm , frais à humide, texture limon argileux à limono-argileuse. Calcaire - effervescence généralisée.  
Structure fragmentaire grumeleuse fine et moyenne associée avec polyédrique émousée très fine et fine - bien développées.  
Meuble à légèrement cohérent.  
Volume des vides apparents assez faible, pores peu visibles.  
Surtout porosité d'assemblage.  
Matières organiques d'apparence bien humifiées.  
Transition avec l'horizon s/jacent distincte et légèrement ondulée.
- Ap2. 10 - 35 cm , humide , texture argilo-limoneuse à argile limoneuse très peu de graviers. Calcaire - effervescence généralisée.  
Présence de débris coquillers fossiles.  
Structure fragmentaire polyédrique émousée, taille moyenne et grossière - localement sur-structure prismatique très grossière. (les prismes affectent l'horizon jusqu'à 30/35 cm).  
Cohérent à très cohérent à l'intérieur des prismes.  
Volume des vides apparents assez important - larges fissures (bandes de labour ancien ?) fentes de retrait assez verticales.  
Pores assez nombreux fins et moyens.  
Matières organiques bien humifiées - quelques débris décelables (racines de luzerne) sans odeur.  
Activité biologique faible - rares turricules et coprolithes.  
Quelques racines (liseron) à tracé vertical.  
Transition graduelle et régulière.
- (Bs)p. 35 - 60 cm, humide - texture argilo-limoneuse à argile limoneuse très peu de graviers. Calcaire - effervescence généralisée.  
Débris coquillers fossiles.  
Structure fragmentaire polyédrique émousée fine, très bien développée surtout entre 50 et 60 cm.  
Meuble à faiblement cohérent (localement).  
Volume des vides apparents faible, très petites fissures de retrait au sommet de l'horizon. Pores nombreux très fins et fins.  
Matières organiques assez bien humifiées - quelques racines pourries sans odeur.  
Activité biologique faible.  
Racines de liseron à tracé vertical.  
Transition graduelle et ondulée.
- C. 60 - 100 cm, humide, texture argile limoneuse avec faible charge en graviers (2 à 5 %). Calcaire - effervescence généralisée.  
Un peu moins de débris coquillers.  
Structure d'apparence massive - sous-structure polyédrique anguleuse moyenne et grossière peu développée.  
Très cohérent.  
Volume des vides apparents très faible, pores peu nombreux très fins.  
Quelques taches grises très peu contrastées.  
Quelques débris organiques décomposés (racines).  
Quelques racines de pommiers, bon état sanitaire.  
Fond de la fosse.

## PROFIL II.

- Ap1. 0 - 10cm, sec, texture limon argileux à limono-argileux.  
Calcaire, effervescence généralisée.  
Structure polyédrique éoussée fine et moyenne associée avec structure grumeleuse fine et moyenne, bien développée.  
Boulant en surface, meuble au dessous.  
Volume des vides apparents faible, pores peu visibles, surtout porosité d'assemblage.  
Matières organiques bien humifiées.  
nombreuses racines (liseron).  
Transition avec l'horizon s/jacent très nette et régulière.
- Ap2. 10 - 35 cm, sec à frais localement - texture argile limoneuse à argilo-limoneuse avec quelques graviers (moins de 2 %).  
Calcaire, effervescence généralisée.  
Structure fragmentaire polyédrique éoussée grossière assez bien développée, sur-structure prismatique très grossière peu développée.  
Cohérent. à très cohérent, prise en masse assez apparente.  
Volume des vides important, nombreuses fentes de retrait larges, pores peu nombreux fins, sans pores visibles au centre des prismes.  
Matières organiques bien humifiées, quelques débris sans odeur.  
Activité biologique décelable par la présence de galeries de vers  
Nombreuses racines de liseron à tracé vertical.  
Transition s/jacente graduelle et légèrement ondulée.
- (Bs)p. 35 - 60 cm, frais, texture argile limoneuse avec quelques gravier (moins de 2 %). Calcaire, effervescence généralisée.  
Présence de débris coquilliers fossiles.  
Structure fragmentaire polyédrique anguleuse moyenne et grossière localement plus fine, assez bien développée.  
Cohérent, localement meuble.  
Volume des vides assez important, fentes de retrait s'amincissant avec la profondeur. Assez gros vides d'origine biologique à la base de l'horizon. Pores nombreux fins, moyens et larges.  
Matières organiques bien humifiées, quelques débris sans odeur.  
Activité biologique très apparente, coprolithes et turricules de vers.  
Racines verticales de liseron.  
Transition distincte légèrement ondulée.
- C. 60 - 95 cm, frais, texture argile limoneuse avec quelques gravier débris calcaires anthropiques (plâtre).  
Calcaire, effervescence généralisée.  
Structure d'apparence massive, sous-structure polyédrique anguleuse moyenne et grossière moyennement développée au sommet de l'horizon, devenant massive en profondeur.  
Très cohérent.  
Volume des vides apparents faible, fissures très fines (transition)  
Pores assez nombreux fins et moyens.  
Activité biologique très peu marquée.  
Quelques racines de liseron verticales.  
Fond de la fosse.

### PROFIL III.

- Ap1. 0 - 10 cm, frais, texture limono-argileuse à limon argileux - très peu de graviers. Calcaire, effervescence généralisée. Structure fragmentaire polyédrique éoussée très fine, associée avec structure grumeleuse fine et très fine, bien développées. Meuble, localement bouillant. Volume des vides très faible, pores peu visibles, porosité d'assemblage. Matières organiques bien humifiées. Transition avec l'horizon s/jacent très nette, légèrement ondulée.
- Ap2. 10 - 35 cm, frais à humide, texture argile limoneuse, quelques graviers (1 à 2 %). Calcaire, effervescence généralisée. Présence de débris coquilliers fossiles. Structure polyédrique éoussée moyenne et grossière, très grossière au sommet de l'horizon. Localement sur-structure prismatique très grossière à tendance columnaire. Ensemble structural assez peu développé. Cohérent à très cohérent localement. Volume des vides peu important, devenant faible vers 25 cm. Pores assez nombreux moyens et larges. Quelques fentes de retrait fines au sommet de l'horizon. Matières organiques bien humifiées, rares débris de racines. Activité biologique intense, nombreux coprolithes et turricules de vers. Quelques racines (liseron) à tracé oblique et vertical. Quelques racines de pommier en bon état sanitaire. Transition distincte légèrement ondulée.
- (Bs)p. 35 - 60 cm, nettement plus humide, texture argile limoneuse avec quelques graviers. Calcaire, effervescence généralisée. Structure polyédrique éoussée et anguleuse, fine et moyenne, associée avec structure grumeleuse fine (activité biologique) localisée mais assez bien développée. Très localement sur-structure prismatique à tendance columnaire. Peu cohérent, très meuble dans les zones à structure grumeleuse. Volume des vides apparents assez faible, quelques cavités. Pores nombreux, localement très nombreux fins et moyens. Matières organiques bien humifiées, quelques débris racinaires décomposés sans odeur. Activité biologique très intense, présence de vers et traces importantes de leur activité. Racines de pommier localisées dans la structure prismatique. Transition distincte, légèrement ondulée.
- C(g). 60 - 95 cm, humide (un peu moins que l'horizon au dessus), texture argile limoneuse, très peu de graviers (1 %). Calcaire, effervescence généralisée. Quelques cailloux du calcaire Barrémien formant une petite poche. Structure d'apparence massive, sous-structure polyédrique anguleuse et squameuse peu développées. Très cohérent. Volume des vides presque nul. Pores peu nombreux très fins. Très légèrement taché jaune et gris, peu contrasté. Autour de la poche de cailloux calcaires, taches jaune-rougeâtre très contrastées. Très peu de racines de pommier toujours localisées, bon état sanitaire.

OBSERVATIONS :

PROFIL I. Apparition vers 130 cm d'un horizon cailloutis assez dense.

PROFIL II : Après 48 heures, accentuation de la prise en masse surtout en profondeur. Apparition et accentuation de la structure prismatique colonnaire entre 10 et 60 cm.

PROFIL III. Très forte porosité jusqu'à 60 cm, très réduite au dessous (horizon C(g) ). Cette discontinuité se retrouve aussi dans les profils I et II.

-----

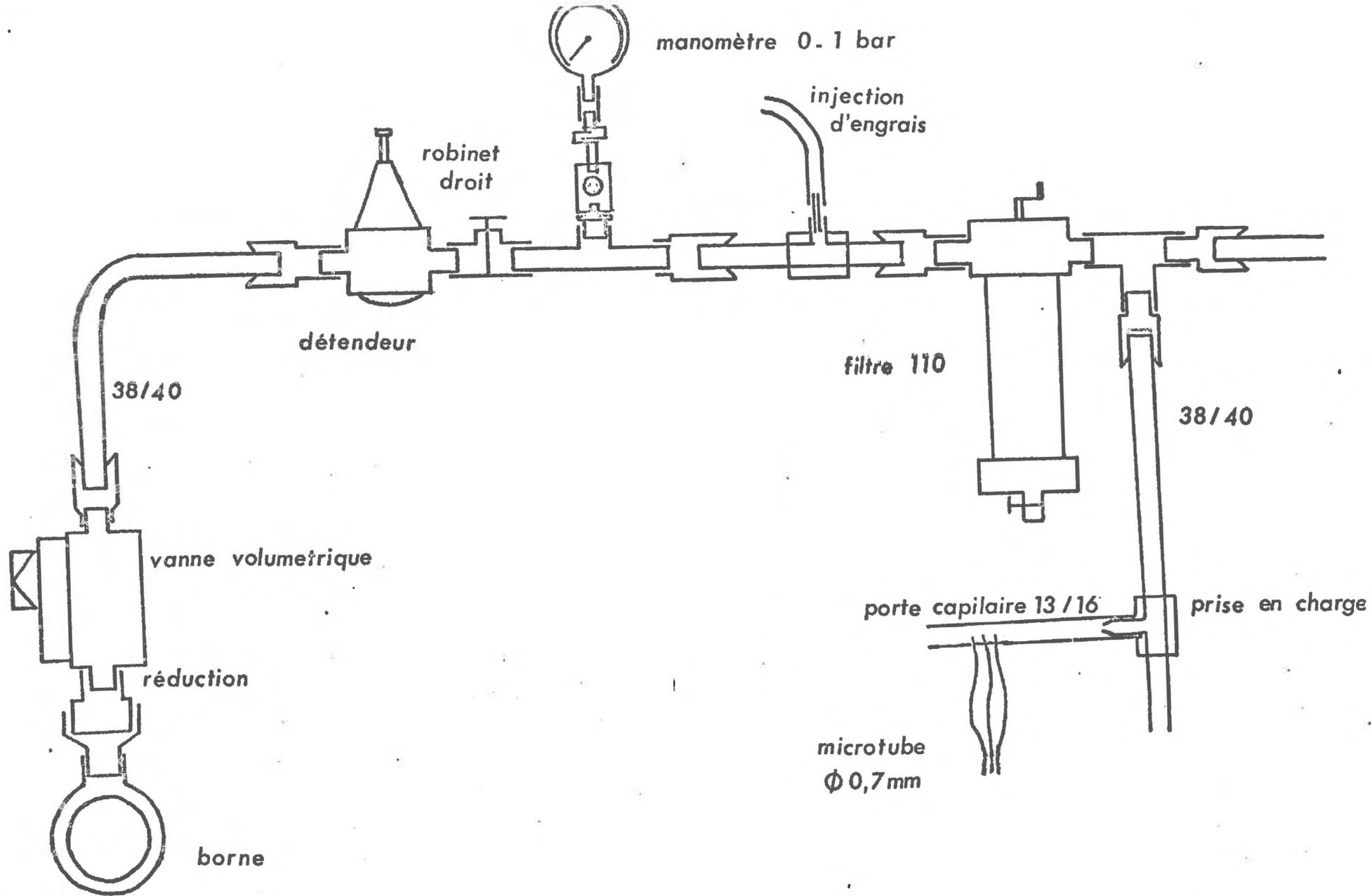
ANNEXE 2 DOSAGE DU CARBONE TOTAL (‰)

METHODE ANNE

! Profondeur	! 1ere répétition	! 2e répétition	! Moyenne	!
! 0 - 10	! 13,7	! 12,8	! 13,25	!
! 10 - 20	! 12,6	! 12,35	! 12,48	!
! 20 - 30	! 13,25	! 12,5	! 12,88	!
! 30 - 40	! 9,6	! 8,4	! 9,00	!
! 40 - 45	! 11,25	! 10,8	! 11,03	!
! 45 - 50	! 11,05	! 10,7	! 10,88	!
! 50 - 55	! 8,4	! 9,4	! 8,9	!
! 55 - 60	! 10,1	! 9,6	! 9,85	!
! 60 - 65	! 6,9	! 6,9	! 6,9	!
! 65 - 70	! 6,45	! 6,1	! 6,28	!
! 70 - 80	! 6,1	! 5,8	! 5,95	!
! 80 - 90	! 6,65	! 5,85	! 6,25	!

Annexe 3

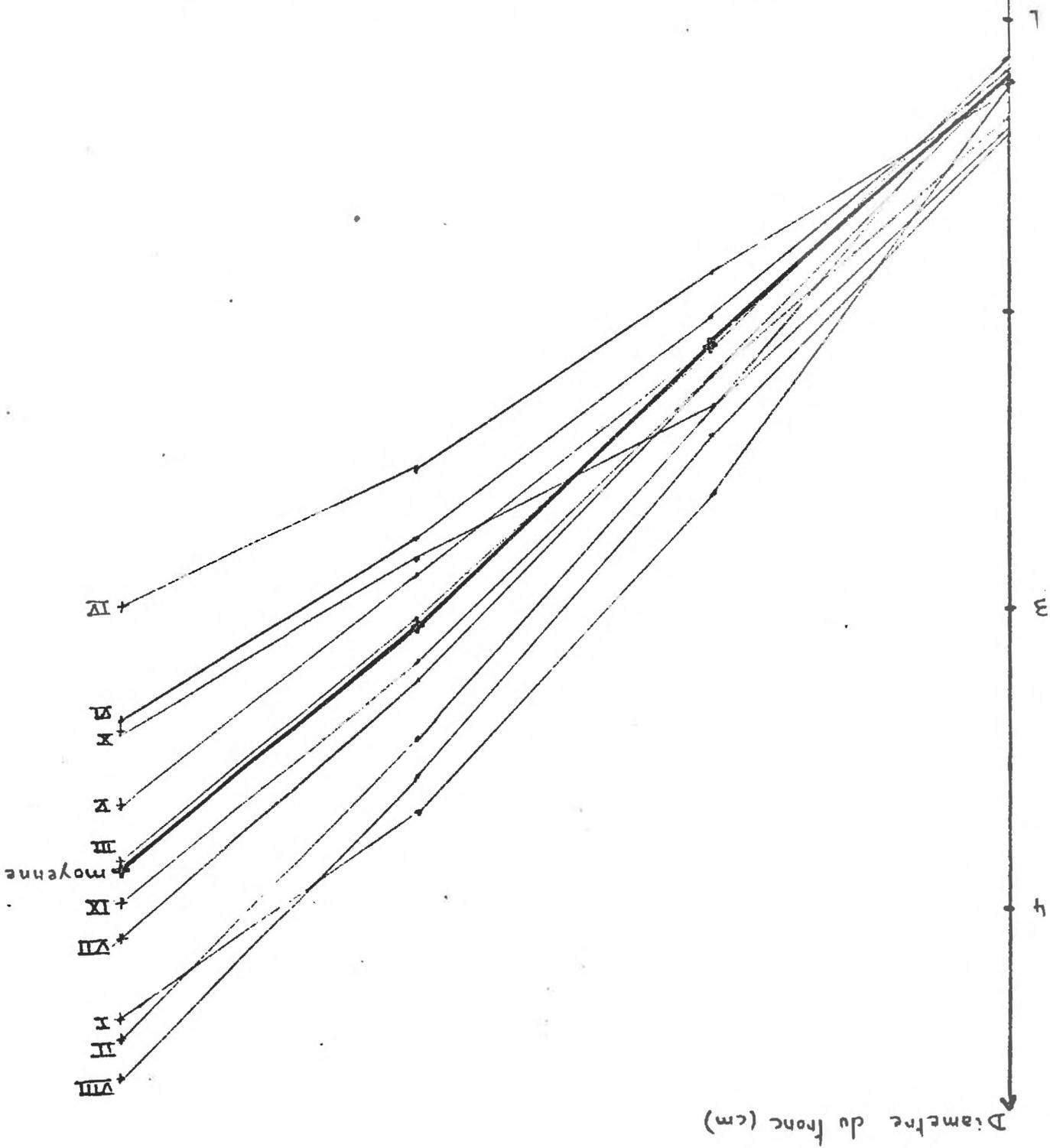
SCHEMA DU DISPOSITIF D'IRRIGATION LOCALISEE



Annexe 4

COURBES DE CROISSANCE DES ARBRES DU RANG <sup>2</sup>

Traitement Aspersion - Rang II - Arbre choisi : III



Date

76

75

74

1973

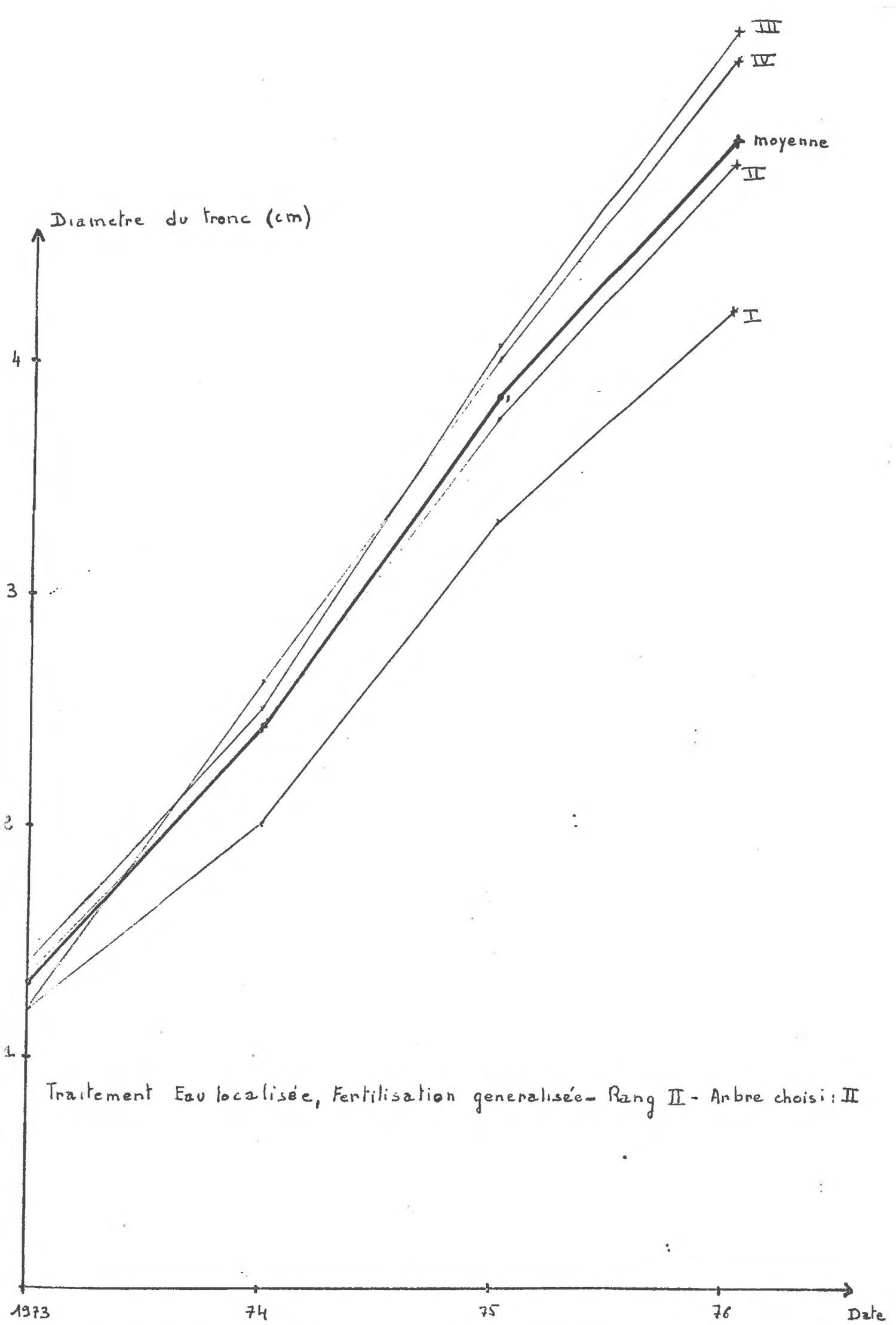
1

2

3

4

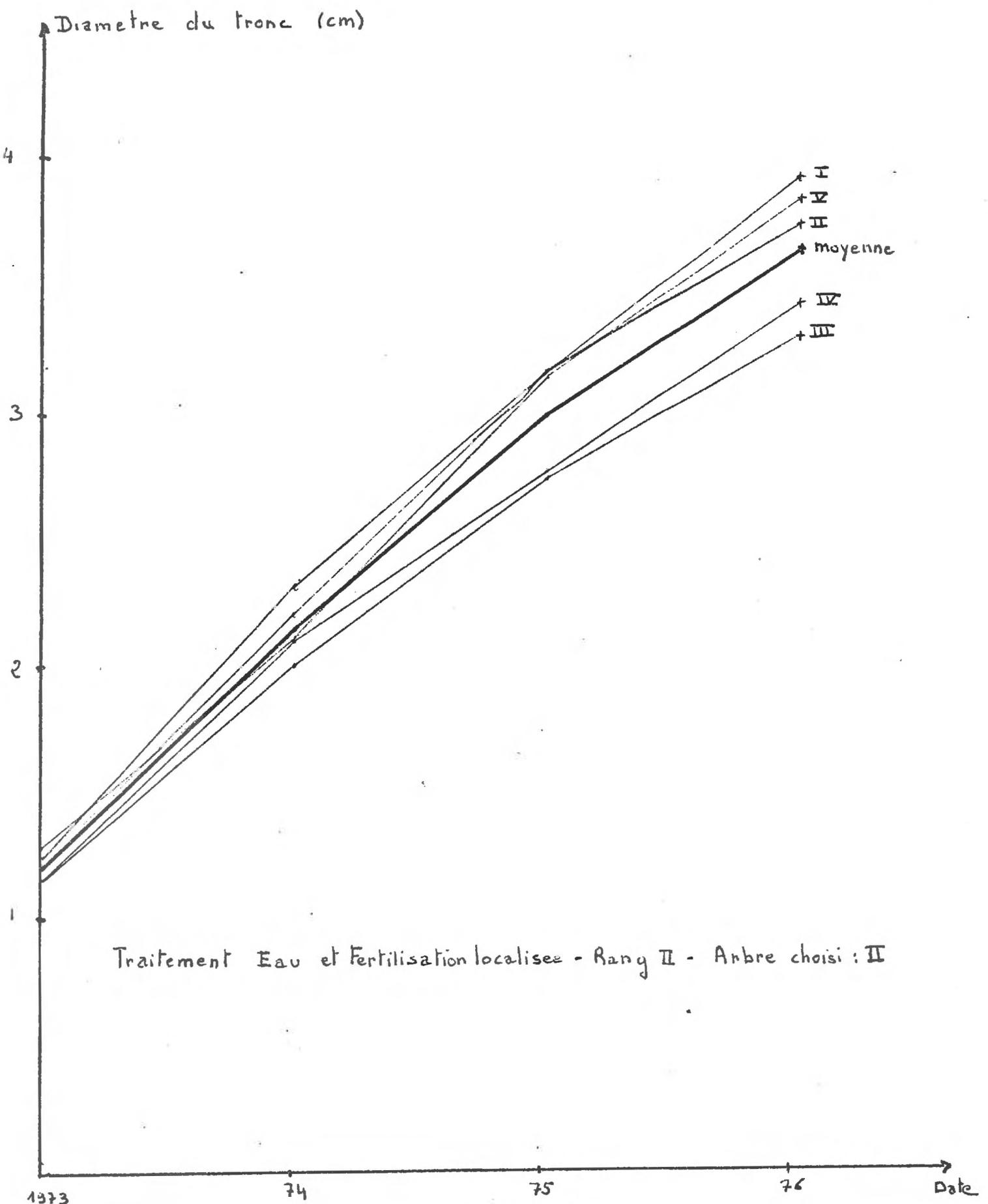
Diametre du fonce (cm)



Diametre du tronc (cm)

Traitement Eau localisée, Fertilisation generalisée - Rang II - Arbre choisi: II

1973 74 75 76 Date



Annexe 5

SONDE SOLO. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES. ETALONNAGE

## SONDE SIMPLIFIEE "SOLO"

### Caractéristiques générales.

L'originalité de la sonde SOLO réside dans les caractéristiques suivantes, dont beaucoup répondent au souci de parvenir à une faible consommation de courant :

- source de neutrons de faible activité pour s'affranchir de tout problème de radioprotection, associée à un détecteur sensible (compteur à Hélium 3)
- utilisation d'un condensateur qui se charge pour alimenter la sonde, d'où économie de courant et indépendance accrue vis à vis des perturbations dues à l'alimentation THT
- utilisation d'une logique C Mos
- mesure des impulsions de sortie par un amplificateur de courant délivrant des impulsions compatibles avec la logique utilisée
- impression des résultats sur papier thermo-sensible, contenu dans une cassette amovible
- pré-réglage du temps de comptage pour que la mesure dans l'eau donne 1 000.

### Description sommaire

L'appareil comporte une sonde reliée par câble THT à un coffret renfermant toute l'électronique (voir photographie).

La sonde est un tube étanche (longueur 37,5 cm, diamètre 3,9 cm) renfermant une source Am-Be de 10 mCi et un compteur à Hélium 3 (Texlium ou LMT-CPNH 30).

Par un presse étoupe sort un câble souple de longueur adaptée (2 à 10 m) repéré tous les mètres avec intercalaire tous les 10 centimètres.

Le coffret (dimensions 24 x 17 x 15 cm) présente sur sa face supérieure un logement pour la cassette contenant le papier et un autre pour la portion déroulée du ruban où sont enregistrées les mesures, ainsi que les commandes accessibles à l'opérateur, qui sont :

- bouton poussoir de commande de la mesure
- sélecteur de temps de mesure : en position  $t_0$  (15 secondes environ) ou n. $t_0$  (dans le cas présent n = 4)
- bouton poussoir d'avancement du ruban de papier

L'appareil est autonome et portatif. Il fonctionne sur piles (9 x 1,5 V). Son poids total est de 5,7 kg.

### Fonctionnement

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : en appuyant sur le bouton poussoir de commande on déclenche une séquence de mesures qui comporte : charge du condensateur, comptage des impulsions pendant le prétemps choisi, enregistrement du résultat. Celui-ci est imprimé sur le ruban de papier thermo-sensible qui avance d'un cran à chaque chiffre, et de deux crans après le 3ème chiffre pour séparer deux inscriptions consécutives.

On donne ci-dessous copie d'un morceau de ruban imprimé, tel qu'il sort de la machine.

2 9 7   3 1 1   3 2 2   3 1 6            3 7 6   3 5 9   3 5 6   3 5 2   3 3 6   3 7 4   3 8 6

## ETALONNAGE

L'étalonnage de la sonde Solo a été réalisé grâce aux mesures effectuées avec une sonde de type NEA, elle-même étalonnée par la méthode Normand. Cette dernière aboutit à tracer pour un sol considéré un faisceau de courbes d'étalonnage, chaque courbe correspondant à une densité donnée. Ainsi, pour pour chaque niveau de sol considéré, on obtient une droite exprimant l'humidité volumique du sol en fonction du nombre de coups enregistrés.

L'étude du faisceau d'étalonnage, dans la gamme des mesures effectuées, montre que ces droites sont sensiblement parallèles. Dès lors, quelle que soit la densité du sol, toute variation égale du comptage de la sonde NEA est proportionnelle à une même variation d'humidité volumique du sol.

Les mesures réalisées conjointement avec la sonde Solo et la sonde NEA nous ont permis de calculer pour chaque niveau de sol le rapport existant entre leurs comptages respectifs.

Annexe 6

MESURE DE LA RADIOACTIVITE PAR L'ENSEMBLE DE COMPTAGE RA 15

# ENSEMBLE DE COMPTAGE DE FAIBLES ACTIVITÉS ALPHA ET BÉTA

TYPE RA 15

L'ensemble RA 15 est destiné à la mesure des activités alpha et bêta d'échantillons de dimensions diverses depuis moins d'une désintégration par minute jusqu'à plusieurs centaines de milliers de désintégrations par minute.

Il permet aussi bien le comptage simultané des activités  $\alpha$  et  $\beta$  de chaque échantillon, que le comptage exclusif  $\alpha$  ou le comptage sélectif du rayonnement X de conversion interne d'une source  $\alpha$  ou  $\beta$ .

L'appareil comporte, dans une enceinte de mesure blindée largement dimensionnée, un système de détection qui peut être sélectionné en fonction de la dimension des échantillons à mesurer.

Ce système de détection peut donner une géométrie de comptage voisine de  $2\pi$  ou de  $4\pi$  suivant les configurations.

Les résultats sont présentés sur des échelles numériques donnant respectivement le résultat du comptage alpha, du comptage bêta et du temps de la mesure.

Les résultats peuvent être imprimés pour chaque mesure et l'opération peut être rendue entièrement automatique pour la mesure de 50 échantillons par adjonction d'un passeur d'échantillons, type RA 50.

L'ensemble RA 15 peut recevoir dès le départ l'équipement maximum ou être complété par la suite; l'adjonction des différents éléments s'effectue aisément.

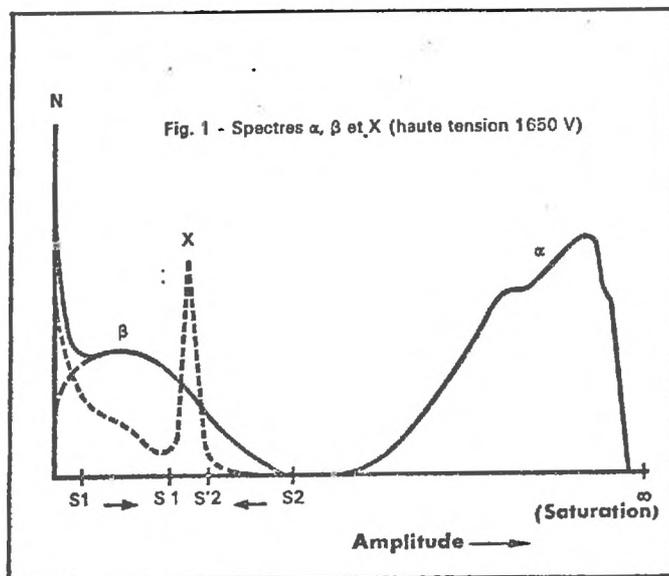
## MODES DE FONCTIONNEMENT

Le système de comptage RA 15 permet plusieurs modes de fonctionnement, aussi bien en version manuelle qu'automatique :

- **COMPTAGE SIMULTANÉ DES  $\alpha$  ET DES  $\beta$** , les compteurs proportionnels fonctionnant à 1650 V. Ce mode permet des gains de temps considérables dans les mesures de séries d'échantillons, avec un rendement de comptage maximum.

La mesure sélective des activités  $\alpha$  et  $\beta$  d'une même source s'effectue avec une très faible interaction entre voies de comptage, soit moins de 0,5% de  $\beta$  dans la voie  $\alpha$ , la contribution d'une source  $\alpha$  dans la voie  $\beta$  étant par ailleurs réduite aux émissions parasites de la source ( $\beta$ , e,  $\gamma$  ou X).

La figure 1 illustre ce cas, le comptage  $\beta$  correspond à la zone d'énergie comprise entre les seuils S1 et S2, le comptage  $\alpha$  correspondant à la zone située au-dessus du seuil S2.

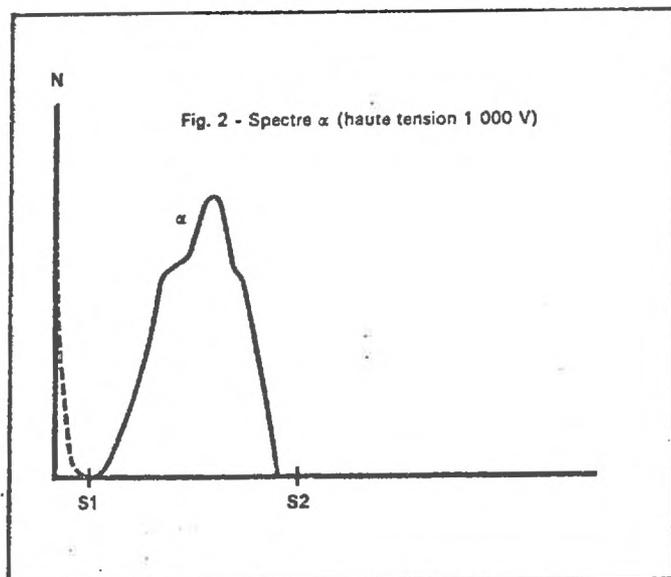


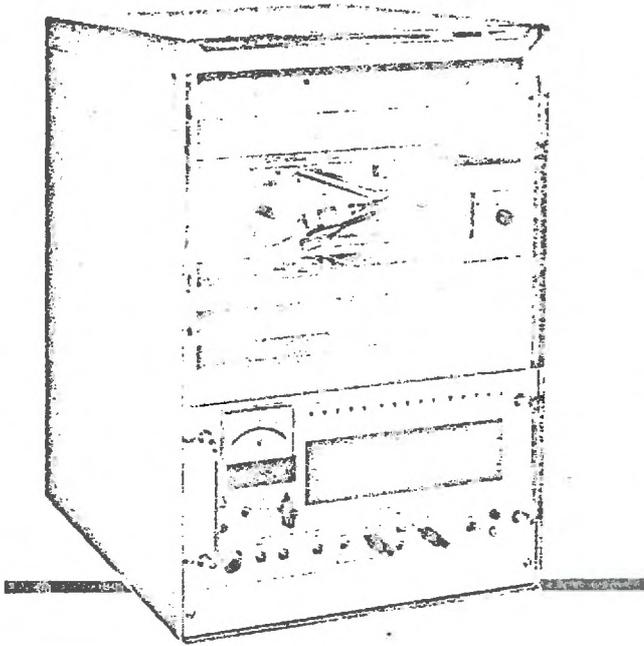
- **COMPTAGE EXCLUSIF  $\alpha$** , les compteurs proportionnels fonctionnant à 1000 V. Dans ce mode, seul le contenu  $\alpha$  de la source est compté, quelque soit le niveau  $\beta$ , et le bruit de fond est inférieur à 2 coups par heure. La figure 2 illustre ce cas, le comptage  $\alpha$  correspond aux énergies comprises entre les seuils S1 et S2.

Seule, la très haute tension doit être ramenée de 1650 à 1000 volts pour passer du mode de fonctionnement « simultané » au mode de comptage « exclusif  $\alpha$  ».

Pour une même source  $\alpha$ , les taux de comptage sont identiques dans les deux cas.

- **COMPTAGE SÉLECTIF X** : un pic de rayonnement X de conversion interne peut être isolé dans un spectre complexe  $\alpha$  ou  $\beta$  par des réglages appropriés. Pour le Fe 55 par exemple, la résolution est de l'ordre de 25%. Comme on le voit dans la figure 1, le pic de radiation X peut être isolé entre les seuils S'1 et S'2. La haute tension appliquée aux compteurs est fonction de la nature de la source de rayonnement X.





## PRINCIPE

Les détecteurs utilisés sont des compteurs à circulation fonctionnant en régime proportionnel. Dans le cas de la mesure simultanée alpha et bêta, la distinction des deux types de particules s'effectue par discrimination d'amplitude à partir des impulsions fournies par le compteur de mesure.

Afin d'augmenter au maximum la sensibilité des détecteurs, le mouvement propre du compteur de mesure est réduit à une valeur aussi faible que possible par l'emploi d'un épais blindage de plomb doublé intérieurement de cuivre et par l'utilisation d'un compteur de garde superposé au compteur de mesure et le débordant largement. Le blindage est destiné à arrêter la composante molle du rayonnement cosmique ainsi qu'une partie du rayonnement gamma ambiant, le compteur de garde éliminant par anti-coïncidence la contribution du rayonnement cosmique pénétrant. De cette façon, le mouvement propre est limité essentiellement à la pollution des matériaux de construction rigoureusement sélectionnés.

A ce sujet, les compteurs à circulation présentent un avantage certain parce qu'ils autorisent l'emploi de matières plastiques relativement peu contaminées.

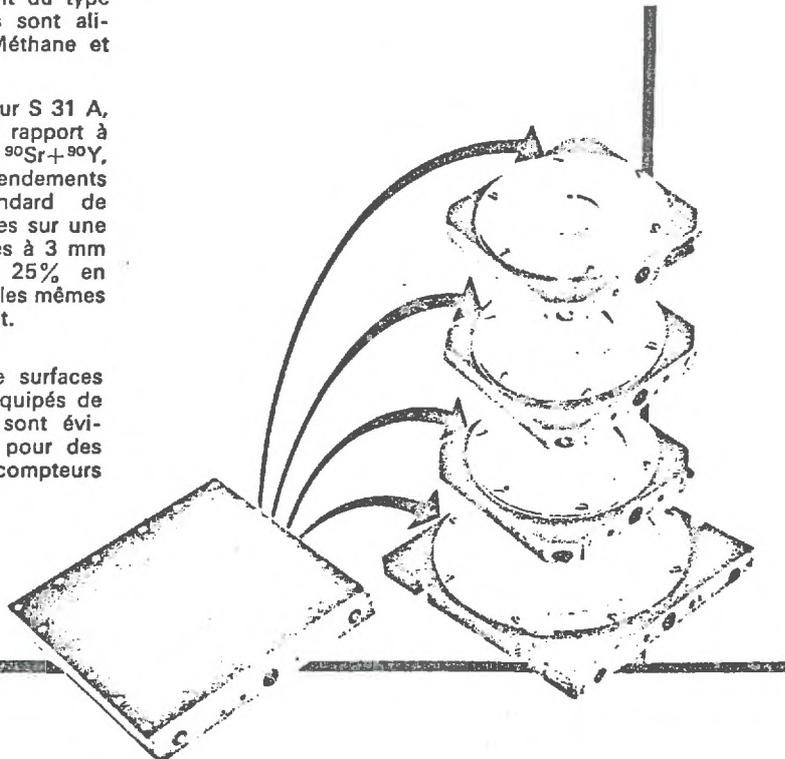
Quatre types de compteurs de mesure : S 31 A - S 32 A - S 33 A - S 34 A sont disponibles, différant essentiellement par leurs diamètres de fenêtres, respectivement égaux à 33 mm, 59 mm, 84 mm, 135 mm. La fenêtre est en mylar métallisé de 0,9 mg/cm<sup>2</sup>; des fenêtres de 0,1 mg/cm<sup>2</sup> peuvent être fournies sur demande pour équiper les compteurs. Chaque compteur de mesure est associé à un compteur de garde S 30 A.

Des versions symétriques comprenant 2 compteurs de mesure S 31 A, S 32 A, S 33 A ou S 34 A et deux compteurs de garde S 30 A peuvent être réalisées. Les compteurs de mesure et de garde sont du type à circulation. Dans l'ensemble RA 15 ils sont alimentés en série par un mélange Argon-Méthane et sont utilisés en régime proportionnel.

Le rendement global minimum d'un compteur S 31 A, S 32 A, S 33 A ou S 34 A, exprimé par rapport à une géométrie de  $4\pi$ , est de 35% en <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y, de 25% en <sup>35</sup>S, et de 20% en <sup>14</sup>C. Ces rendements sont obtenus avec des fenêtres standard de 0,9 mg/cm<sup>2</sup>, pour des sources minces étalées sur une surface égale à celle du détecteur et placées à 3 mm de celui-ci. Les rendements atteignent 25% en <sup>14</sup>C pour des fenêtres de 0,1 mg/cm<sup>2</sup> et dans les mêmes conditions géométriques que précédemment.

**N.B.** Avec des sources ponctuelles ou de surfaces faibles comparées à celles des détecteurs équipés de fenêtre standard, les rendements obtenus sont évidemment plus élevés; ils dépassent 45% pour des bêtas « durs » même lorsqu'on utilise des compteurs équipés de fenêtres standard.

## COMPTEURS DE MESURE ET COMPTEURS DE GARDE

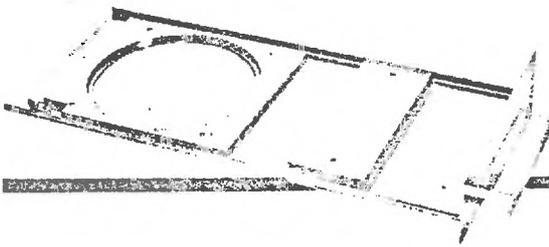
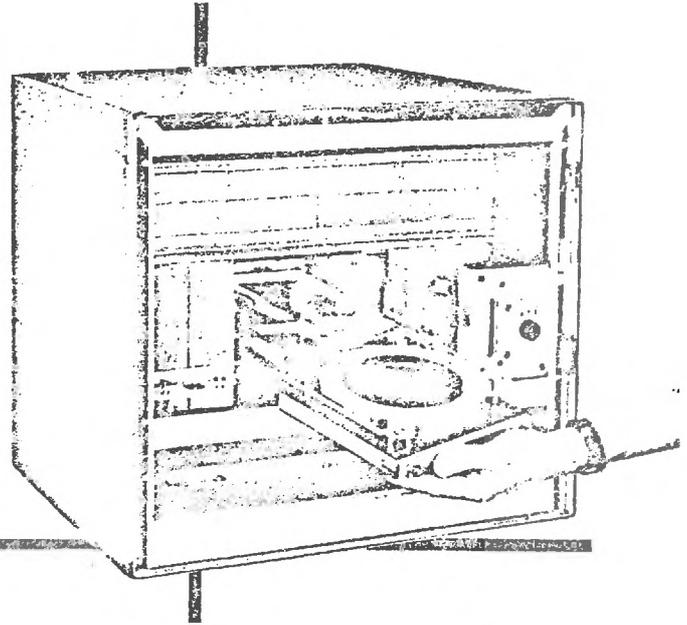


## ENCEINTE DE MESURE

Réalisée en Cuivre O.F.H.C. (1) elle constitue une protection de 10 mm d'épaisseur contre le rayonnement gamma du plomb constituant le blindage extérieur.

Largement dimensionnée, elle permet au besoin des agencements particuliers comme le montage symétrique à deux jeux de détecteurs dans lequel l'angle solide de comptage est doublé. L'accessibilité est totale pour une décontamination aisée, en particulier le nettoyage de la fenêtre des compteurs peut être effectué sans interrompre la circulation de gaz.

(1) O.F.H.C. Oxygen Free High Conductivity.



## REGLETTE-SUPPORT D'ECHANTILLONS

Elle permet d'introduire manuellement les échantillons dans l'enceinte de mesure. Elle comporte un alésage de 144,6 mm de diamètre pouvant recevoir 4 types d'adaptateurs U81, U82, U83, U84, permettant le positionnement sur la réglette de 4 dimensions différentes de porte-sources.

## PORTE-SOURCES

Deux types de porte-sources utilisés indifféremment en version manuelle ou automatique peuvent être fournis :

a) Coupelles métalliques (2). Quatre modèles :  
U 51 - U 52 - U 53 - U 54

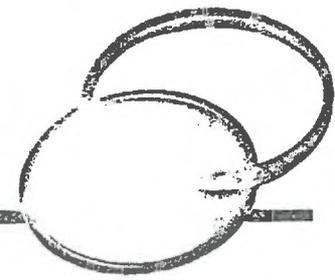
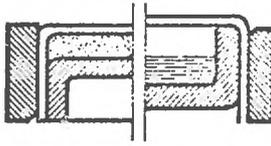
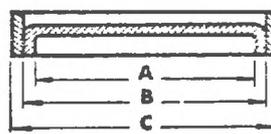
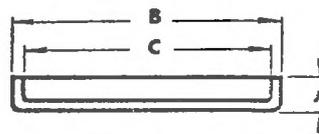
TYPE	A	B	C
U 51	4,5 mm	∅ 30 mm	∅ 29 mm
U 52	4,5 —	55 —	54 —
U 53	4,5 —	80 —	79 —
U 54	4,5 —	130 —	129 —

(2) Standard : aluminium. Sur demande : acier inoxydable.

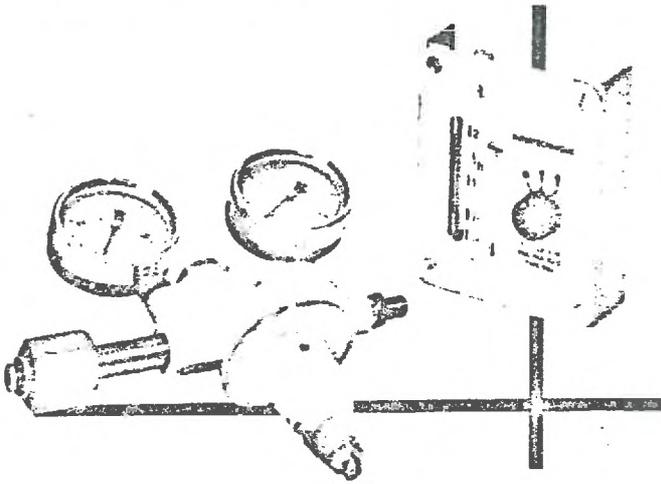
b) Assemblages plastiques. Trois modèles :  
U 61 - U 62 - U 63.

Chaque assemblage comprend un disque à bord relevé et une bague pouvant maintenir une feuille de mylar sur l'une ou l'autre face du disque. Ces assemblages sont particulièrement recommandés pour leur facilité de montage et les garanties qu'ils offrent contre la contamination.

TYPE	A	B	C
U 61	∅ 26 mm	∅ 28 mm	∅ 30 mm
U 62	∅ 49 —	∅ 51 —	∅ 55 —
U 63	∅ 74 —	∅ 76 —	∅ 80 —



## DISPOSITIF D'ALIMENTATION EN GAZ



L'alimentation en gaz des compteurs de mesure et de garde s'effectue à partir d'une bouteille de grande capacité contenant un mélange 10% Méthane, 90% Argon.

Un régulateur pneumatique relié par canalisation à la réserve de gaz par l'intermédiaire d'un manodétendeur fixé sur la bouteille, permet le réglage du débit, ainsi qu'un contrôle d'étanchéité.

Le débit maximum de gaz est limité à 20 l/h afin de réduire les pertes en cas de fuite accidentelle.

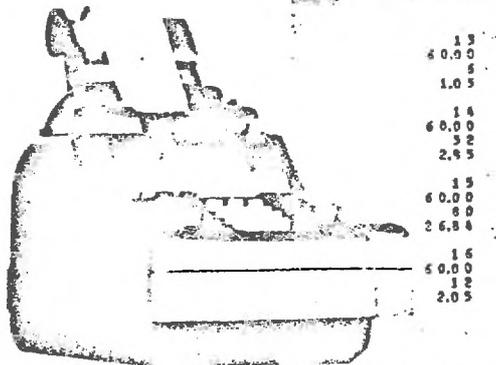
Les compteurs à fenêtres standard sont soumis à une surpression stabilisée entre 8 et 12 millibars. Les compteurs à fenêtres minces sont alimentés sans surpression avec un débit plus grand.

Les qualités du régulateur pneumatique sont telles que le débit dans les compteurs alimentés en série, qui est de 1 litre/heure en début d'utilisation, peut être réduit dans certains cas jusqu'à un quart de litre/heure, d'ou une autonomie de deux à trois ans avec une bouteille standard, alimentant des compteurs équipés de fenêtres standard.

## IMPRESSION DES RESULTATS

La sortie des résultats s'effectue sur machine ADDO X, type RG 22B, imprimant :

- le numéro repère de l'échantillon mesuré (version RA 15A automatique),
- le temps de mesure
- le contenu de l'échelle alpha
- le contenu de l'échelle bêta.



## ELECTRONIQUE

Un fonctionnement extrêmement sûr est garanti par l'emploi généralisé des semi-conducteurs. Tous les circuits sont groupés par fonctions sur des plaquettes enfichables munies de nombreux points de contrôle. Ils comprennent : les circuits d'entrée, les échelles de comptage alpha et bêta, l'échelle des temps et les circuits d'impression.

Les échantillons sont comptés soit en temps préaffiché, soit en précompte alpha ou bêta.

Dans le cas de la mesure en temps préaffiché, l'échelle des temps comporte 5 décades à présélection et affi-

chage décimal, définissant le temps en centièmes de minute. La mesure est interrompue lorsque le temps imparti au comptage est écoulé.

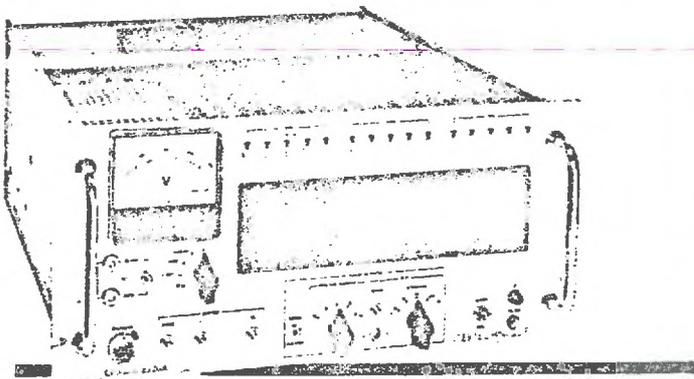
Dans le cas de la mesure en précompte alpha et bêta, c'est le premier préaffichage atteint qui arrête la mesure, déclenche éventuellement l'impression. Les échelles de comptage sont à 5 décades à présélection et affichage décimal.

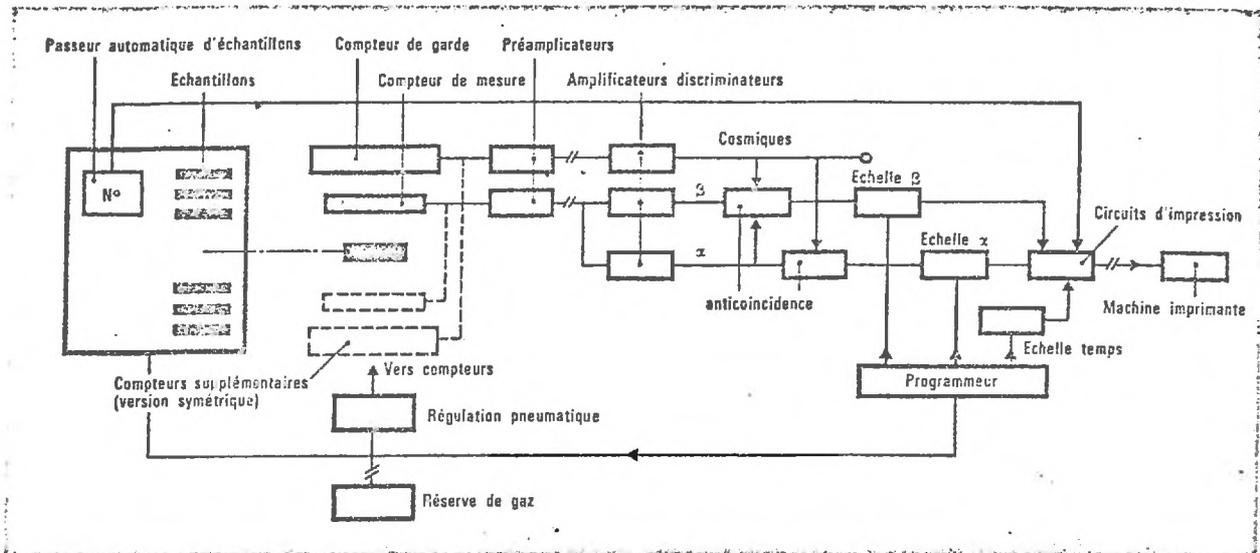
Un inverseur « Normal - Répétition » permet soit le comptage successif des échantillons, soit le maintien d'un seul d'entre eux pour des cycles de mesure répétés (mesure de décroissance, relevé des paliers des compteurs, etc...).

Un commutateur « Impression Périodique » permet pendant un comptage de durée déterminée d'imprimer les résultats partiels toutes les 1, 3, 10, 30 minutes. Ce dispositif est du plus grand intérêt lorsque l'on désire avoir un historique du comptage, soit pour des raisons de contrôle (stabilité du taux de comptage), soit lorsque l'échantillon à mesurer comporte plusieurs émetteurs de périodes différentes que l'on veut mettre en évidence.

Un commutateur à 4 positions permet l'élimination d'échantillons n'ayant pas donné 10, 100 ou 1000 impulsions pendant la première minute de comptage soit pour la voie  $\alpha$ , soit pour la voie  $\beta$ .

En exploitation, ce dispositif apporte un gain de temps considérable, l'utilisateur ne prenant en compte que les échantillons dont le taux de comptage est supérieur au seuil choisi.





### PASSEUR AUTOMATIQUE RA 50

Il constitue un sous-ensemble d'électro-mécanique compact associé à l'enceinte de mesure. Il est fixé latéralement sur le bâti principal. Un chargeur amovible pouvant contenir 50 échantillons montés sur plaquette-support et pouvant recevoir les mêmes porte-sources que la version manuelle, se déplace verticalement et présente successivement les échantillons devant le bras de transport assurant leur introduction dans la chambre de mesure.

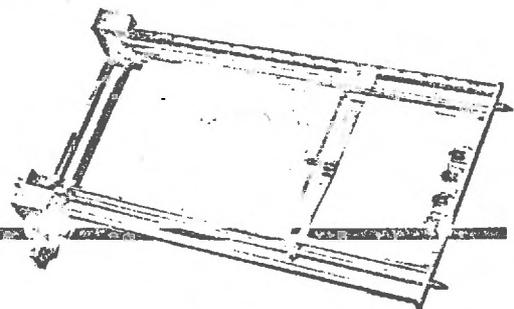
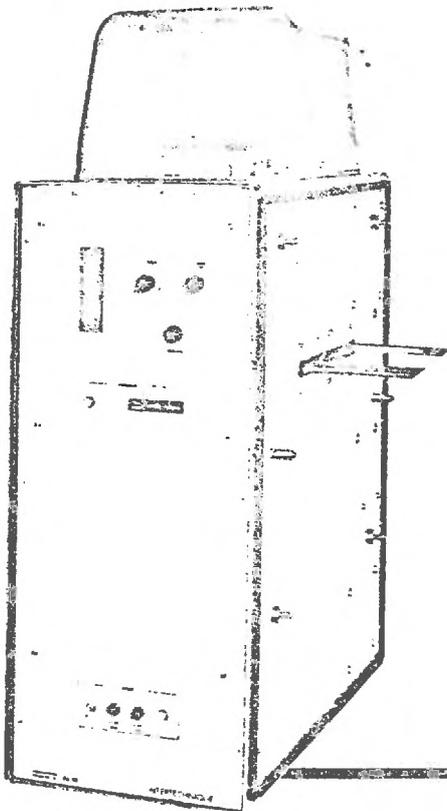
Le dispositif d'entraînement des échantillons peut éventuellement se retirer dans le cas où une dépollution générale s'avérerait nécessaire.

Le comptage des échantillons s'effectue dans l'ordre numérique, les logements vides du chargeur étant automatiquement passés, soit à partir du premier échantillon soit à partir d'un échantillon sélectionné.

Un affichage lumineux permet de visualiser le numéro de l'échantillon en comptage. Un clavier à trois touches permet de commander :

- 1° le comptage de tous les échantillons sur un cycle unique
- 2° le comptage de tous les échantillons en continu
- 3° l'extraction du chargeur.

Particularité intéressante, chaque plaquette support d'échantillon peut être munie d'un pion qui annule pour elle seule une ou plusieurs des programmations effectuées sur le tiroir électronique.



### PLAQUETTES SUPPORTS D'ÉCHANTILLONS POUR PASSEUR AUTOMATIQUE RA 50

COMPTEUR UTILISÉ	PLAQUETTE SUPPORT
S 31 A	U 71 A $\varnothing$ 30 mm
S 32 A	U 72 A $\varnothing$ 55 -
S 33 A	U 73 A $\varnothing$ 80 -
S 34 A	U 74 A $\varnothing$ 130 -
	U 74 X $\varnothing$ 144,6 -

Il en existe 5 modèles adaptés à 5 dimensions de source.

