ETUDE DES RELATIONS ENTRE L'ABSORPTION DE L'EAU ET L'ABSORPTION DU PHOSPHORE 32 PAR DEUX VARIETES DE RIZ PLUVIAL

TRUONG Binh, Georges VACHAUD*, Jean-Marie KALMS** et Michel VAUCLIN*

1 - INTRODUCTION.

Corrélativement à l'expérimentation décrite dans l'article précédent, une autre méthode, indépendante de la première, d'estimation de l'enracinement du riz pluvial a été testée sur le même site, durant les mêmes phases de mesure. Cette méthode non distinctive, s'appuie sur l'utilisation d'un traceur radioactif placé dans le sol à différentes profondeurs, puis mesuré dans la partie aérienne . Il est indispensable que le radioisotope disperse peu dans le sol, soit absorbé en quantité relativement importante et détectable de façon simple. Le phosphore radioactif répond à ces critères et de ce fait est largement utilisé dans ce but. Les expérimentations effectuées jusqu'à ce jour (BOGGIE et al 1958, HURLEY et al 1974, REYNIERS et al 1978) visent surtout à décrire le profil racinaire. Il nous a paru particulièrement intéressant de profiter de l'essai mis en place à Bouaké pour rechercher également l'existence d'une corrélation quantitative entre l'absorption du 32 P par la plante et l'extraction d'eau à différentes profondeurs. Cet article se consacre essentiellement à l'étude de l'existence de cette relation.

IRAT-GERDAT B.P. 5035, 34032 MONTPELLIER
*CNRS-IMG B.P. 53, 38041 GRENOBLE
**IRAT-IDESSA B.P. 633, Bouaké, Côte d'Ivoire

Com. orale aux Journées Scientifiques du G.F.H.N, Toulouse, 17-20 Nov. 1980.

2. CONDITIONS D'ESSAI.

2.1. *Méthode d'étude*

La méthodologie utilisée a fait l'objet d'une description détaillée par REYNIERS et al (1978) comportant deux phases :

- percement d'un trou jusqu'à la profondeur à tester à l'aide d'une tige d'acier de 14 mm de diamètre.

- placement de 2 ml de solution contenant 30 µci/ml de ^{32}P sous forme d'acide phosphorique et 1 mg/ml de ^{31}P sous forme de phosphate monopotassique comme entraineur, à l'aide d'un tube de cuivre de 6 mm de diamètre renfermant un conduit souple en Tygon, relié vers le haut à une pipette automatique et vers le bas à une aiguille hypodermique dépassant légèrement le tube en cuivre.

Une étude systématique a été effectuée par autoradiographie sur les dimensions de la zone marquée (TRUONG Binh 1977), portant sur différents types de sols, différentes densités, textures et humidités du sol, et volumes de solutions placés ; elle a montré que la dimension moyen de la sphère reste limitée, environ 3cm de diamètre. Sur le sol de Bouaké, on a montré aussi que la dose d'entraineur utilisée homogénéise la disponibilité du phosphore dans les différents horizons du profil.

Les études préliminaires ont permis aussi de préciser le nombre de placements, le mode de prélèvement et de traitement des échantillons de plante :

- pour un pied et une profondeur à tester, le nombre de placements optimum est de 5, répartis régulièrement à 5cm autour de la plant

- la durée d'absorption est de 10 jours, ensuite on récolte l'ensemble tige et feuille de la plante marquée et des pieds adjacents.

.../

- l'échantillon est séché, broyé , minéralisé au four à moufle à 550° c puis repris en solution d'acide chlorhydrique à 2%.

- les mesures de radioactivité sont faites par effet CERENKOV en spectométrie à scintillation liquide, et ramenées au temps to jour du placement.

2.2. *Protocole d'essai*

Le but essentiel de l'essai étant la recherche d'une corrélation entre absorption du ^{32}P et taux d'extraction d'eau, les placements de ^{32}P sont concentrés au voisinage des mesures d'humidité à la sonde à neutrons (Figure 1).

Cinq profondeurs de placements sont retenues : 20 - 30 - 40 - 50 - 60 cm. Pour chaque variété et pour chaque profondeur, trois sites sont choisis sur chaque bloc.

Afin de rechercher l'influence éventuelle de l'humidité du sol sur le taux d'absorption, deux expérimentations successives ont été effectuées :

- l'une en phase humide avec placement du ^{32}P le 14/11 et prélèvement le 23/11,

- l'autre en phase sèche avec placement du ^{32}P le 21/11 et prélèvement le 30/11.

On rappelle que dans la première phase, la pression effective de l'eau est toujours restée supérieure à 250 cm dans la zone racinaire grâce à des irrigations d'appoint. Dans la seconde, on a laissé le riz épuiser les réserves du sol.

On a été ainsi amené à effectuer un total de 1 800 placements (6 blocs x 2 variétés x 2 phases x 3 sites x 5 profondeurs x 5 placements).

.../

Une expérimentation complémentaire a également été conduite sur le même site dans le but d'étudier la variabilité spatiale des absorptions de ^{32}P . Sur 4 blocs on a effectué 4 répétitions de placement à la côte 40 cm, avec chaque fois, 3 sites différents et 5 placements autour du pied, pour chacune des deux phases, soit 320 placements supplémentaires.

Pour toutes les expérimentations, les mesures obtenues représentent l'accumulation de phosphore radioactif pendant la phase considérée sur un ensemble de 7 pieds (pied central où le placement a été effectué et les pieds adjacents), figure2.

Dans un souci de normalité toutes les mesures sont exprimées en comptages équivalents à ceux qui seraient obtenus par un placement d'une solution correspondant à 108 coups et ramenés à l'instant to du placement, tenant compte de la période de l'isotope.

3. ANALYSE DES MESURES

Les travaux précédents ont clairement montré que les mesures, en terme de comptage, représentent une très grande variabilité dans l'espace. Il est dès lors indispensable d'analyser en premier lieu la structure de la loi de distribution de cette grandeur, afin de pouvoir notamment disposer d'un outil objectif permettant de la comparer à d'autres variables stochastiques étudiées dans l'article précédent (teneur en eau, charge hydraulique etc...).

A la côte 40 cm, sur la variété IRAT 13, on dispose de 66 placements. Si l'absorption du ^{32}P est une caractéristique intrinsèque de la plante, pendant une période d'état hydrique donnée, la variabilité des mesures intègre les effets aléatoires dus à l'activité de la plante elle-même, et aux erreurs de mesure.

.../

On donne fig. 3a l'histogramme des fréquences, relatives sur les mesures d'activités, par classes d'isovaleurs correspondant à des intervalles de 100.000 coups, pendant la phase humide.

Compte tenu de problèmes de manipulations, on dispose d'un échantillon de 63 valeurs, 3 mesures devant être considérées comme nulles.

L'échantillonnage est extrêmement dispersé, puisque les valeurs extrêmes sont 24.170 et 1.239.860. L'allure de la distribution incite naturellement à effectuer une transformation logarithmique.

L'histogramme en terme de probabilité cumulée de la variable ln A est donné fig. 3-b. Il est clair que le paramètre "absorption ^{32}P" correspond à une loi de distribution log.normale

Les tests de symétrie et d'applatissement (GEARY) confirme ce résultat.

Cette transformation respectant l'égalité de la variance permet de comparer la variable transformée avec les variables hydriques (pression, teneur en eau, etc...) qui suivent une loi de distribution normale Tout le traitement sera donc fait sur la variable ln A.

Il faut toutefois noter que cette transformation représente l'inconvénient de nous placer sur une échelle qui distord énormément les résultats de mesure.

A titre d'exemple, l'histogramme des valeurs transformées (fig. 3-b), conduit aux valeurs suivantes :

. Moyenne (ln $\overline{A}$) = 12,070, Ecart type : = 0.898

soit un coefficient de variation de 7,45%

La transformation inverse conduit sur les comptages à une moyenne géométrique de 174.555 coups, avec les limites de confiance suivan 71.111 et 428.480. Ces valeurs sont reportées fig. 3-a.

.../

Un traitement identique effectué sur les mesures obtenues en phase "sèche" conduit naturellement à une loi de distribution log-normale caractérisée par les valeurs suivantes :

Moyenne ($\ln \overline{A}$) = 11.61, Ecart type = 0.886

soit un coefficient de variation de 7,6%

Il y a donc une bonne homogénéité entre les résultats. On peut déjà retenir que dans une gamme de variation de (ln A) allant de 10 à 13 (soit de 22.000 à 440.000 coups), les mesures ne seront significativement différentes (en terme par exemple d'une influence caractéristique d'un paramètre physique), au taux de 64% que si elles diffèrent au moins de 0.8 à 1.0 (dans l'échelle logarithmique).

On donne tableau 1 les valeurs moyennes des taux d'absorption mesurés sur les blocs équipés de tubes neutrons pour les deux variétés, chaq profondeur, $\ln \overline{A} = \frac{\Sigma \ln Ai}{n}$ où n est le nombre de répétitions des i mesur vaut 18 (6 blocs, 3 sites par bloc) et $\overline{r} = \frac{\Sigma ri}{n}$ avec = 6

L'écart type à chaque profondeur peut être différent de celui obtenu dans l'analyse précédente, car l'échantillon est à peine suffisant.

4 RECHERCHE DE CORRELATION.

Dans un premier temps, il est tentant de rechercher une corrélation entre les résultats reportés tableau I. On dispose en effet ainsi durant les mêmes phases, sur les mêmes échantillons, de mesure d'absorption de ^{32}P, et de taux d'extraction racinaire , aux mêmes niveaux sauf dans les 15 premiers cm, où l'on ne dispose pas de mesure d'absorption de ^{32}P le choix de la transformation logarithmique de l'activité ^{32}P se justifie entièrement au niveau de cette comparaison, puisqu'elle permet de se ramener à deux classes de variables aléatoires (ri et ln Ai) répondant au même type de distribution (normale).

Cependant, étant donné que l'essai comporte des traitements (profondeurs, variétés, phases d'humidité) il est nécessaire de procéder par étape, allant du plus simple (corrélation par profondeur) vers une globalisation progressive (profondeurs confondues puis autres traitements confondus).

D'autre part, les méthodes de corrélations ordinaires par moindre carré ne s'adaptent cependant pas à ce type de problème. Chacune des variables est en effet entachée d'une erreur provenant soit de la variabilité (spatiale) des phénomènes étudiés, soit d'incertitudes expérimentales sur la mesure et on n'en connait pas la valeur exacte, mais seulement une estimation, à savoir :

$$(\ln \overline{Ai})\ \text{mesuré} = (\ln \overline{Ai})\ \text{exact} + ui$$

$$(\overline{r}\ i)\ \text{mesuré} = (\overline{r}\ i)\ \text{exact} + vi$$

où ui et vi sont les erreurs associées aux valeurs moyennes de $\ln \overline{Ai}$ et $\overline{ri}$ (par profondeur, phase et variété). Elles sont assimilées aux écarts types σ (r) et σ (ln A) données dans les tableaux de synthèses et calculées chaque fois pour P répétitions. (Tableau 1)

Les lois de distribution des fréquences cumulées sur ces erreurs (ui, vi) sont données fig. 7. Il est légitime de les assimiler à des lois normales.

.../

Dès lors le problème à résoudre doit être situé dans un espace à 3 dimensions constitué d'une part du plan de la corrélation (ln A, r), d'autre part, de l'axe vertical représentant les densités de probabilité des erreurs u et v.

La recherche d'une corrélation correspondant à un "maximum de ressemblance" pour un problème de cette nature doit s'effectuer selon la méthode développée par JOHNSTON, supposant que l'ordonnée yi de chaque point de mesure (ri) est liée à la valeur Xri exacte de l'activité (ln (Ai)ex) par une expression linéaire du type

$$yi = \alpha + \beta \ xri + \varepsilon i - vi$$

où: - α et β sont les valeurs vraisemblables de coefficient de la corrélation linéaire

- ε_i est l'écart résiduel de la liaison (Taux d'extraction - absorption ^{32}P)
- vi est l'erreur associée à y'

Le calcul des coefficients de la corrélation tient compte des moments mixtes et d'ordre 2 centré autour de la moyenne, et de la varian sur ui et vi.

Les coefficients de corrélation à l'intérieur de chaque profondeur sont très faibles, de l'ordre de 0,11 ; il est donc possible de passer à l'étape suivante en analysant les données par variété, par phase et avec les profondeurs confondues.

On a reporté sur la figure 6, les valeurs moyennes des mesures de taux d'extraction d'eau et d'absorption du ^{32}P, à chaque valeur sont associées les erreurs ui et vi.

.../

La méthode préconisée conduit aux résultats suivants :

Traitements	Equation de régression	écart résiduel	coefficient de corrélation
IRAT 13 Phase Humide	$\Delta\theta/\Delta t = -1,401 + 0,1573 \ln A$	0,0051	0,904
IRAT 13 " Sèche	$\Delta\theta/\Delta t = -2,250 + 0,2334 \ln A$	0,0044	0,911
IGUAPE " Humide	$\Delta\theta/\Delta t = -0,701 + 0,1011 \ln A$	0,0059	0,915
IGUAPE " Sèche	$\Delta\theta/\Delta t = -2,843 + 0,2744 \ln A$	0,0050	0,894

Il semble donc qu'il existe 4 strates (2variables x 2 phases) il n'est pas raisonnable de rechercher une liaison plus globale.

Les coefficients de corrélation étant assez élevés, il est tentant d'utiliser ces relations dans le sens d'une estimation d'un paramètre à partir de l'autre, mais cette démarche comporte beaucoup de risques et elle est à la limite illusoire pour plusieurs raisons :

- le nombre des données est très limité, rien ne permet pour l'instant d'estimer que les relations précédentes sont des relations phénoménologiques intrinsèques, c'est à dire indépendantes du type de sol, de plante, de l'humidité. On montre seulement ici que les quatre relations sont assez similaires.

- les relations données figure 6 ne sont pas homogènes puisqu'elles comparent des taux d'extraction d'eau (mm/jour), qui peuvent être constant quelque soit la période de mesure, à des valeurs cumulées, sans que l'on sache si le processus d'absorption du ^{32}P est linéaire.

- enfin on sait que du point de vue physiologique les deux mécanismes d'absorption sont différents. L'absorption de l'eau se fait essentiellement par pression osmotique alors que celle du phosphore se fait par transport actif malgré les gradients de concentration et de charge défavorables à l'entrée du phosphore dans la plante.

Ces réserves émises, on peut constater une certaine convergenc entre les deux absorptions qui dépendent essentiellement des quantités de racines présentes dans les différents horizons.

TABLEAU 1 - RESULTATS DES MESURES AVEC LES ERREURS ASSOCIEES

	Profondeur en cm	ln $\bar{A}$	|u i|	r i	|v i|
IRAT 13 HUMIDE	20	13.20	0.77	0.78	0.13
	30	12.19	0.76	0.52	0.10
	40	12.40	0.21	0.40	0.14
	50	10.18	0.71	0.27	0.06
	60	10.24	0.47	0.20	0.01
IRAT 13 SEC	20	12.27	0.69	0.74	0.10
	30	12.15	0.54	0.52	0.09
	40	11.74	0.89	0.40	0.14
	50	10.57	0.71	0.27	0.06
	60	10.49	0.82	0.20	0.01
IGUAPE HUMIDE	20	13.75	0.45	0.80	0.14
	30	13.59	0.75	0.60	0.11
	40	12.38	0.84	0.50	0.18
	50	9.96	0.59	0.39	0.11
	60	9.73	0.45	0.24	0.16
IGUAPE SEC	20	12.78	0.66	0.70	0.09
	30	12.46	0.53	0.60	0.11
	40	11.96	0.93	0.38	0.11
	50	10.77	0.38	0.25	0.05
	60	11.52	0.93	0.19	0.09

B I B L I O G R A P H I E

BOGGIE R., HUNTER R.F., KNIGHT A.H.

Studies of the root development of plants in the field using radioactive tracers.
J. Ecol. 46, 621, 1958.

HUXLEY D.A., PATEL R.Z., KABAARA A.M., MITCHELL M.W.

Tracer studies with ^{32}P on the distribution of functional roots of arabica coffe in Kenya.
Ann. Appl. Biol. 77, 159-180, 1974.

JOHNSTON J.

Econometric methods.

Mc Graw Hill Book CO., Intern. Student Edition.

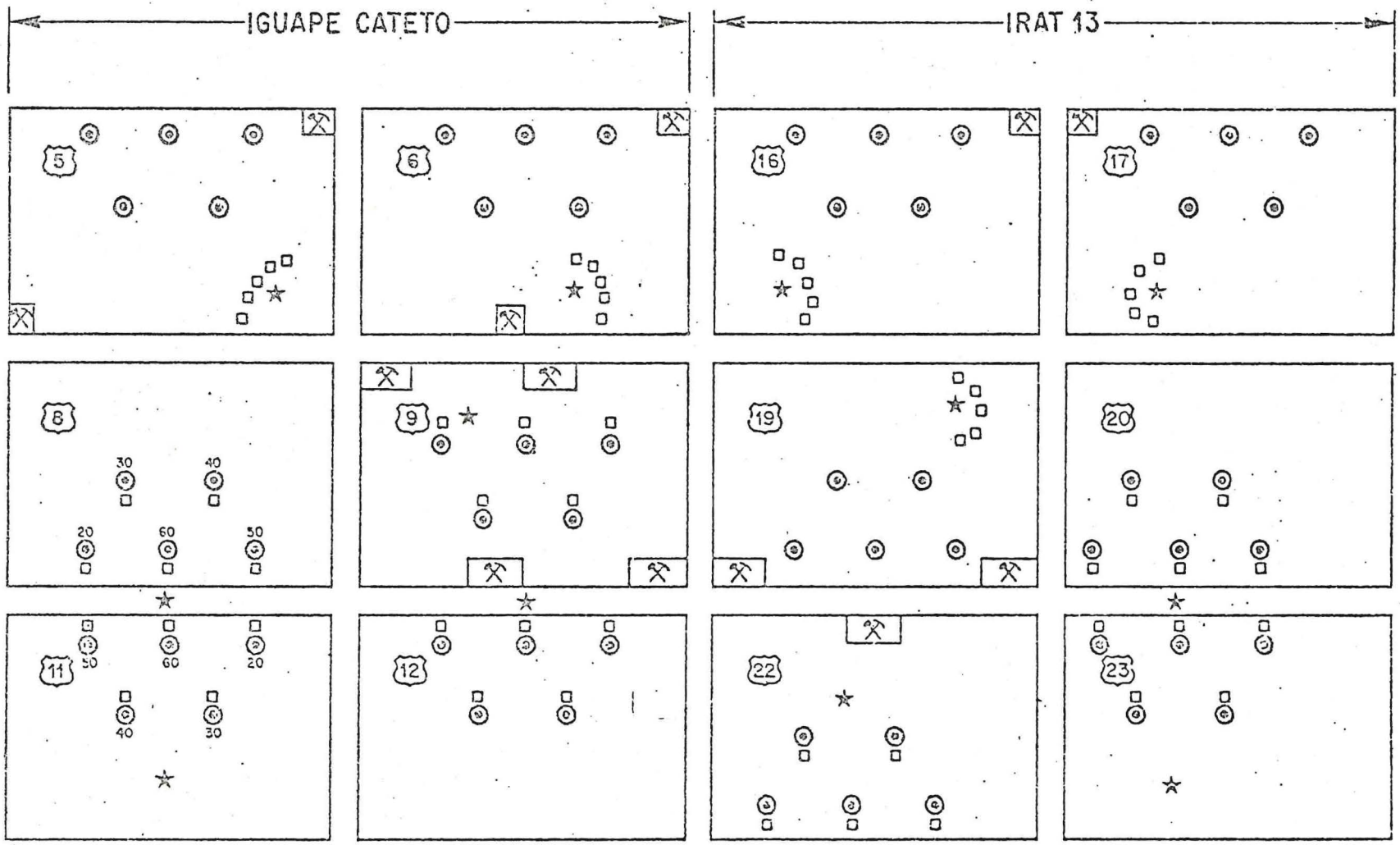
REYNIERS F.N., TRUONG Binh, BOIS J.F., BONNIN E., THOMIN G.

Caractérisation de l'enracinement du riz pluvial in situ, avec le phosphore 32.
Proc. "Isotop. Rad. Res. Soil-Pl. relation" Colombo, Sri Lanka, Dec. 197

TRUONG Binh.

Utilisation de traceurs radioactifs pour l'étude de l'enracinement du riz pluvial en Côte d'Ivoire.
Rapport AIEA n° 1 205, Février 1977.

-ooOOoo-



ECHELLE 1 m

6 N° de parcelle

Fosses antérieures

Sonde à neutrons

Tensiomètres

Placement de ^{32}P

30 Profondeur en cm

Figure 1 : DISPOSITION DES PARCELLES ET DES SITES DE MESURES

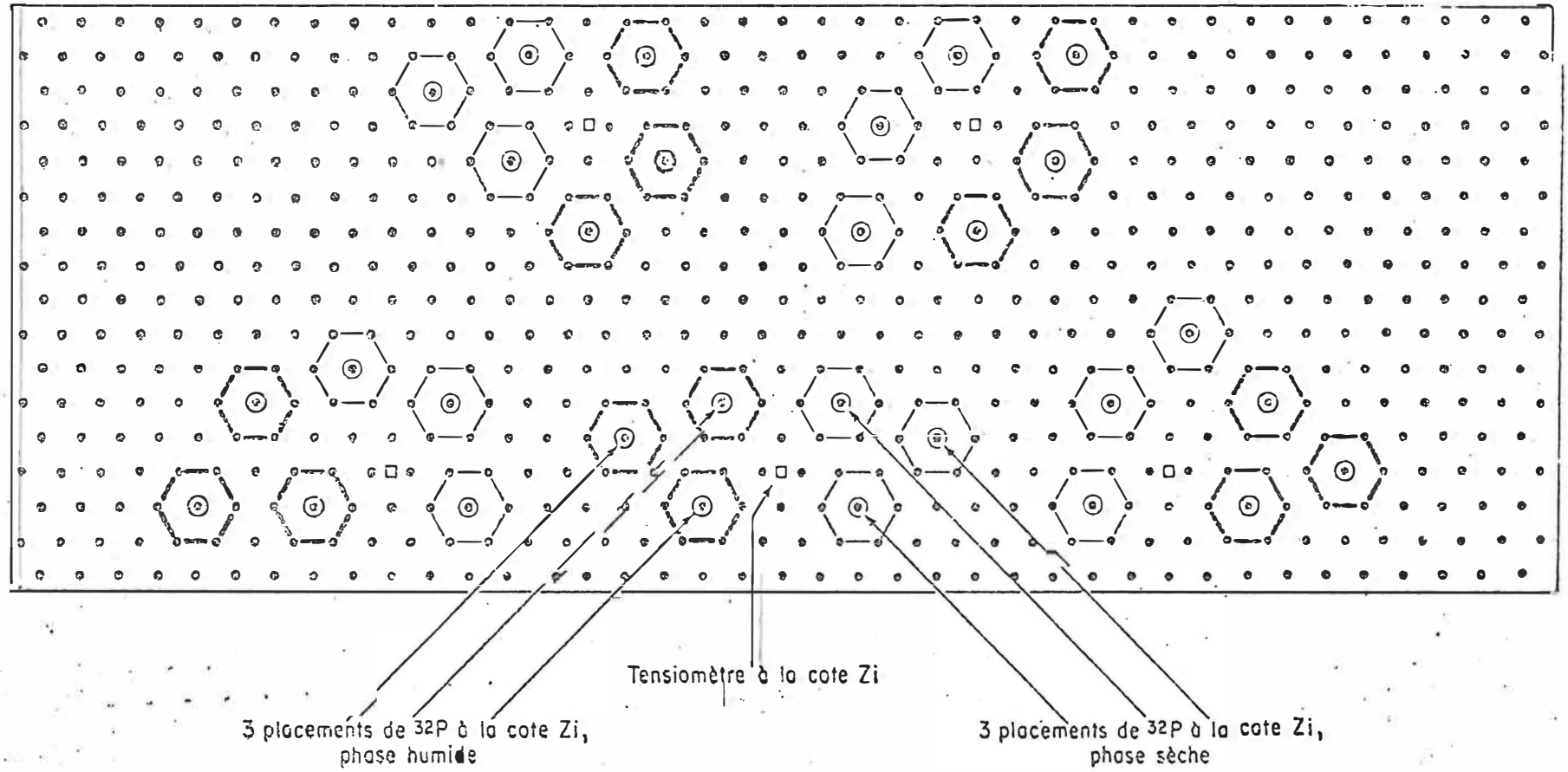


Figure 2 : ECHANTILLONNAGE DES PLANTES MARQUEES

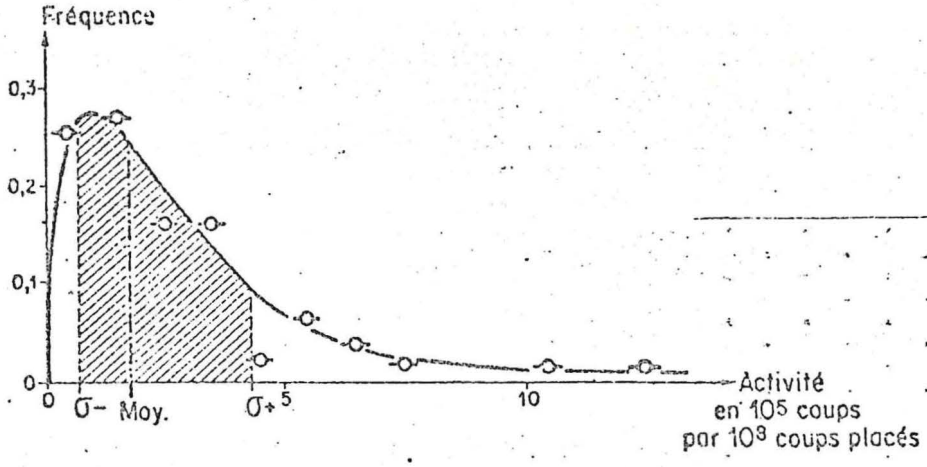


Figure 3a : HISTOGRAMME DES MESURES D'ACTIVITES SUR IRAT 13 A 40 cm
(Phase humide - 63 valeurs)

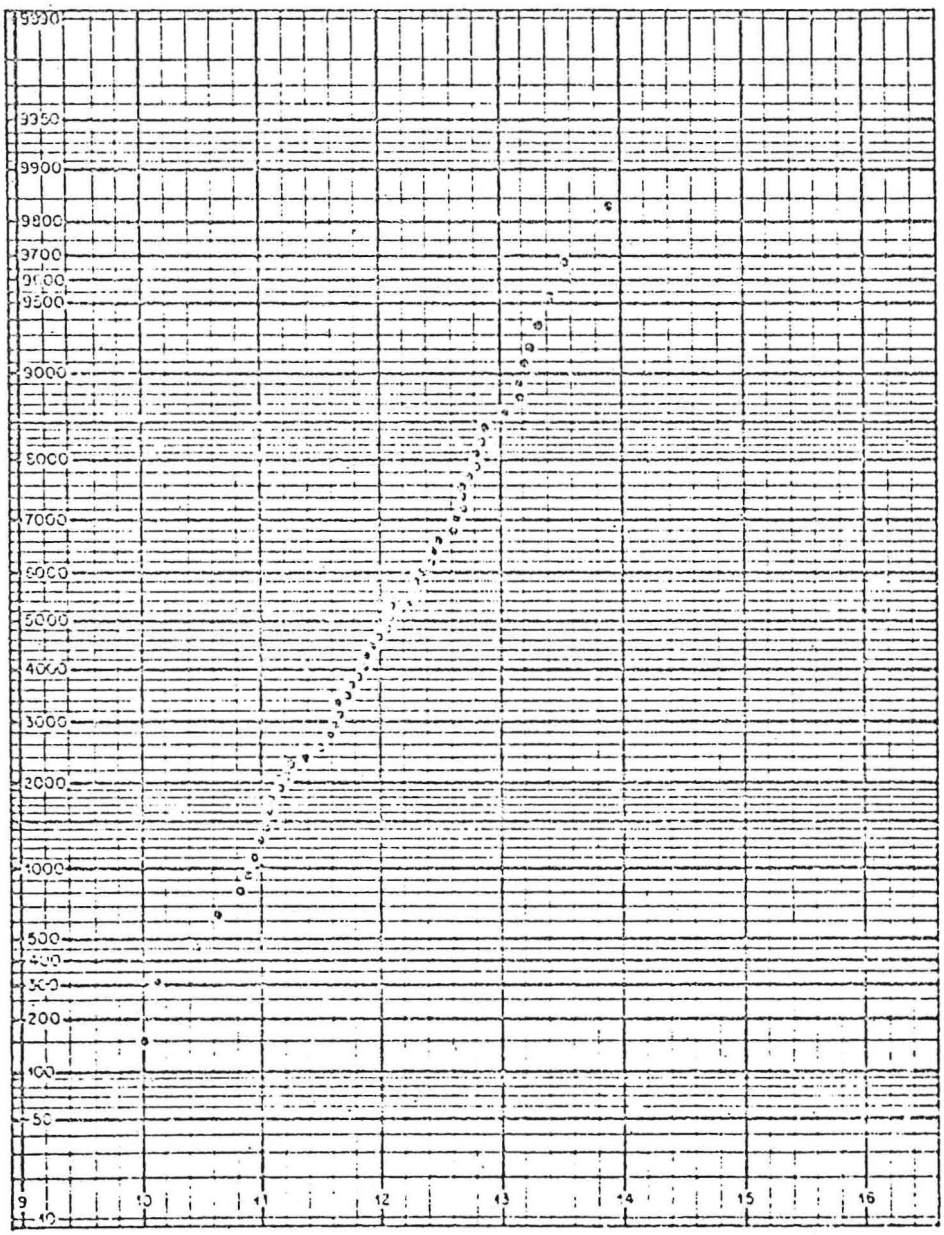
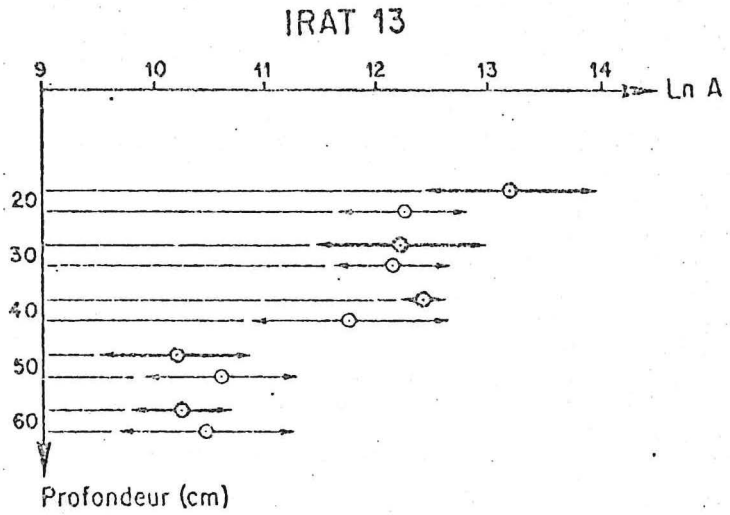
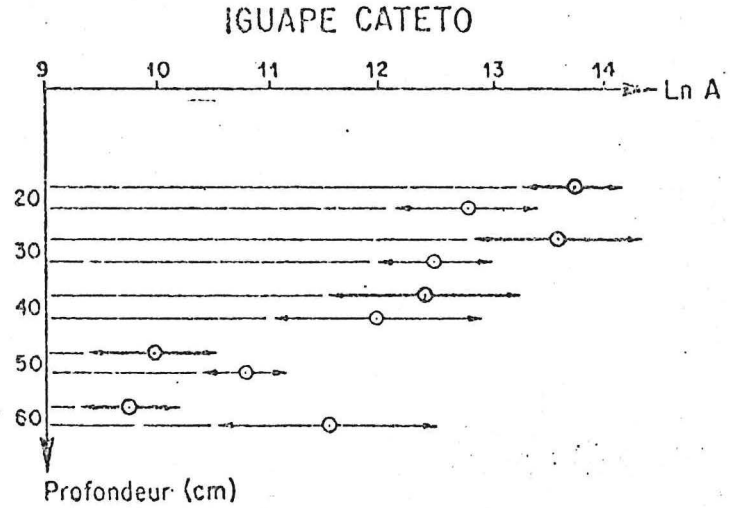


Figure 3b : HISTOGRAMME EN PROBABILITE CUMULEE DES RADIOACTIVITES EN Ln A





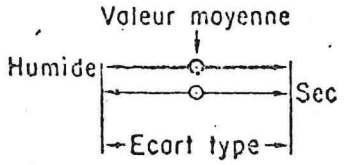


Figure 4 : PROFIL D'ABSORPTION MOYEN

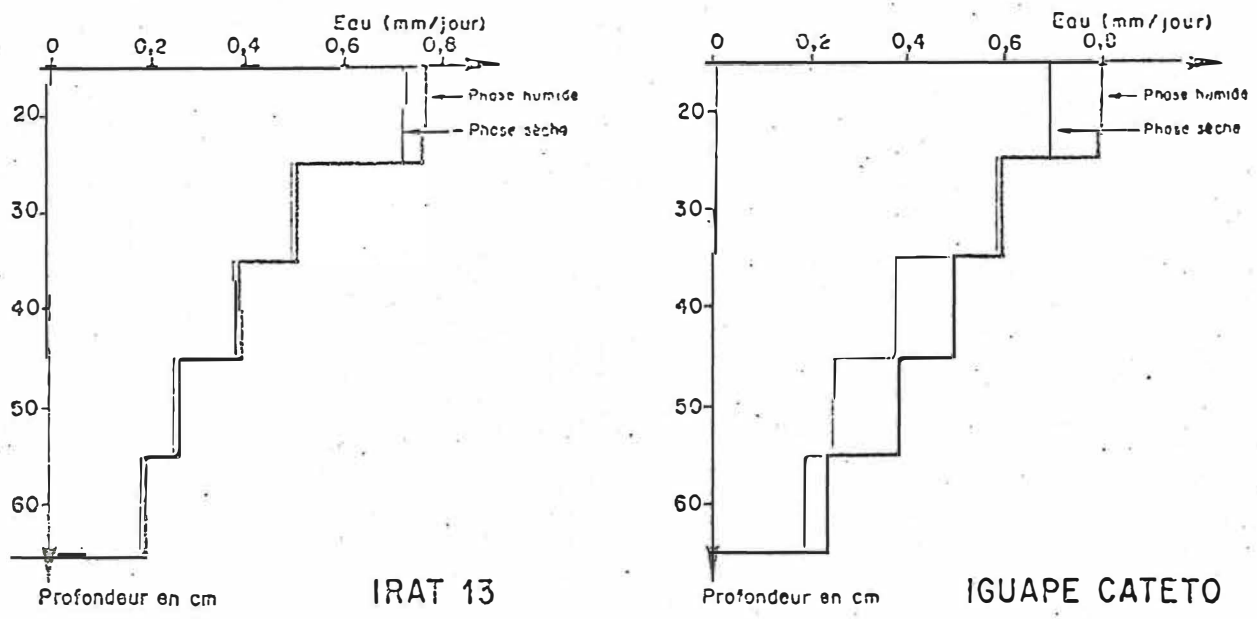


Figure 5a : DIAGRAMMES D'EXTRACTION D'EAU

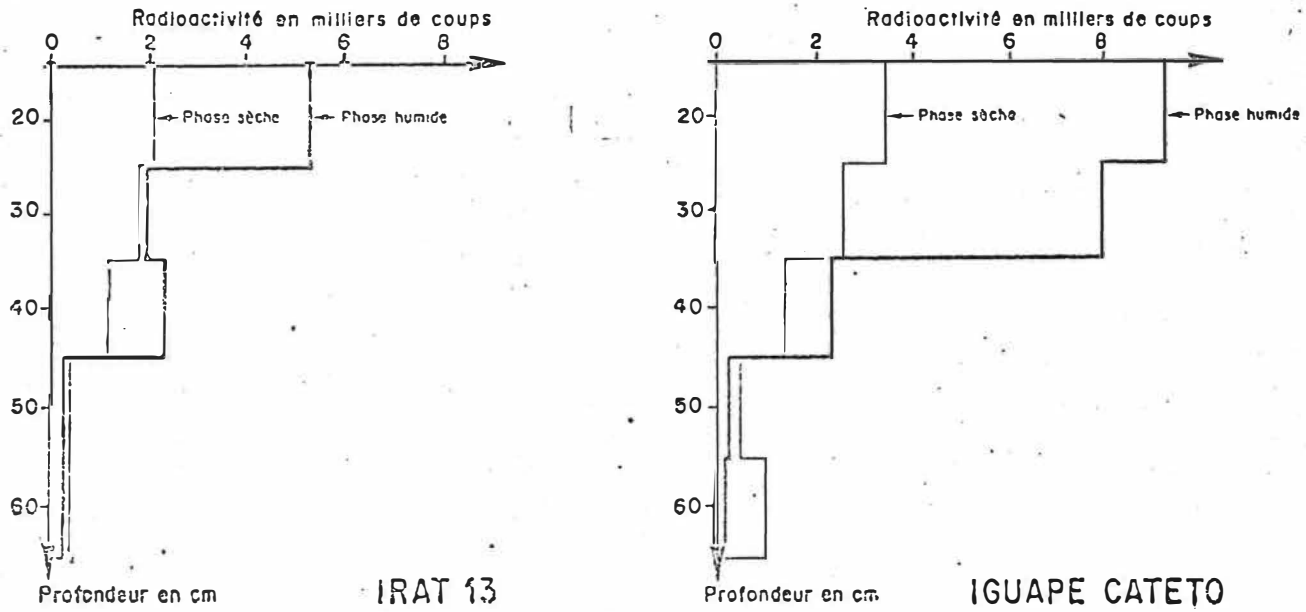


Figure 5b : DIAGRAMMES D'ABSORPTION DU ^{32}P

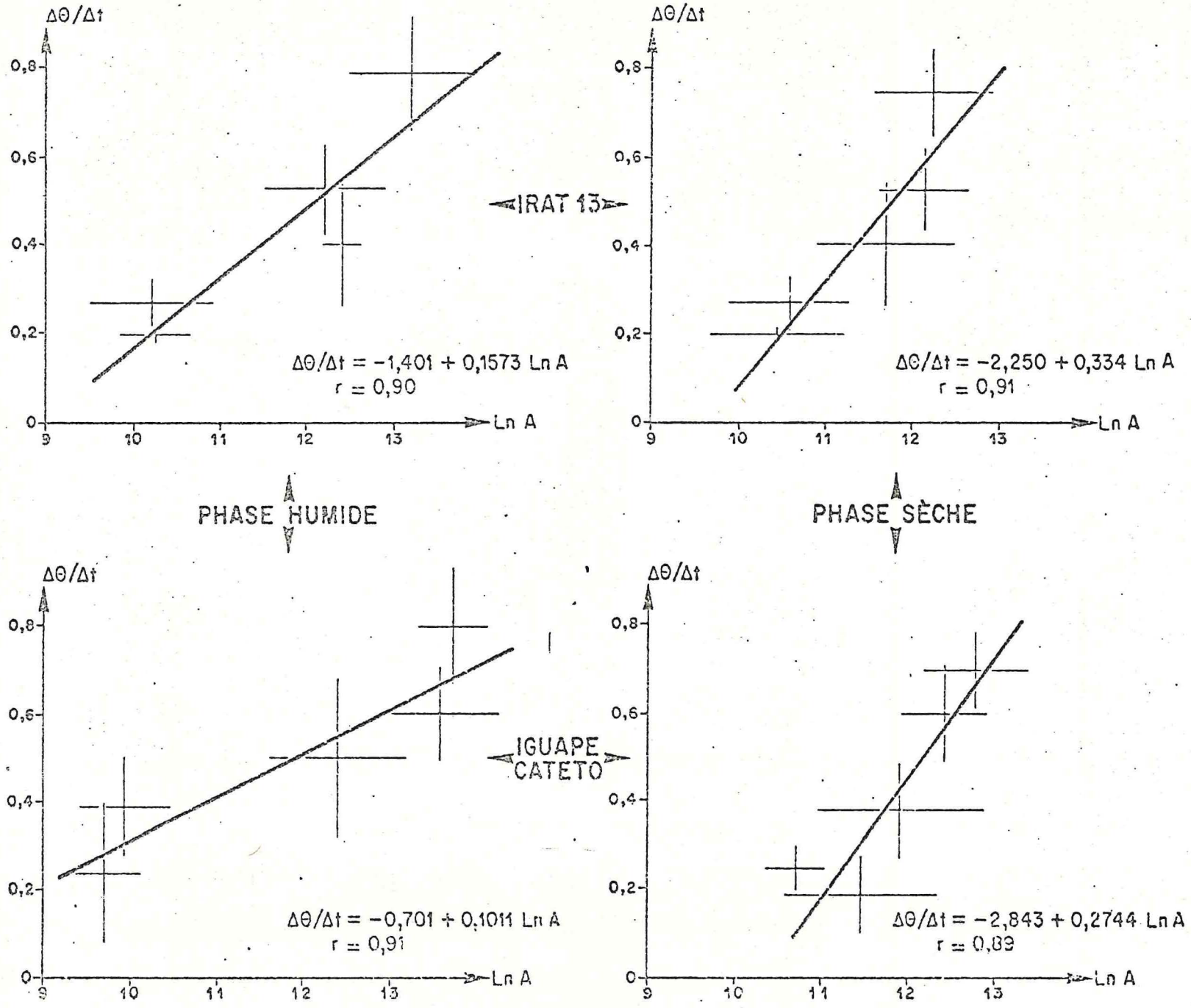


Figure 6 : RELATION ENTRE L'ABSORPTION DE L'EAU ET DU ^{32}P

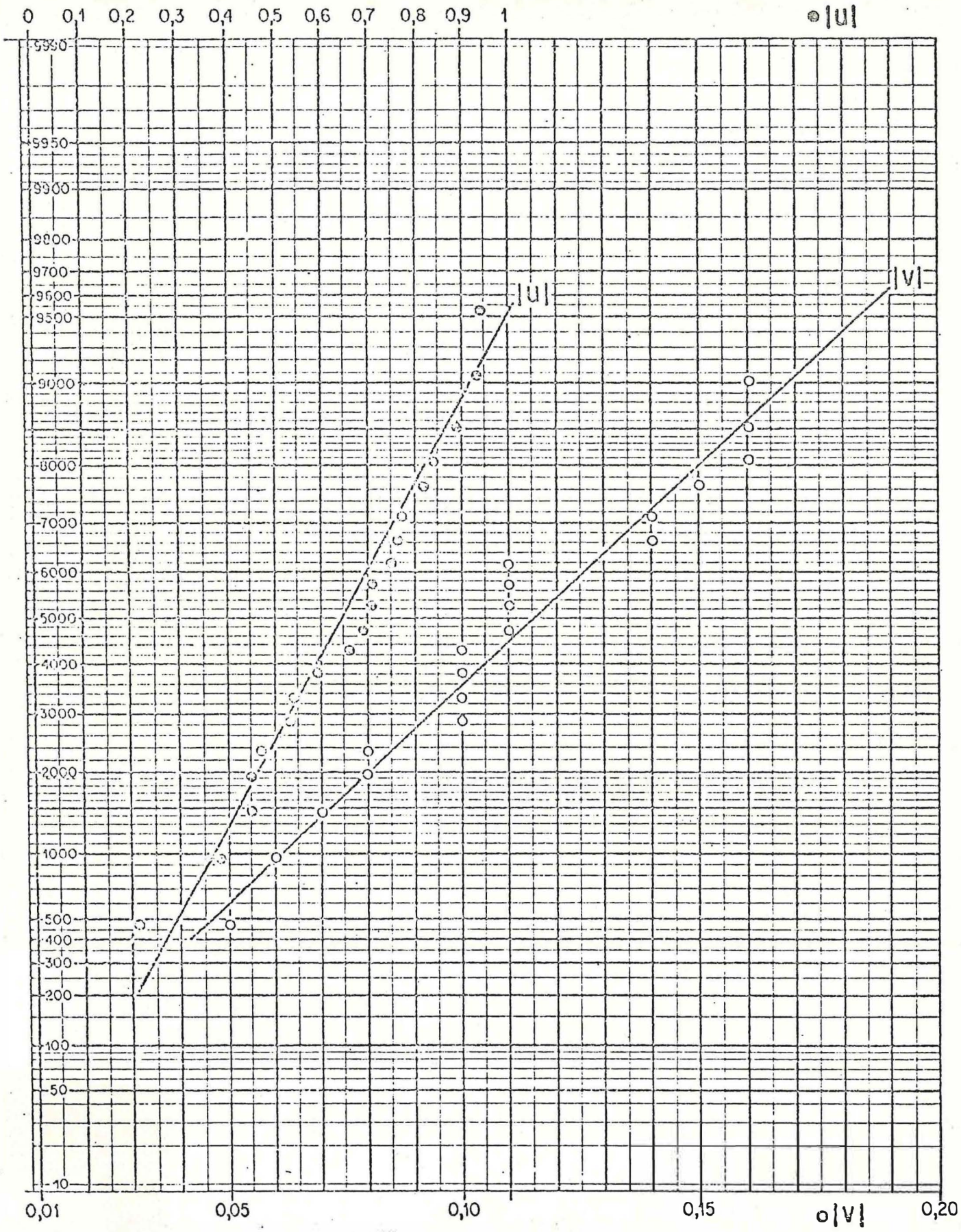


Figure 7 : LOIS DE DISTRIBUTION DES FREQUENCES CUMULEES DES ERREURS