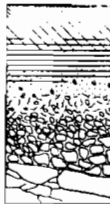


J.Y. LOYER
J.Y. LE BRUSQ
M. CHEVAL

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE
DE L'INFLUENCE
DE LA SALURE CHLORURÉE
DANS LA DÉTERMINATION
DE L'HUMIDITÉ DU SOL
A L'AIDE D'UN HUMIDIMÈTRE
A NEUTRONS



MAI 1984

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCE DE LA SALURE
CHLORUREE DANS LA DETERMINATION DE L'HUMIDITE
DU SOL A L'AIDE D'UN HUMIDIMETRE A NEUTRONS.
J.Y.LOYER-J.Y.LE BRUSQ et M. CHEVAL (Mai 1984)
CENTRE O R S T O M DE DAKAR

RESUME - La proportionnalité entre la quantité de noyaux Hydrogène contenue dans le sol principalement sous forme d'eau, et le taux de comptage de la sonde à neutrons, est remis en question lorsque ce sol contient des éléments chimiques à haut pouvoir d'absorption ; c'est le cas dans la basse vallée du Fleuve Sénégal où les sols et les nappes sont affectés par des phénomènes de salure d'origine marine à dominance chlorurée sodique.

Les atomes de Chlore comparés à ceux d'hydrogène et de la plupart des noyaux constitutifs de la matière du sol, ont une section de capture relativement élevée (33,8 barns contre 0,3 pour l'Hydrogène) ; ils interviennent de ce fait efficacement dans le processus d'interception des neutrons lents thermalisés, et donc sur le taux de comptage de l'humidimètre.

Un dispositif expérimental simple, composé de fûts de 200 litres remplis d'eau ou de sable calibré, a permis de contrôler la réponse d'une sonde SOLO 20, à des concentrations en chlorure croissantes, de 0 à 150 ‰ et ceci pour 5 rapports sol/solution différents ($H_v = 100 \%$, $H_v \approx 25 \%$, $H_v \approx 18 \%$, $H_v \approx 11 \%$, $H_v \approx 6 \%$).

Le taux de comptage résumé est inversement proportionnel à la concentration volumique des chlorures dans le milieu. Les différentes courbes de réponse obtenues, permettent de mesurer l'erreur faite dans la détermination de l'humidité volumique d'un sol chloruré, par rapport à un sol sain. Une bonne corrélation existe entre les courbes expérimentales et théoriques.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE CHLORIDIZED SALINITY
INFLUENCE, IN THE DETERMINATION OF THE SOIL
MOISTURE WITH THE HELP OF A NEUTRON PROBE
J.Y.LOYER-J.Y.LE BRUSQ and M.CHEVAL (May 1984)
ORSTOM'S CENTER OF DAKAR

SUMMARY - The proportionality between the quantity of Hydrogen nucleus contained in the soil, mainly in the form of water, and the counting rate of the neutron moisture probe, changes in the case of salt affected soils ; it's the case in the low valley of the SENEGAL river, where the soils and the ground waters are affected by some phenomena of salinity of marine origin with chloridized sodic dominance.

The Chlorine atoms, in comparison with those of Hydrogen and most of the nucleus constitutives of the soil substance, have a capture section relatively high (33,8 barns, to 0,3 for the Hydrogen) ; thereby they are important in the interception process of the thermalized slow neutrons, and therefore on the counting rate of the humidimeter.

A simple experimental device, composed of tuns of 200 litres, full of water, or of calibrated sand, permitted to control the answer of a probe SOLO 20, for increasing chlorid concentration, from 0 to 150 ‰ and this for 5 different soil/solution relation ($H_v = 100 \%$, $H_v \approx 25 \%$, $H_v \approx 18 \%$, $H_v \approx 11 \%$, $H_v \approx 6 \%$).

The counting rate is in inverse ratio to the chloride quantity contained in the water, and the soil more or less dried. The different answer curves obtained, permit to measure the error done in the determination of the volumic humidity of the chloridized soil with regard to a sound soil. A good correlation is obtained between the experimental and theoretical curves.

1 - INTRODUCTION -

La base de la détermination de l'humidité des sols à l'aide d'un humidimètre à neutrons, repose sur le tracé d'une courbe d'étalonnage, le taux de comptage des neutrons enregistré par le détecteur étant proportionnel à la quantité de noyaux Hydrogène contenus dans le sol essentiellement sous forme de H_2O . Le taux de comptage varie donc, en théorie de façon linéaire, avec l'humidité du sol. Néanmoins, certains facteurs d'interférence interviennent pour modifier cette règle de linéarité et dont les principaux sont : la composition minéralogique du sol, d'où la nécessité d'un étalonnage initial pour déterminer les coefficients spécifiques à chaque type de sol, et le mode d'agencement des particules solides, d'où la nécessité de connaître la densité apparente.

Nous nous attacherons plus particulièrement dans cette note au problème posé par la présence dans le sol de certains facteurs d'interférence parmi lesquels le Chlore joue un rôle prépondérant. Le milieu naturel de la basse vallée du Fleuve Sénégal où a été mis en oeuvre un programme de mesures hydriques à l'humidimètre neutronique est en effet affecté par des phénomènes de salure d'intensité variable. Cette salure, d'origine fossile liée à d'anciennes invasions marines, et aujourd'hui remise en mouvement dans les sols et dans les nappes, est en effet à dominance chlorurée-sodique. Son intensité peut être très élevée puisque certaines conductivités relevées dans les nappes du Delta en particulier, dépassent celles de l'eau de mer.

2 - RAPPEL THEORIQUE -

Dans le cas de réactions nucléaires résultant d'interactions entre deux particules, en l'occurrence des neutrons, sur des particules cibles constituées par les noyaux de la matière du sol, la réponse (nombre de neutrons détecté par une unité de temps), est influencée par la nature du processus qui détermine la vitesse des neutrons incidents, et par la section de capture des particules.

Dans le cas de l'humidimètre à neutrons, il s'agit d'une réaction par énergie thermique : des neutrons rapides émis par la source d'Américium-Beryllium sont ralentis par suite de chocs successifs, et thermalisés ; leur énergie la plus probable est de l'ordre de 0,025 électron-volts.

Les noyaux atomiques constitutifs de la matière du sol interviennent ensuite plus ou moins efficacement dans le processus de capture de ces neutrons lents et donc dans le taux de comptage du détecteur, en fonction de leur capacité d'interception, celle-ci étant déterminée par leur section efficace de capture. Les valeurs connues de ces sections de capture pour les neutrons thermiques sont de l'ordre de 10^{-18} à 10^{-28} cm^2 , et sont exprimées en barn (ou fermi), 1 barn = 10^{-24} cm^2 .

Comparativement à l'Hydrogène qui a une section de capture de 0,3 barn, la surface équivalente du Chlore est relativement élevée, 33,8 barns, et permet une absorption importante de neutrons. En théorie, la présence d'un atome de chlore équivaldrait

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'INFLUENCE DE LA SALURE CHLORURÉE
DANS LA DÉTERMINATION DE L'HUMIDITÉ DU SOL
À L'AIDE D'UN HUMIDIMÈTRE À NEUTRONS

J.Y. LOYER - J.Y. LE BRUSQ et M. CHEVAL - (Mai 1984)

donc à celle de 112 atomes d'Hydrogène, soit à 56 molécules d'eau.

A titre de comparaison, nous donnons (cf. tableau ci-dessous), la surface de capture de certains noyaux par les neutrons thermiques ; certaines sont très élevées mais n'affectent des éléments qui ne se rencontrent qu'exceptionnellement dans les sols.

Eléments	Section de Capture exprimée en Barns pour les neutrons thermiques*
Gadolinium	46.000
64 Cadmium	2 450
Bore	755
Mercure	380
80 Mercure	105
72 Or	98
Lithium	71
Cobalt	38
<u>Chlore</u>	<u>33,8</u>
Scandium	24
<u>Hydrogène</u>	<u>0,332</u>
Carbone	0,0034
<u>Oxygène</u>	<u>0,0002</u>

* Tiré de E. ROTH : Chimie nucléaire appliquée. Masson 1968

3 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL -

Le dispositif de mesure utilisé comprend quatre fûts de 200 litres munis d'un dispositif de vidange à la base :

- trois fûts ont été remplis de sable calibré et équipés d'un tube aluminium central pour la descente de la sonde.
- le quatrième fût, également équipé d'un tube, sert à la mesure dans l'eau.

Diverses solutions de concentrations croissantes en chlorures ont été préparées à partir d'eau de mer et de saumures d'origine marine plus ou moins diluées, et pour chaque concentration la mesure est faite avec une sonde SOLO 20, au centre de chaque fût de façon à ce que la sphère d'influence ne soit pas perturbée par des phénomènes de bordure ; la mesure est répétée 20 fois en temps long :

- . dans l'eau, $H_v = 100 \%$ (humidité volumique).
- . dans le sable plus ou moins ressuyé selon l'importance du dispositif de vidange, ce qui permet d'avoir une gamme de quatre humidités différentes:

$$H_v = 24,4 \%$$

$$H_v = 18,4 \%$$

$$H_v = 11,8 \%$$

$$H_v = 6,6 \%$$

Les mesures étui sont répétées 2 fois en début et 2 fois en fin de comptage. Simultanément, la teneur en chlorure et la conductivité sont mesurées dans le milieu, après extraction de la solution pour le sable.

4 - RESULTATS -

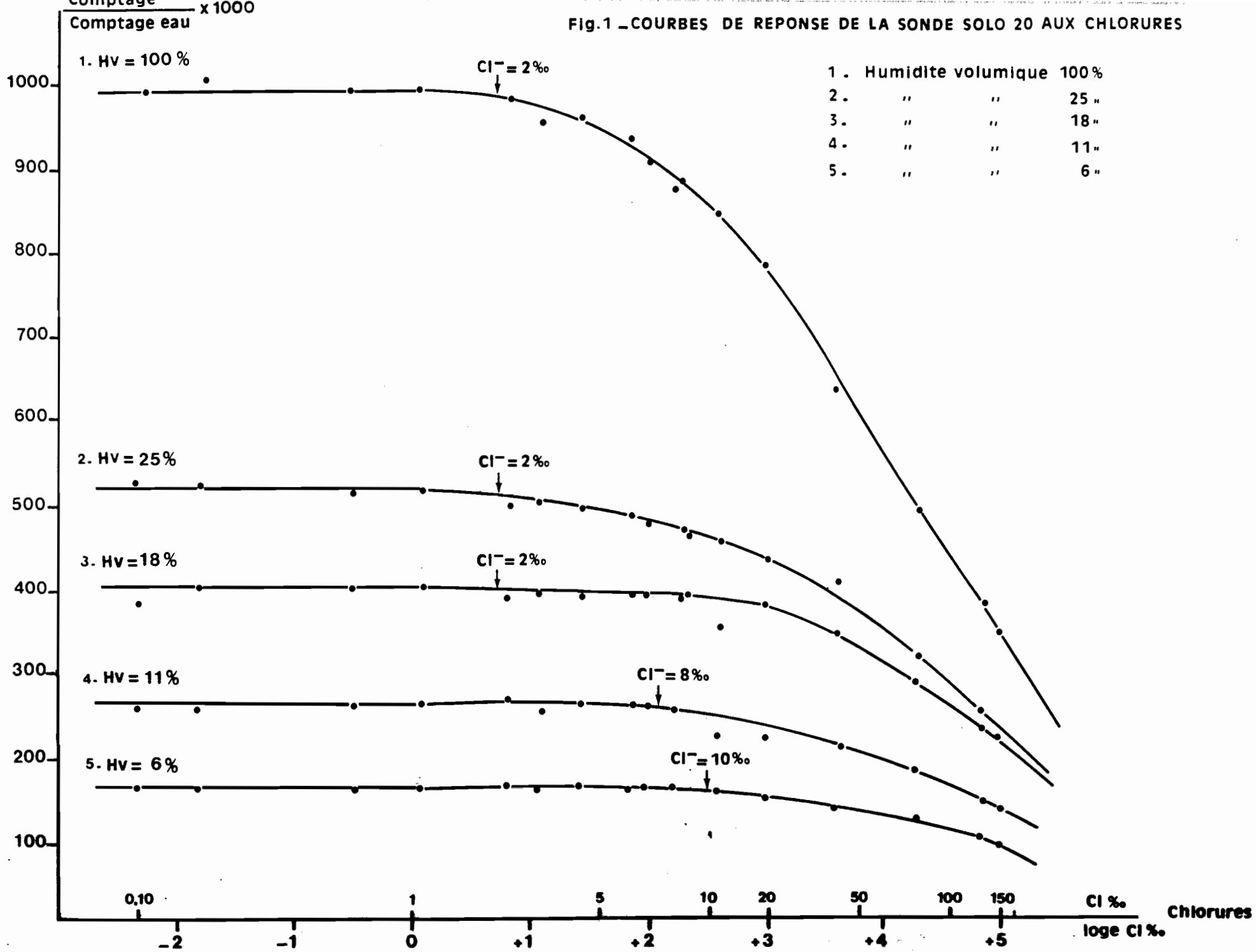
Pour les rapports sol/solution sur lesquels l'expérimentation a été conduite, on a exprimé graphiquement les résultats par le rapport de la mesure sonde sur la mesure étui (moyenne de 20 à 60 données), en fonction du taux de chlorures ‰ de la solution exprimé en logarithmes népériens sur la courbe (cf. graphique et tableau 1).

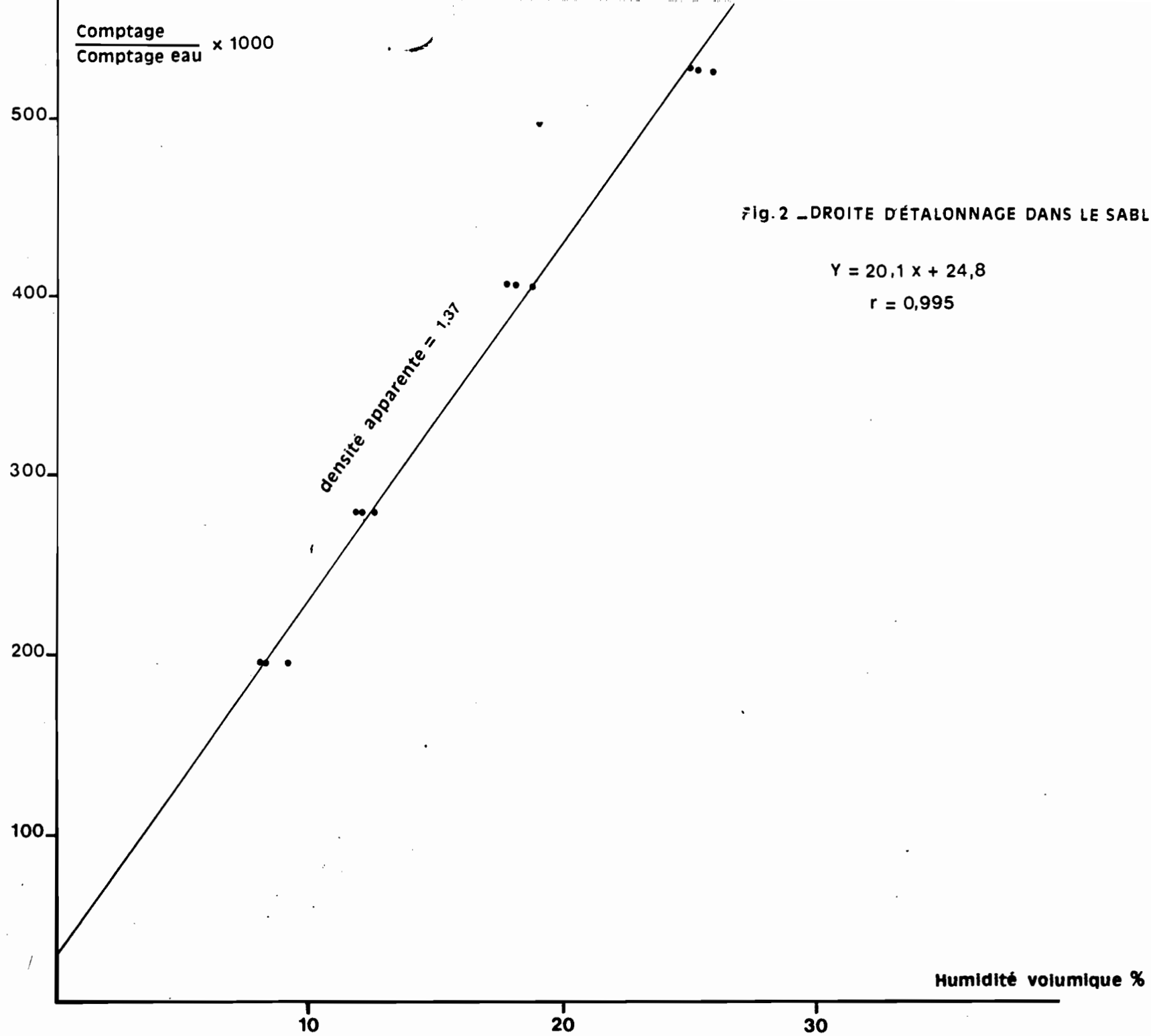
- L'influence des chlorures apparaît d'autant plus grande sur le taux de comptage que le volume de solution est important par rapport au sol ; pour un même taux de chlorures, le pourcentage d'absorption des neutrons est d'autant plus important que l'humidité est plus grande. Ceci est dû au fait que le taux d'absorption des neutrons croît avec la teneur volumique en chlorure, soit le produit (teneur en chlorure de la solution) x (humidité volumique).

Chlorure dans la solution		Conductivité C		Comptage/Comptage eau x 1000				
Cl %	Loge. Cl	Micromhos / cm	Loge. C	Hv = 100 %	Hv = 24,4 %	Hv = 18,4 %	Hv = 11,8 %	Hv = 6,6 %
0,10	- 2,30	854	6,75	999	521	381	381	156
0,17	- 1,77	1140	7,03	1010	515	400	249	153
0,61	- 0,49	2670	7,89	994	512	397	261	158
1,11	+ 0,10	4470	8,40	997	513	398	261	161
2,28	0,82	8180	9,01	988	497	385	267	164
3,0	1,10	11500	9,35	953	500	389	252	161
4,26	1,45	14400	9,57	957	493	366	260	159
6,5	1,87	23600	10,07	935	487	388	260	156
7,5	2,01	27900	10,23	906	473	388	260	161
9,4	2,24	34500	10,45	672	469	381	252	161
9,94	2,3	35400	10,47	882	463	386	(209)	156
13,5	2,6	51000	10,84	848	454	(354)	224	153
20,6	3,03	72200	11,18	786	431	379	221	149
36,5	9,6	117100	11,67	634	409	345	208	133
71,9	4,28	242900	12,40	491	320	289	178	122
129,5	4,86	451200	13,01	383	251	233	143	105
150,0	5,01	490000	13,10	350	237	220	136	90

Tableau n° 1 : Taux de Chlorures et Conductivités des solutions utilisées et moyennes des taux de comptages obtenus aux différents pourcentages d'humidité.

Fig.1 - COURBES DE REPONSE DE LA SONDE SOLO 20 AUX CHLORURES





Cl ‰	Hv = 100 %		Hv = 24,4 %		Hv = 18,4 %		Hv = 11,8 %		Hv = 6,6 %	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,10	0		0		0	0	0	0	0	0
0,17	0		0		0	0	0	0	0	0
0,61	0		0		0	0	0	0	0	0
1,11	0		0		0	0	0	0	0	0
2,28	- 1,1 %	- 1,1 %	- 3,4 %	- 3,6 %	(-2,2) %	2,1 %	0	0	0	0
3,0	- 4,5	- 4,5	- 2,8	3,2	- 1,1	1,1	0	0	0	0
4,26	- 4,1	- 4,1	- 4,3	4,1	- 1,8	0,5	0	0	0	0
6,5	- 6,3	- 6,3	- 5,4	5,7	- 1,5	1,1	0	0	0	0
7,5	- 9,3	- 9,3	- 8,0	- 8,6	- 1,5	1,1	0	0	0	0
9,4	-12,7	-12,7	- 8,9	-10,7	- 3,3	3,8	- 2,3 %	5,4 %	0	0
9,94	-11,6	-11,6	-10,0	-10,5	- 1,8	0,5	-18,8	(30,5)	- 1 %	1,5 %
13,5	-15	-15	-11,7	12,7	-10,0	(10,8)	-13,1	15,2	- 2,8	3,0
20,6	-21,2	-21,2	-16,3	17,2	- 3,7	(3,8)	-14,3	16,9	- 5,6	7,5
36,5	-36,5	-36,5	-20,6	21,7	-12,3	14,1	-19,4	32,2	-15,9	18,2
71,2	-50,8	-50,8	-37,8	39,3	-26,6	29,3	-30,8	35,6	-22,4	27,2
129,5	-61,8	-61,8	-51,3	53,6	-40,8	43,5	-44,5	49,1	-33,6	39,4
150,0	-65,0	-65,0	-53,8	57	-44,2	47,8	-47,4	54,2	-43,0	50,0

Tableau n° 2 : Erreur % sur le taux de comptage (1) et sur l'humidité volumique (2) en fonction du taux de chlorures aux différents rapports sol-solution.

Fig.3 - RELATION ENTRE LE TAUX DE CHLORURES ET LA CONDUCTIVITÉ DE LA SOLUTION

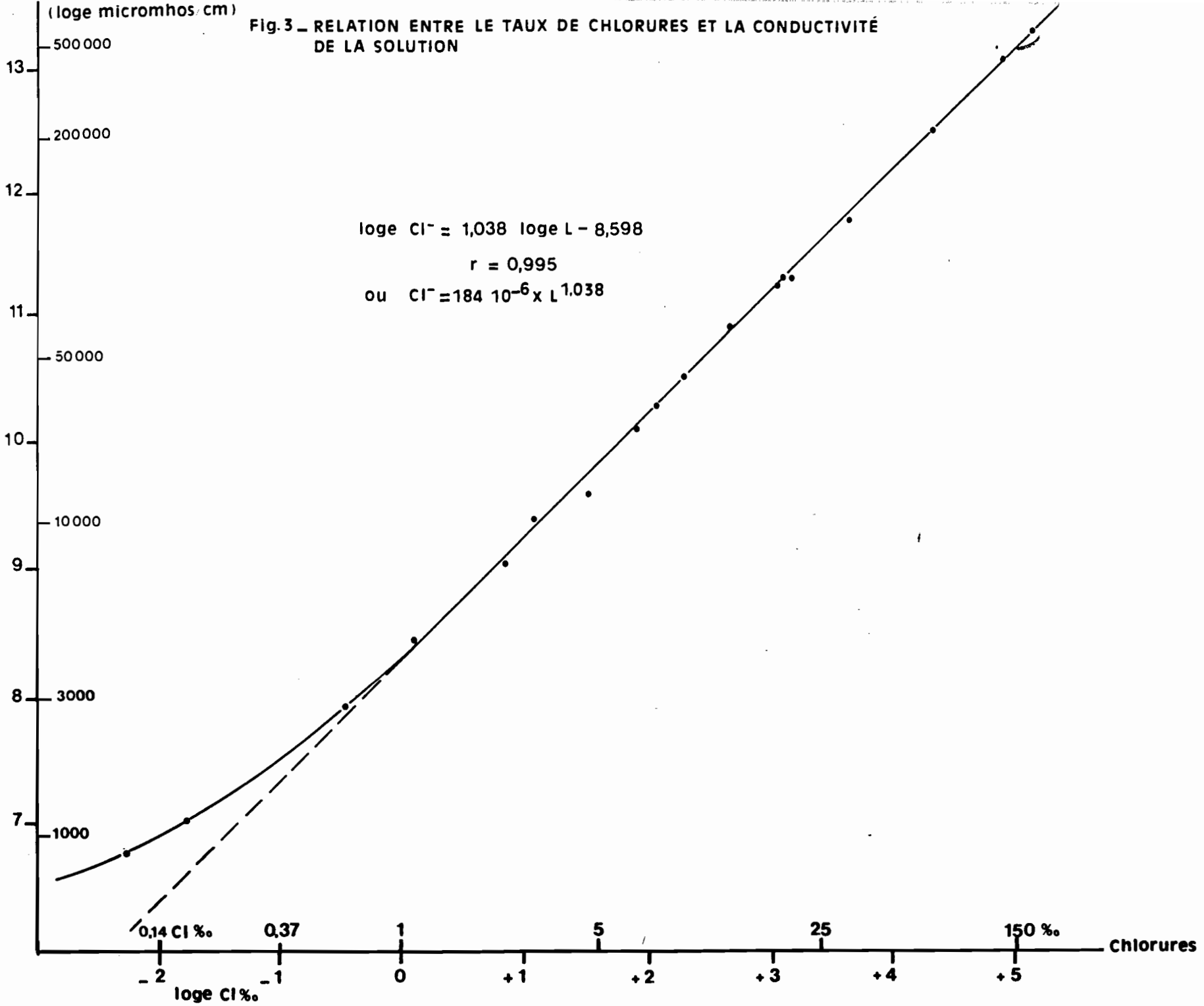
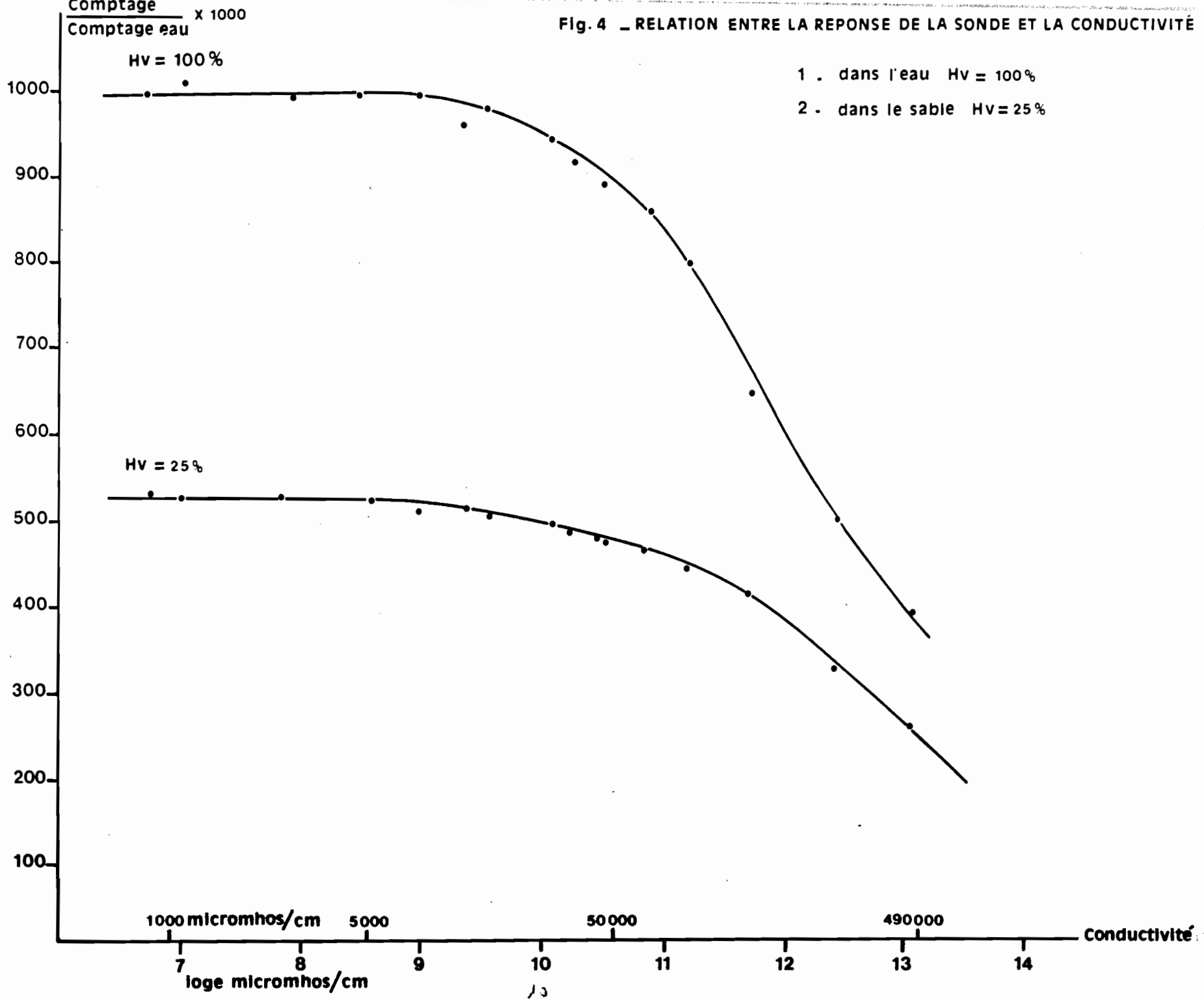


Fig. 4 - RELATION ENTRE LA REPOSE DE LA SONDE ET LA CONDUCTIVITÉ



5 - ESSAI D'INTERPRETATION THEORIQUE DES OBSERVATIONS -

Un modèle théorique simplifié des interactions entre les neutrons émis par la sonde et les noyaux atomiques du sol, est proposé ici.

- Soit N le nombre de neutrons à la vitesse de l'agitation thermique, en circulation dans le sol à un instant donné. Le taux de capture des neutrons, $\frac{dN}{N}$, lorsque ceux-ci parcourent une distance dL , peut être supposé proportionnel à dL , et à la quantité d'atomes de chlore par unité de volume, Cl_v . On néglige les captures par les autres noyaux que ceux de chlore. On a donc :

$$(1) \quad \frac{dN}{N} = - \alpha Cl_v dL \quad \alpha \text{ étant une constante.}$$

- Soit N_0 le nombre de neutrons comptés par le détecteur en l'absence de chlore. Ces neutrons ont parcouru dans le sol une distance D , proportionnelle au libre parcours moyen d'un neutron entre deux interactions successives avec les noyaux. On suppose donc que la "configuration moyenne" du parcours d'un neutron dans le sol, est, à un facteur d'échelle près qui dépend de la densité en noyaux atomiques du milieu, toujours la même. La "configuration moyenne" peut être définie par le nombre moyen d'interactions, l'angle de déviation moyen à chaque interaction, etc..., depuis l'émission du neutron jusqu'à sa détection par l'appareil. Or, on démontre en mécanique statistique, que le libre parcours moyen d'une particule, atome ou molécule, dans un gaz, est inversement proportionnel au nombre de particules par unité de volume du milieu. En acceptant ici ce modèle (cf. article Neutron in Encyclopaedia Universalis), si H est l'humidité volumique du milieu, b une constante dépendant de la densité en noyaux atomiques du sol sec, on a alors :

$$(2) \quad D = \frac{k}{H + b} \quad k \text{ étant une constante}$$

b n'est constant que parce que ici la fraction solide du sol (grain de quartz) n'est pas gonflante à l'eau, contrairement à l'argile.

- La fraction du parcours total D , sur laquelle l'énergie des neutrons est telle qu'ils puissent être absorbés par le chlore, est constante.

Soit L cette fraction. On peut écrire $L = \frac{k'}{H + b}$ avec $k' \ll k$. En intégrant l'équation (1) sur L , on obtient :

$$N = N_0 e^{-\alpha Cl_v L} = N_0 e^{-\frac{\alpha k' Cl_v}{H + b}}$$

En écrivant $a = \alpha k'$:

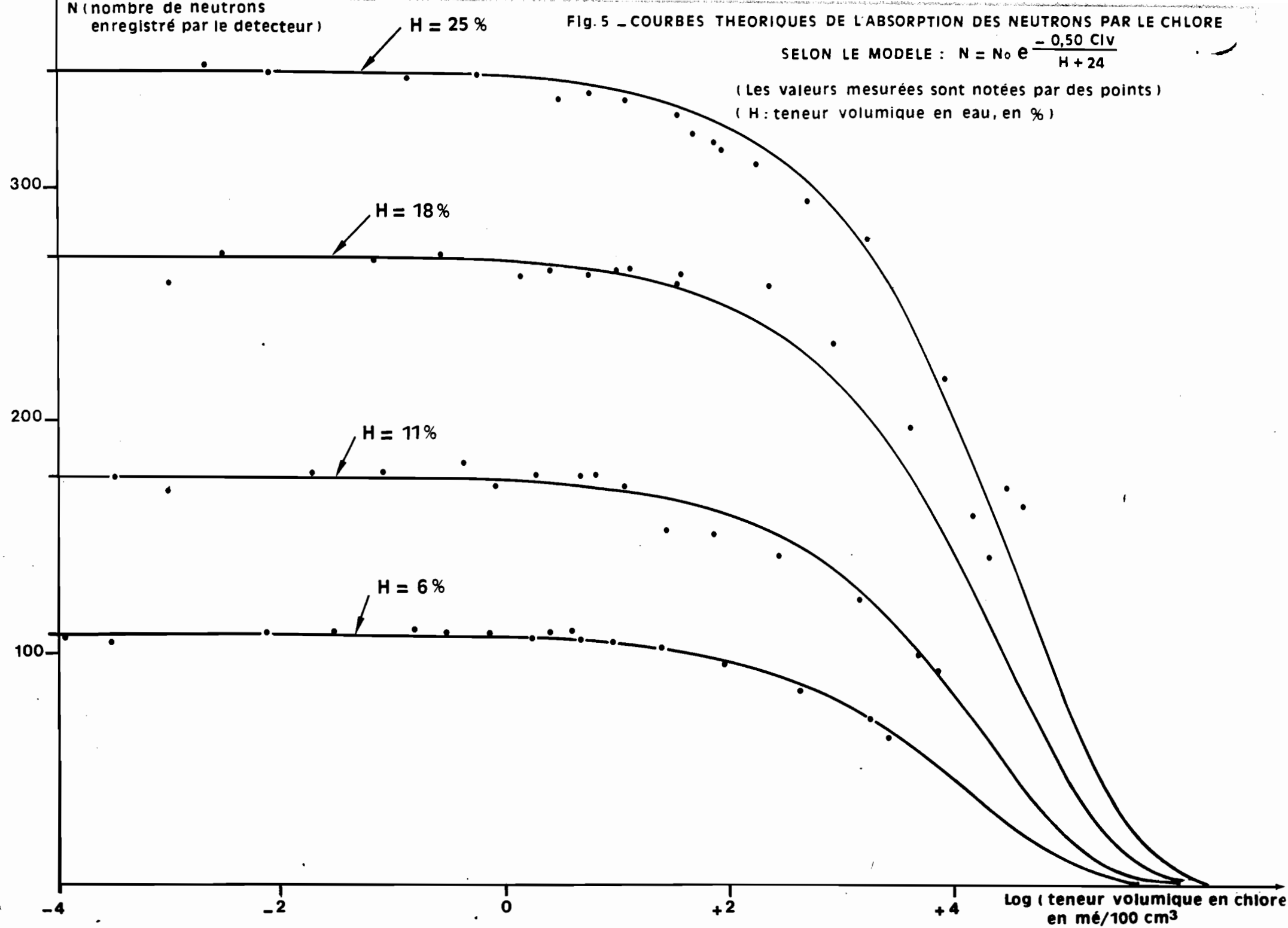
$N = N_0 e^{-\frac{a Cl_v}{H + b}}$

N (nombre de neutrons enregistré par le détecteur)

Fig. 5 - COURBES THEORIQUES DE L'ABSORPTION DES NEUTRONS PAR LE CHLORE

SELON LE MODELE : $N = N_0 e^{-\frac{0,50 C V}{H + 24}}$

(Les valeurs mesurées sont notées par des points)
(H : teneur volumique en eau, en %)



N est le nombre de neutrons comptés par le détecteur, en présence d'une concentration volumique de chlore Cl_v , pour une humidité volumique H, et N_0 le nombre de neutrons détecté en l'absence de chlore ($e^0 = 1$ donc $N = N_0$).

- Les courbes expérimentales obtenues en figurant N en fonction de la teneur volumique en chlore (en mé/100 cm³), pour chaque humidité volumique, permettent de déterminer a et b.

En effet, (3) s'écrit aussi $H = - \frac{a Cl_v}{\log_e N/N_0} - b$;

On porte sur un graphique H en fonction de $\frac{Cl_v}{\log_e N/N_0}$

On obtient une droite d'ordonnées à l'origine - b, de pente - a.

Nous avons ainsi estimé $a = 0,5$ et $b = 24$, ce qui a permis de tracer les courbes théoriques d'équation $N = N_0 e^{-\frac{0,5 Cl_v}{H + 24}}$ figurant sur le graphique ci-après. L'accord entre les valeurs théoriques (courbes continues) et les valeurs expérimentales (points) nous a paru bon, compte tenu des incertitudes expérimentales sur H, Cl_v et N et des simplifications du modèle théorique. Le modèle montre également que l'influence des chlorures sur le comptage ne dépend pas uniquement de la teneur volumique en chlore, mais aussi de l'humidité volumique du milieu.
