

J.P. MONTOROI
P. ZANTE

ETALONNAGE D'UNE SONDE NEUTRONIQUE EN MILIEU CHLORURE



MARS 1989

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

— CENTRE DE DAKAR-HANN —



ETALONNAGE D'UNE SONDE NEUTRONIQUE

EN MILIEU CHLORURE

par J.P. MONTROI et P. ZANTE (1)

Résumé:

Une démarche originale est proposée pour étalonner une sonde neutronique dans un sol affecté par une salinisation d'origine marine. L'étalonnage est réalisé pour deux tubes d'accès de nature différente.

La gamme de salinité rencontrée ne permet pas de conclure qu'il n'y a aucune influence des chlorures sur les paramètres d'étalonnage.

Une sonde gamma-densimétrique est employée pour la détermination de la densité sèche du sol et est également étalonnée pour chacun des tubes.

Mots-clés:

Humidimétrie neutronique, sonde gamma-densimétrique, étalonnage, salinité, Casamance, Sénégal.

(1) ORSTOM, BP 1386, Dakar-Hann, Sénégal.

INTRODUCTION

L'utilisation d'une sonde neutronique de profondeur dans un milieu fortement salé nécessite quelques précautions notamment lors de l'établissement des courbes d'étalonnage. En effet, la diffusion des neutrons thermiques dans le sol peut être fortement réduite en présence d'éléments à fort pouvoir d'absorption énergétique tels le bore et le chlore.

Plusieurs tentatives d'étalonnage en milieu contrôlé sur cylindres de sol ont échoué à cause d'un milieu imparfaitement homogène du point de vue salinité et de trop faibles variations d'humidité.

Nous rapportons dans les lignes qui suivent les résultats d'une nouvelle démarche mise en oeuvre directement sur le terrain.

MATERIELS ET METHODES

Dans le cadre des études hydro-pédologiques menées dans la vallée de Katouré située à 10 km au sud de Ziguinchor (fig. 1), un parcellaire de 8 ha, disposé en aval d'un barrage anti-sel, fait l'objet d'expérimentations plus détaillées notamment en matière de variabilité spatiale de plusieurs paramètres physiques et chimiques du sol (BOIVIN, 1987).

D'après ces travaux, P. BOIVIN a localisé un transect orienté nord-sud et perpendiculaire au cours du marigot envahi régulièrement par les eaux marines. Les mesures effectuées au conductivimètre électromagnétique laissent supposer l'existence d'un gradient de salinité (fig. 2); les teneurs en eau s'élèvent à mesure qu'on se rapproche du marigot (fig. 3). Ceci rend possible un étalonnage neutronique de la sonde NARDEUX (type SOLO 20).

Cet étalonnage "in situ" consiste à établir, pour un certain niveau de salinité, pour un certain type de tube d'accès et à une certaine profondeur, une relation entre le comptage neutronique et l'humidité d'un volume de sol. La détermination de ce dernier paramètre nécessite en outre la connaissance de la densité sèche du matériau à la même cote de mesure. Elle est réalisée grâce à l'usage d'une sonde gamma-densimétrique CAMPBELL (type CPN 502) prêtée par l'Institut Sénégalais de la Recherche Agricole. Un étalonnage spécifique de cette sonde s'est révélé indispensable, car l'emploi de tubes d'accès de nature différente du tube standard, pour lequel la sonde est calibrée, est susceptible de modifier les conditions standards.

réduits des tubes standard, aluminium et PVC.

Les corrélations linéaires sont les suivantes:

$$R_s = 1.0571 * R_a - 0.1728 \quad r = 0.959 \quad (\text{fig. 4})$$

$$R_s = 1.0785 * R_p - 0.3635 \quad r = 0.962 \quad (\text{fig. 5})$$

Ces équations de passage d'un tube à l'autre sont reportées dans la courbe constructeur:

* pour le tube aluminium:

$$D_{ha} = - \text{Ln}((1.0571 * R_a + 1.0980) / 9.97) / .4948$$

* pour le tube PVC:

$$D_{hp} = - \text{Ln}((1.0785 * R_p + 0.9073) / 9.97) / .4948$$

Le tube aluminium 42/45 mm affectant peu les comptages par rapport au tube dural 38/41 mm, l'équation standard pourrait lui être directement appliquée. Cependant nous avons toujours effectué les calculs en employant son équation de passage.

2. Etalonnage neutronique pour différents types de tube d'accès.

A partir des mesures de densité humide D_h et de teneur en eau pondérale H_p , nous déterminons pour chaque tube la densité sèche par la relation:

$$D_{si} = D_{hi} / (1 + H_p) \quad i \text{ représente le tube aluminium ou PVC.}$$

Les valeurs obtenues sont rassemblées dans le tableau 3.

L'humidité volumique s'obtient alors à chaque cote de mesure par l'expression:

$$H_{vi} = H_p * D_{si}$$

Pour chaque tube, les couples (H_{vi}, N_{ci}) sont reportés sur les figures 6 et 7. L'ajustement linéaire donne les expressions suivantes pour l'ensemble des 80 points de mesure:

* pour le tube aluminium:

$$H_{va} = 0.5855 * N_{ca} - .01766 \quad r = 0.971 \quad (\text{fig. 6})$$

* pour le tube PVC:

$$H_{vp} = 0.5503 * N_{cp} - .00887 \quad r = 0.977 \quad (\text{fig. 7})$$

Les coefficients de régression étant très satisfaisants et la gamme d'humidité suffisamment étendue, ces relations semblent être représentatives d'un matériau homogène.

3. Influence de la teneur en chlorures.

La droite d'étalonnage $Hv = f(Nc)$ étant satisfaisante plusieurs hypothèses sont alors envisagées:

- * les mesures effectuées au conductivimètre électromagnétique ne reflètent pas l'état de salinité du sol,

- * ces mesures indiquent des teneurs en sels trop faibles pour modifier les mesures neutroniques,

- * la méthode utilisée ne permet pas de mettre en évidence l'influence de la salure sur les mesures neutroniques.

Les mesures de la conductivité de la solution du sol sur extrait 1/5, effectuées au laboratoire, montrent qu'il existe bien un gradient de salure le long du transect et selon la profondeur. Cependant, le domaine maximal de variation va de 100 à 1500 μ Siemens (fig. 9).

Les relations recherchées entre les comptages neutroniques et la conductivité sur extrait 1/5 pour l'ensemble des 80 points de mesure ne sont pas significatives (fig. 10). Par contre, l'analyse des données pour chacune des profondeurs de mesure indique une possible relation à 30 et 50 cm, et l'absence de relation à 70 et 90 cm. Or, c'est à ces deux derniers niveaux que les teneurs en sel sont les plus importantes (fig. 11).

La figure 8 montre bien que l'augmentation de l'humidité le long du transect en direction du marigot se produit essentiellement à 30 et 50 cm. On peut donc considérer, à 70 et 90 cm, que les relations comptages neutroniques-CE 1/5 sont établies, pour les 40 points concernés, à humidité constante (fig. 11).

CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette expérimentation permettent de dégager les points suivants:

- les teneurs en sel rencontrées sur ce transect (<1500 μ S) sont insuffisantes pour influencer sur les mesures neutroniques, car il n'existe pas de relation comptage-CE 1/5 à humidité constante.

- l'utilisation du conductivimètre électromagnétique à lui seul reflète non seulement l'état de salinité du sol mais aussi ses variations hydriques. Elle n'est donc pas appropriée sans un contrôle préalable de la salinité au laboratoire.

Néanmoins, la démarche employée semble prometteuse et se doit d'être renouvelée en considérant une gamme de salinité plus étendue.

BIBLIOGRAPHIE

- BOIVIN P., TOUMA J., ZANTE P., 1988.
Mesure de l'infiltrabilité par la méthode du double anneau. I. Résultats expérimentaux. (soumis à publication).
- BOIVIN P., ZANTE P., 1987.
Katouré. Etude Müntz. Rapport de campagne. Multigr. ORSTOM/Dakar, 19 p. + annexes.
- VACHAUD G., LATY R., VAUCLIN M., CHAABOUNI Z., EL AMAMI S., 1983.
La station hydroclimatologique du Mornag. N°4: Etalonnage de sondes de mesure d'humidité et de densité type CPN 501B. Multigr., CRGR/Tunis, IMG/Grenoble.
- SEDITECH S.A.
Notice d'emploi: la sonde de profondeur type 501/B.

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1: Plan de situation.
- Fig. 2: Mesures de la salinité au conductivimètre électromagnétique sur le transect (d'après P. BOIVIN).
- Fig. 3: Evolution de l'humidité pondérale à différentes cotes de mesure sur le transect (d'après P. BOIVIN).
- Fig. 4: Relation comptage avec tube standard - comptage avec tube aluminium.
- Fig. 5: Relation comptage avec tube standard - comptage avec tube PVC.
- Fig. 6: Relation teneur en eau volumique - comptage neutronique pour un tube aluminium.
- Fig. 7: Relation teneur en eau volumique - comptage neutronique pour un tube PVC.
- Fig. 8: Evolution de la teneur en eau sur le transect.
- Fig. 9: Evolution de la conductivité électrique sur extrait 1/5 sur le transect.
- Fig. 10: Relation comptage neutronique - conductivité électrique sur extrait 1/5.
- Fig. 11: Relation comptage neutronique - conductivité électrique sur extrait 1/5 aux différentes cotes de mesures.

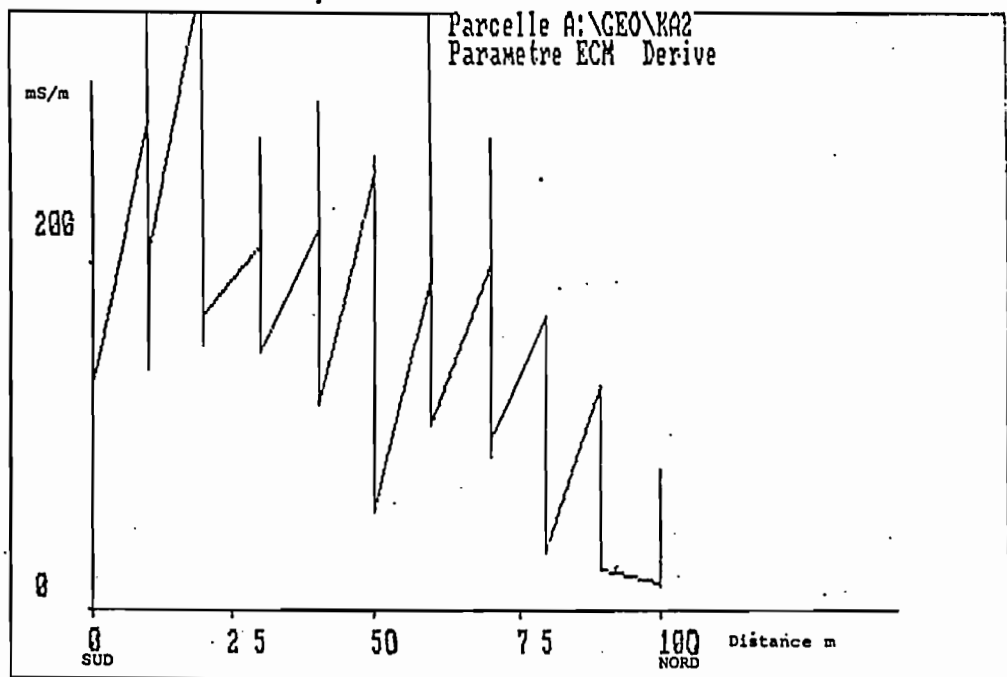


Fig. 2 : Mesures au conductivimètre électromagnétique.

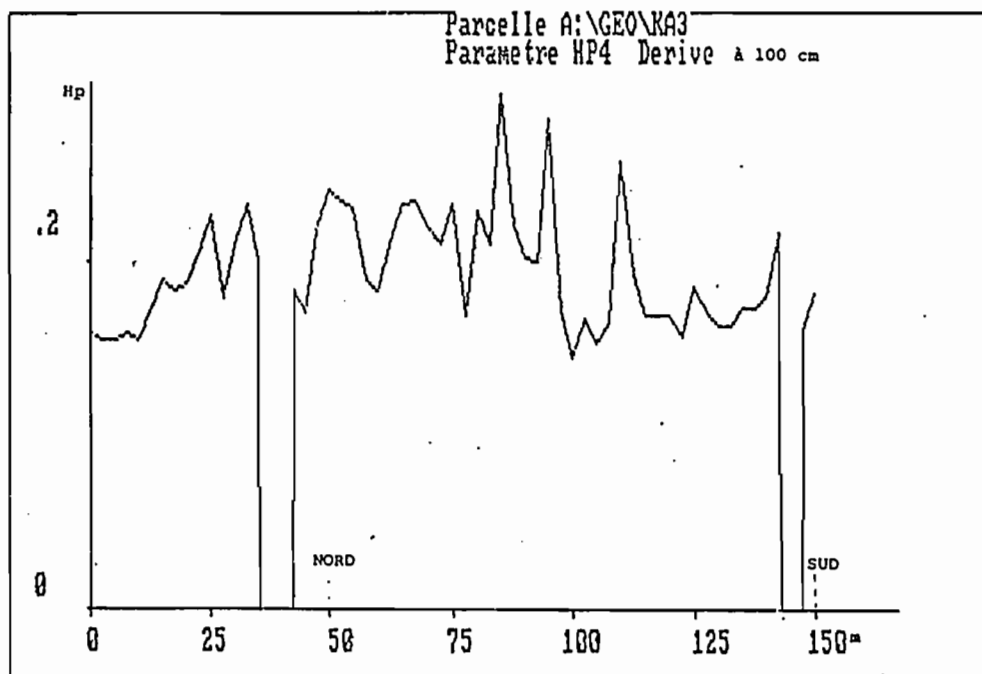
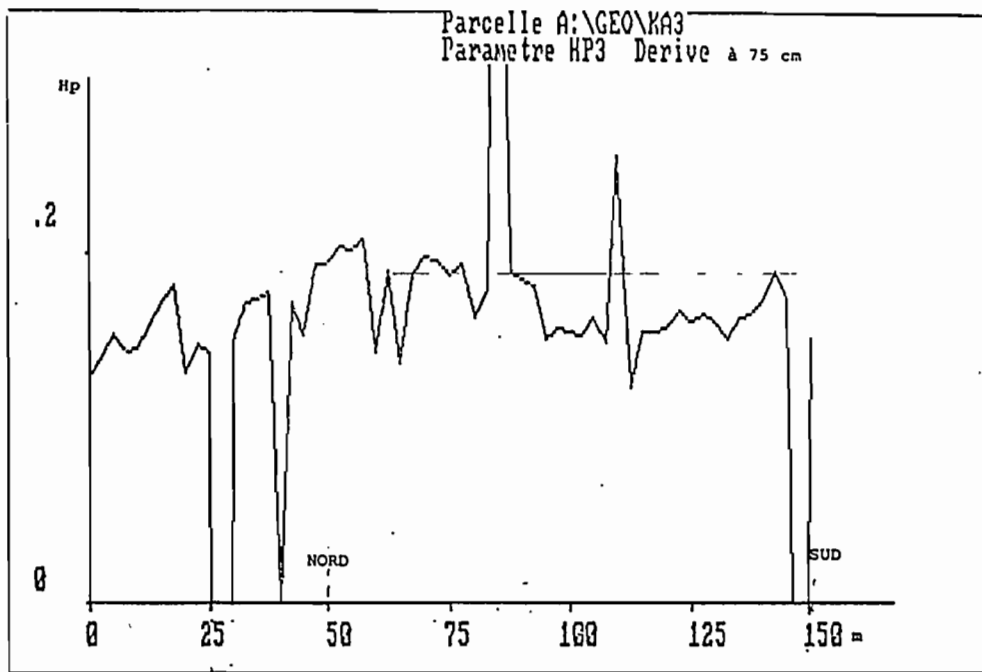


Fig. 3b : Humidité à 75 et 100 cm.

Fig. 4 - Relation entre les comptages standard
et les comptages avec tube alu.

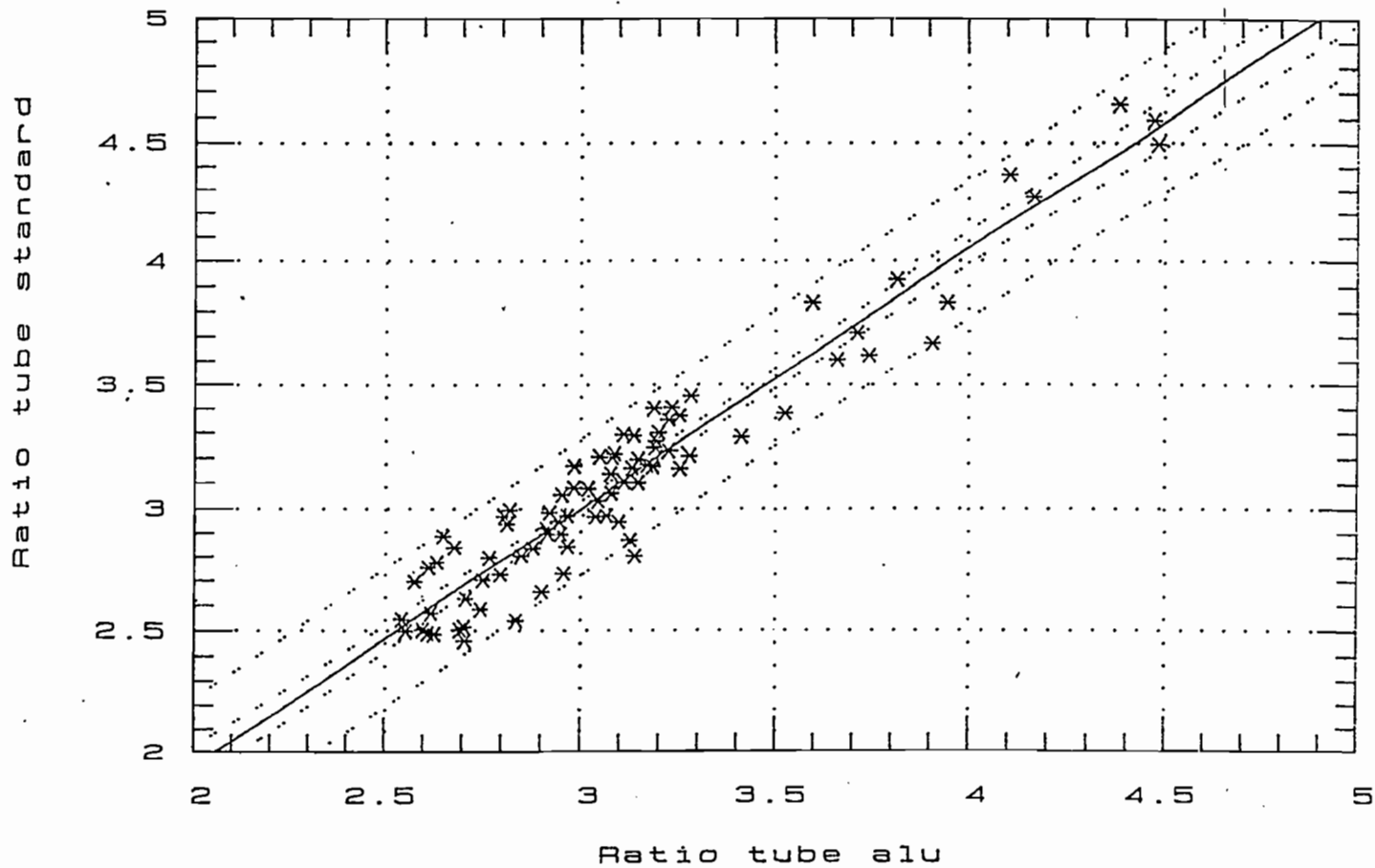


Fig. 7 - Etalonnage de la sonde neutronique
Tube PVC - Site de KATOURE

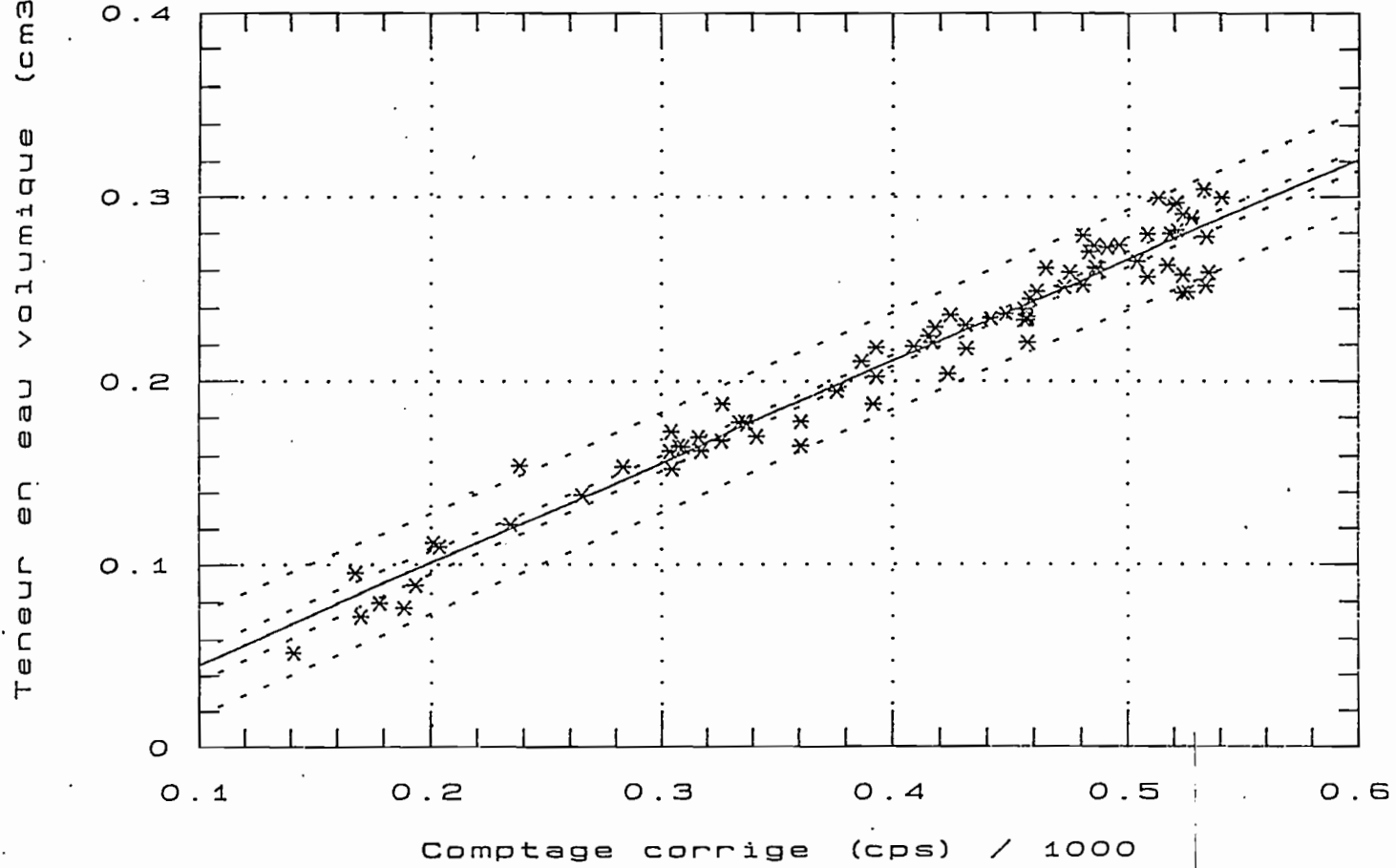


Fig. 8 - TENEUR EN EAU SUR LE TRANSECT
Site de KATOURE (1/4/88)

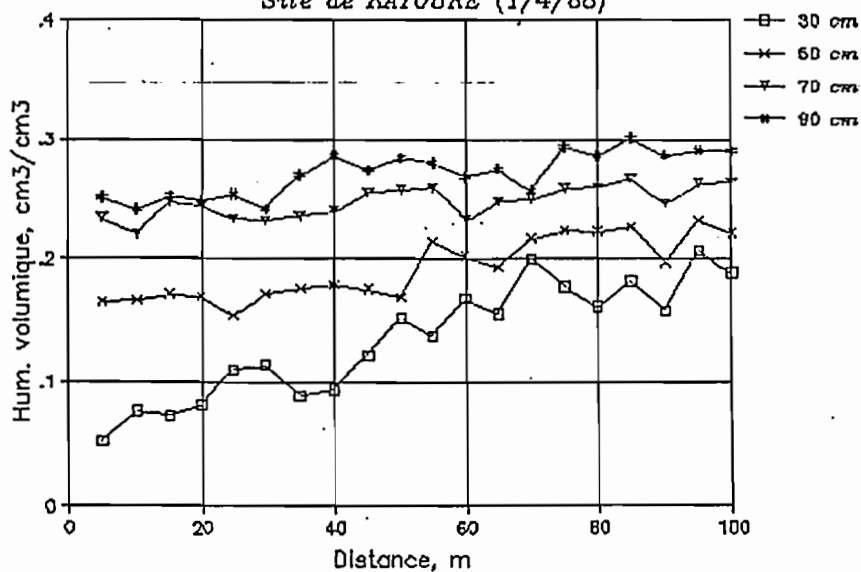


Fig. 9 - CE 1/5 SUR LE TRANSECT
Site de KATOURE (1/4/88)

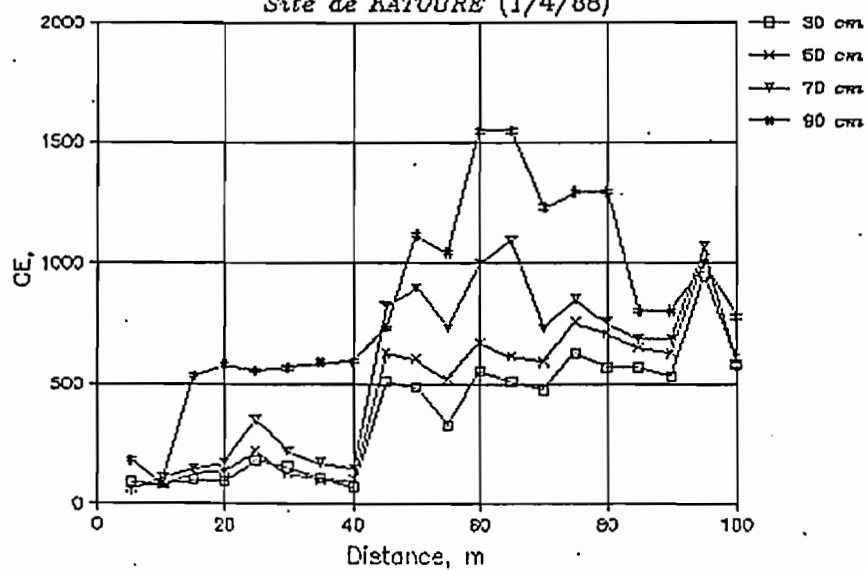


Fig. 10 - RELATION COMPTAGE-CE EXTRAIT 1/5
Site de KATOURE

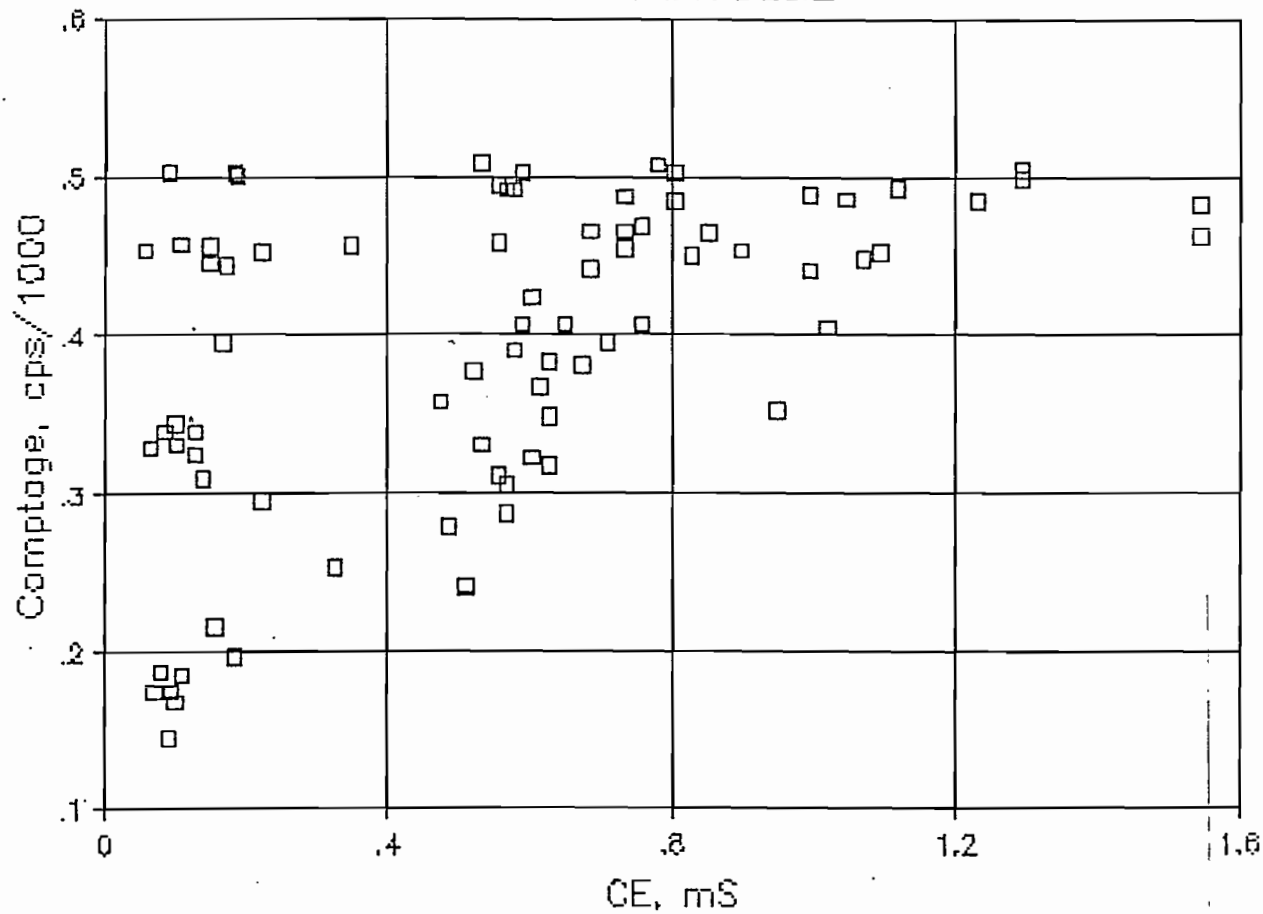
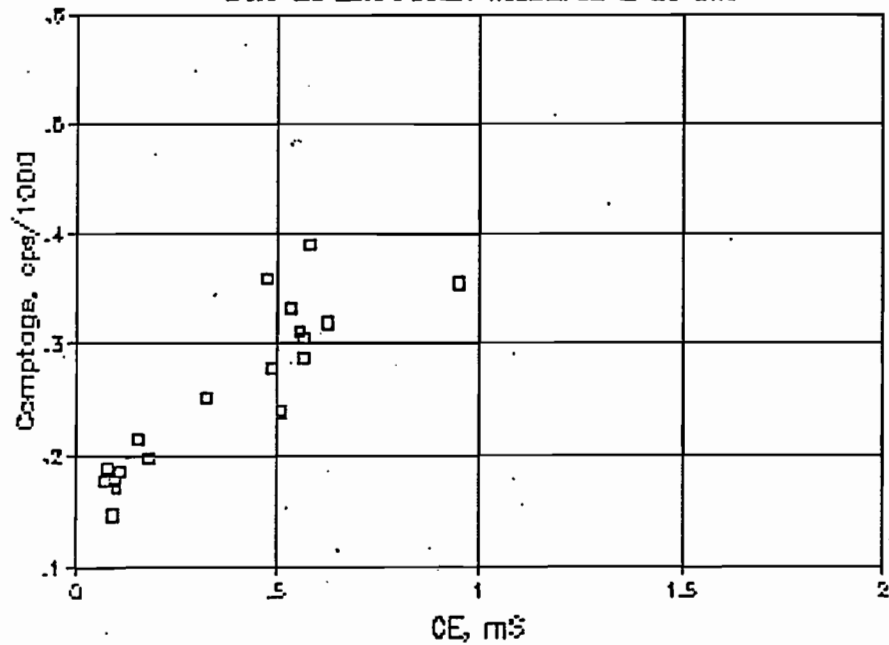
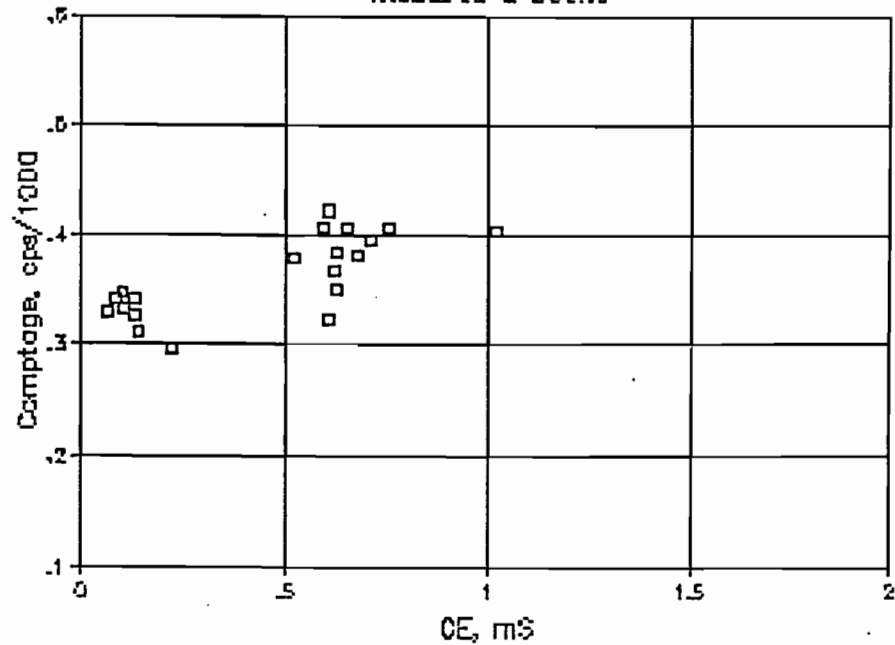


Fig. 11 - RELATION COMPTAGE-CE EXTRAIT 1/5

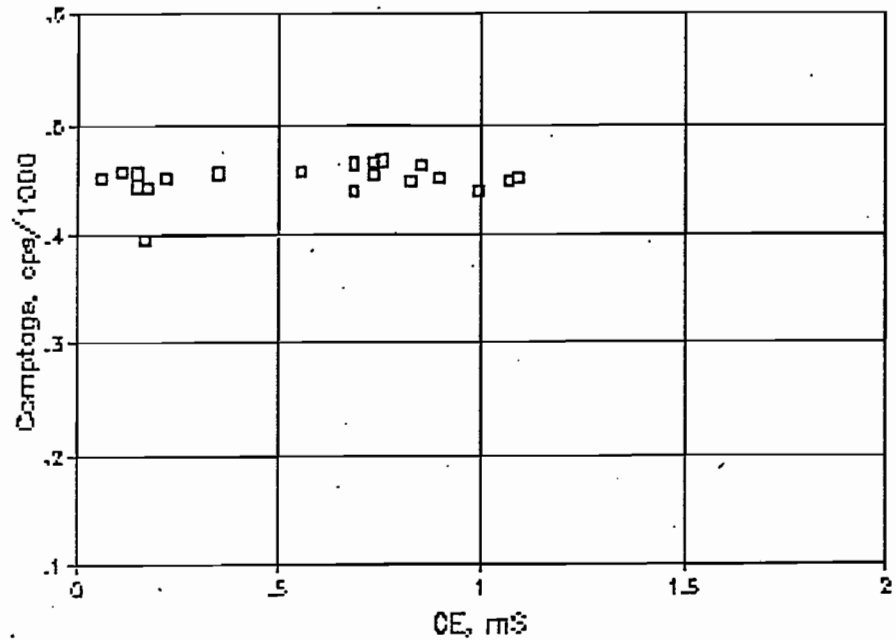
Site de KATOURE: mesures à 30 cm



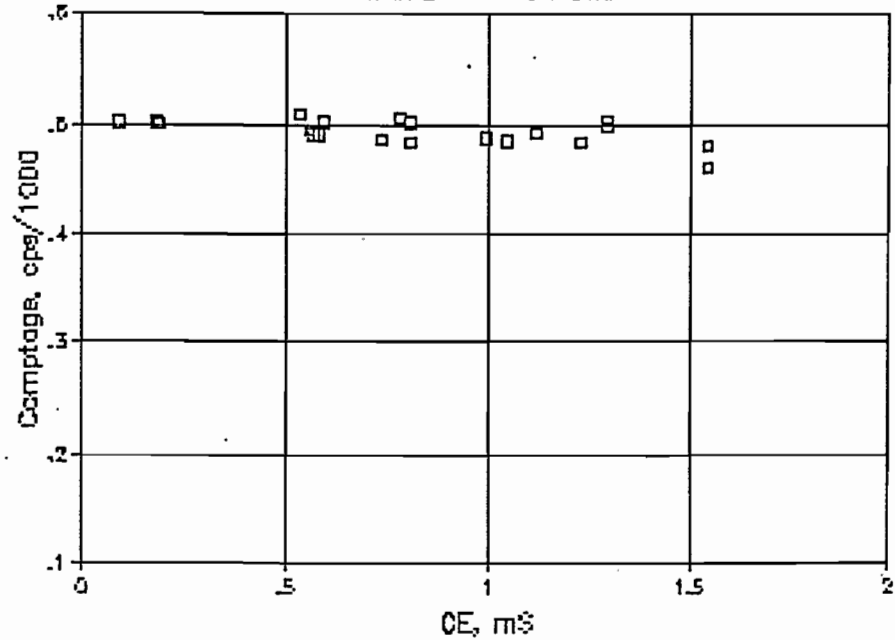
R
mesures à 50 cm



R
mesures à 70 cm



R
mesures à 90 cm



A N N E X E S

TAB. 3 DENSITES APPARENTES ET HUMIDITES VOLUMIQUES

Transect de KATOURE

Pfd cm	Hp	DHa	DSa	Hva	DHp	DSp	Hvp
20-40	.034	1.592	1.5397	.0523	1.5987	1.5461	.0526
40-60	.1	1.7988	1.6353	.1635	1.7865	1.6241	.1624
60-80	.14	1.9084	1.674	.2344	1.9168	1.6814	.2354
80-100	.165	1.7759	1.5244	.2515	1.7594	1.5102	.2492
20-40	.05	1.6064	1.5299	.0765	1.6106	1.5339	.0767
40-60	.099	1.8313	1.6663	.165	1.8268	1.6622	.1646
60-80	.135	1.8505	1.6304	.2201	1.8603	1.639	.2213
80-100	.159	1.7565	1.5155	.241	1.8398	1.5874	.2524
20-40	.047	1.6224	1.5496	.0728	1.6054	1.5333	.0721
40-60	.104	1.8059	1.6358	.1701	1.8329	1.6602	.1727
60-80	.15	1.8989	1.6512	.2477	1.9113	1.662	.2493
80-100	.164	1.7894	1.5373	.2521	1.8408	1.5814	.2593
20-40	.052	1.6591	1.5771	.082	1.6027	1.5235	.0792
40-60	.1	1.8529	1.6845	.1685	1.8658	1.6962	.1696
60-80	.111	1.8455	1.6611	.1844	1.8774	1.6898	.1876
80-100	.157	1.8303	1.5819	.2484	1.8942	1.6372	.257
20-40	.068	1.7226	1.6129	.1097	1.7239	1.6141	.1098
40-60	.093	1.8095	1.6555	.154	1.797	1.6441	.1529
60-80	.138	1.931	1.6968	.2342	1.9766	1.7369	.2397
80-100	.16	1.8443	1.5899	.2544	1.8716	1.6134	.2581
20-40	.069	1.7533	1.6401	.1132	1.7352	1.6232	.112
40-60	.104	1.8176	1.6464	.1712	1.8067	1.6365	.1702
60-80	.138	1.9144	1.6822	.2321	1.9255	1.692	.2335
80-100	.161	1.7468	1.5046	.2422	1.7924	1.5438	.2486
20-40	.055	1.7123	1.623	.0893	1.7014	1.6127	.0887
40-60	.102	1.8967	1.7211	.1756	1.9234	1.7454	.178
60-80	.137	1.9597	1.7236	.2361	1.9666	1.7296	.237
80-100	.157	1.9924	1.722	.2704	2.0472	1.7694	.2778
20-40	.058	1.7114	1.6176	.0938	1.7399	1.6445	.0954
40-60	.102	1.9245	1.7464	.1781	1.918	1.7405	.1775
60-80	.14	1.9563	1.7161	.2403	1.9974	1.7521	.2453
80-100	.17	1.9727	1.6861	.2866	1.9852	1.6968	.2885
20-40	.072	1.8076	1.6862	.1214	1.8212	1.6989	.1223
40-60	.101	1.9042	1.7295	.1747	1.9407	1.7627	.178
60-80	.146	2.0046	1.7492	.2554	2.0349	1.7757	.2593
80-100	.162	1.9685	1.6941	.2744	2.0028	1.7236	.2792
20-40	.088	1.8746	1.723	.1516	1.906	1.7518	.1542
40-60	.098	1.8874	1.7189	.1685	1.8797	1.7119	.1678
60-80	.148	1.998	1.7404	.2576	2.0278	1.7664	.2614
80-100	.165	2.0071	1.7228	.2843	2.0489	1.7587	.2902

TAB. 3 DENSITES APPARENTES ET HUMIDITES VOLUMIQUES (suite)

Transect de KATOURE

Pfd cm	Hp	DHa	DSa	Hva	DHp	DSp	Hvp
20-40	.082	1.8116	1.6743	.1373	1.8294	1.6908	.1386
40-60	.125	1.9337	1.7188	.2149	1.9661	1.7476	.2185
60-80	.149	2.0022	1.7426	.2596	2.0143	1.7531	.2612
80-100	.161	2.0219	1.7415	.2804	2.0292	1.7478	.2814
20-40	.096	1.9108	1.7434	.1674	1.8852	1.7201	.1651
40-60	.117	1.9317	1.7294	.2023	1.9311	1.7288	.2023
60-80	.134	1.9728	1.7397	.2331	1.9788	1.745	.2338
80-100	.162	1.9271	1.6584	.2687	1.9587	1.6856	.2731
20-40	.09	1.8796	1.7244	.1552	1.874	1.7193	.1547
40-60	.111	1.9354	1.742	.1934	1.9489	1.7542	.1947
60-80	.139	2.0384	1.7896	.2488	2.0619	1.8103	.2516
80-100	.158	2.0167	1.7415	.2752	2.0487	1.7692	.2795
20-40	.122	1.8391	1.6391	.2	1.8757	1.6717	.2039
40-60	.122	1.995	1.7781	.2169	2.0339	1.8127	.2211
60-80	.145	1.9768	1.7265	.2503	1.9949	1.7423	.2526
80-100	.149	1.9845	1.7272	.2574	2.0283	1.7653	.263
20-40	.102	1.912	1.735	.177	1.9104	1.7336	.1768
40-60	.128	1.9724	1.7486	.2238	2.0237	1.7941	.2296
60-80	.149	1.9984	1.7393	.2592	2.0203	1.7583	.262
80-100	.166	2.0614	1.7679	.2935	2.0733	1.7781	.2952
20-40	.097	1.8219	1.6608	.1611	1.8367	1.6743	.1624
40-60	.128	1.9617	1.7391	.2226	1.9818	1.7569	.2249
60-80	.15	1.9958	1.7355	.2603	2.0314	1.7664	.265
80-100	.163	2.0438	1.7574	.2865	2.053	1.7653	.2877
20-40	.111	1.8153	1.6339	.1814	1.8756	1.6882	.1874
40-60	.131	1.9574	1.7307	.2267	1.9919	1.7612	.2307
60-80	.151	2.038	1.7706	.2674	2.0745	1.8023	.2721
80-100	.173	2.0396	1.7388	.3008	2.0619	1.7578	.3041
20-40	.099	1.7478	1.5904	.1574	1.8354	1.6701	.1653
40-60	.126	1.7548	1.5584	.1964	1.9579	1.7388	.2191
60-80	.156	1.8298	1.5829	.2469	2.0002	1.7303	.2699
80-100	.172	1.9552	1.6683	.2869	2.0397	1.7404	.2993
20-40	.117	1.9794	1.7721	.2073	2.0103	1.7997	.2106
40-60	.131	2.004	1.7719	.2321	2.039	1.8028	.2362
60-80	.159	1.9946	1.721	.2736	2.0297	1.7513	.2785
80-100	.168	2.0247	1.7335	.2912	2.0623	1.7657	.2966
20-40	.122	1.7353	1.5466	.1887	2.0018	1.7841	.2177
40-60	.131	1.9134	1.6918	.2216	2.0249	1.7904	.2345
60-80	.155	1.9712	1.7067	.2645	2.0365	1.7632	.2733
80-100	.172	1.9782	1.6879	.2903	2.041	1.7415	.2995

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: HVA Independent variable: NCA

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	-0.0176667	6.59283E-3	-2.67968	8.98614E-3
Slope	0.585524	0.0163594	35.7913	0

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.2724	1	.2724	1281.0140	.00000
Error	.016589	78	.000213		
Total (Corr.)	.289036	79			

Correlation Coefficient = 0.970879
 Std. Error of Est. = 0.0145836

R-squared = 94.26 percent

Tableau 4 - Sonde à neutrons : étalonnage sur tube alu.

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: HVC Independent variable: NCC

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	-8.87364E-3	5.70158E-3	-1.55635	0.123674
Slope	0.550268	0.0135417	40.6349	0

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.2934	1	.2934	1651.1987	.00000
Error	.013861	78	.000178		
Total (Corr.)	.307294	79			

Correlation Coefficient = 0.977186
 Std. Error of Est. = 0.0133307

R-squared = 95.49 percent

Tableau 5 - Sonde à neutrons : étalonnage sur tube pvc.

TAB. 6 HUMIDITES COMPTAGES CONDUCTIVITES

Transect de KATOURE

Pfd	Hva	Hvp	Nca	Ncp	CE (mS)
20-40	.0523	.0526	.1460	.1410	.091
40-60	.1635	.1624	.3293	.3175	.065
60-80	.2344	.2354	.4522	.4572	.059
80-100	.2515	.2492	.5025	.5257	.184
20-40	.0765	.0767	.1883	.1884	.08
40-60	.165	.1646	.3394	.3096	.086
60-80	.2201	.2213	.4562	.4572	.109
80-100	.241	.2524	.5025	.5336	.091
20-40	.0728	.0721	.1702	.1700	.1
40-60	.1701	.1727	.3253	.3043	.128
60-80	.2477	.2493	.4441	.4611	.15
80-100	.2521	.2593	.5086	.5349	.533
20-40	.082	.0792	.1761	.1780	.095
40-60	.1685	.1696	.3104	.3163	.139
60-80	.1844	.1876	.3960	.3918	.167
80-100	.2484	.257	.4905	.5083	.58
20-40	.1097	.1098	.1980	.2036	.184
40-60	.154	.1529	.2955	.3047	.223
60-80	.2342	.2397	.4557	.4558	.348
80-100	.2544	.2581	.4945	.5237	.556
20-40	.1132	.112	.2159	.2010	.156
40-60	.1712	.1702	.3393	.3419	.128
60-80	.2321	.2335	.4507	.4558	.223
80-100	.2422	.2486	.4905	.5237	.568
20-40	.0893	.0887	.1861	.1933	.111
40-60	.1756	.178	.3313	.3367	.102
60-80	.2361	.237	.4428	.4481	.173
80-100	.2704	.2778	.5005	.5339	.189
20-40	.0938	.0954	.1761	.1677	.071
40-60	.1781	.1775	.3453	.3342	.1
60-80	.2403	.2453	.4557	.4584	.15
80-100	.2866	.2885	.5025	.5275	.591
20-40	.1214	.1223	.2398	.2343	.51
40-60	.1747	.178	.3493	.3611	.627
60-80	.2554	.2593	.4488	.4750	.828
80-100	.2744	.2792	.4866	.5083	.733
20-40	.1516	.1542	.2796	.2830	.487
40-60	.1685	.1678	.3234	.3265	.603
60-80	.2576	.2614	.4517	.4648	.9
80-100	.2843	.2902	.4925	.5237	1.119

TAB. 6 HUMIDITES COMPTAGES CONDUCTIVITES (suite)

Transect de KATOURE

Pfd	Hva	Hvp	Nca	Ncp	CE (mS)
20-40	.1373	.1386	.2527	.2650	.326
40-60	.2149	.2185	.3771	.3931	.521
60-80	.2596	.2612	.4647	.4866	.733
80-100	.2804	.2814	.4846	.5211	1.046
20-40	.1674	.1651	.3114	.3073	.556
40-60	.2023	.2023	.3811	.3931	.674
60-80	.2331	.2338	.4398	.4571	.997
80-100	.2687	.2731	.4607	.4853	1.545
20-40	.1552	.1547	.2412	.2383	.51
40-60	.1934	.1947	.3674	.3763	.615
60-80	.2488	.2516	.4515	.4727	1.095
80-100	.2752	.2795	.4815	.5182	1.545
20-40	.2	.2039	.3584	.4232	.475
40-60	.2169	.2211	.4074	.4167	.591
60-80	.2503	.2526	.4535	.4805	.733
80-100	.2574	.263	.4835	.5169	1.231
20-40	.177	.1768	.3183	.3372	.627
40-60	.2238	.2296	.4074	.4180	.757
60-80	.2592	.262	.4635	.4857	.852
80-100	.2935	.2952	.4975	.5195	1.293
20-40	.1611	.1624	.2873	.3034	.568
40-60	.2226	.2249	.3954	.4154	.709
60-80	.2603	.265	.4675	.5039	.757
80-100	.2865	.2877	.5045	.5273	1.293
20-40	.1814	.1874	.3053	.3268	.568
40-60	.2267	.2307	.4074	.4310	.65
60-80	.2674	.2721	.4645	.4909	.686
80-100	.3008	.3041	.5025	.5326	.804
20-40	.1574	.1653	.3313	.3607	.533
40-60	.1964	.2191	.3834	.4089	.627
60-80	.2469	.2699	.4404	.4831	.686
80-100	.2869	.2993	.4835	.5130	.804
20-40	.2073	.2106	.3534	.3867	.949
40-60	.2321	.2362	.4054	.4245	1.021
60-80	.2736	.2785	.4474	.4805	1.07
80-100	.2912	.2966	.4875	.5208	.997
20-40	.1887	.2177	.3904	.4310	.58
40-60	.2216	.2345	.4234	.4414	.603
60-80	.2645	.2733	.4575	.4961	.556
80-100	.2903	.2995	.5075	.5404	.78