

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Direction des Ressources en Eau et en Sol

Division des Sols

**Diagnostic de la salure des Sols par mesures
de la Résistivité Electrique
"In situ"**

M. R. EL IDRISI



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Mission en Tunisie



AOUT 1977

**Diagnostic de la salure des Sols par mesures
de la Résistivité Electrique
"In situ"**

M. R. EL IDRISI

AOUT 1977

S O M M A I R E

	Pages
AVANT-PROPOS	3
INTRODUCTION	4
Chapitre I : APERCU SUR LES METHODES CLASSIQUES DE RECONNAISSANCE DES SOLS SALES	5
Chapitre II : METHODOLOGIE	7
A) Base et principe	7
B) Dispositif et principe de la mesure	8
B.1. - Principe de la mesure	9
B.2. - Exécution	10
Chapitre III : CADRE DE L'ETUDE ET PROCEDE DE MISE EN OEUVRE	12
A) Cadre de l'étude	12
B) Procédé de mise en oeuvre	15
Chapitre IV : PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION	16
A) Sondages électriques et échantillonnages effectués	16
A.1. - Sondages électriques	16
A.2. - Prélèvement	16
A.3. - Calcul de la conductivité apparente	17
B) Résultats et diagrammes	18
C) Traitement des données	19
C.1. - Recherches des facteurs de variation de la résistivité	20
C.2. - Etude de la relation E_{Ca}/E_{Ce}	21
CONCLUSION GENERALE	22
BIBLIOGRAPHIE	24
ANNEXE : - Tableaux des résultats de mesures	26
- Exemple de tableau de mesures d'une couverture	

LISTE DES FIGURES

- 1 - Schéma de la configuration A
- 2 - Schéma de la configuration B
- 3 - Schéma du parcellaire et emplacement des profils
- 4 - Courbes des médianes de la résistivité apparente.
- 5 - Figures (4) de la répartition des quatre traitements par l'analyse de correspondance
- 6 - Droites de régression (8) de E_{Ce}/E_{Ca}

LISTE DES TABLEAUX

- 1 - Tableaux (3) des valeurs de résistivité apparente (Répétition sur une même parcelle)
- 2 - Variation de ρ_a , E_{Ce} et E_{Ca}
- 3 - Tableaux (8) des valeurs de ρ_a , E_{Ce} et E_{Ca} des trois séries de mesures
- 4 - Tableau d'une couverture de sondage électrique

AVANT - P R O P O S

C'est avec une joie profonde que je me prête à cet agréable devoir de remercier toutes les personnes qui m'ont aidées d'une façon ou d'une autre dans la réalisation de ce travail.

Que toutes ces personnes trouvent ici, le témoignage de ma profonde gratitude, et plus particulièrement tout le personnel scientifique et technique de l'ORSTOM j'ai cité Monsieur VIEILLEFON et Monsieur DELHUMEAU.

Je remercie, le Gouvernement Tunisien et tous les Services Techniques du Ministère de l'Agriculture qui m'ont accordés leur confiance en me facilitant la tâche sur tous les plans, en particulier le Service de la D.R.E. qui a mis a ma disposition le matériel de mesure, le Service du C.R.G.R. qui nous a permis d'utiliser la Station de Cherfech pour nos expérimentations, que Messieurs HAMZA - SOUISSI - ZEBIDI - AMMAMI en soient ici vivement remerciés.

Mes remerciements vont également à Messieurs BOUZEIDI - CHAABOUNI - SLAMA - MAMI et HAMROUNI qui n'ont ménagés aucun effort pour nous aider.

Nous devons surtout à tous et à toutes d'avoir pu travailler dans une atmosphère de grande amitié, nous leur adressons nos remerciements les plus sincères.

I N T R O D U C T I O N

Les problèmes de la gestion et du contrôle des périmètres irrigués en zone salée reposent en partie sur l'identification périodique du potentiel de salinité, qui risque d'augmenter de plus en plus.

De plus la mise en exploitation des sols salés dans les zones arides où les eaux d'irrigation sont elles-mêmes fortement minéralisées, doit être accompagnée d'information de prévision du devenir des sols et des eaux, car la moindre fausse manoeuvre peut compromettre définitivement un équilibre écologique délicat.

Les prévisions dans ce domaine sont indispensables : la connaissance préalable de l'évolution des sols et du stock d'eau disponible peut permettre le choix des zones à mettre en exploitation et la mise au point de méthodes culturales qui préservent leur équilibre.

Actuellement un des seul critère du diagnostic de la salinité des sols est basé sur l'analyse d'échantillons, au laboratoire ou au champ. Dans les deux cas les analyses sont très longues et fastidieuses. Un contrôle répété des variations de la salinité s'avère dans ces conditions pratiquement impossible.

Un certain nombre de dispositifs techniques semblent maintenant pouvoir remplacer les mesures classiques faites sur des extraits aqueux d'un échantillon de sol.

Le but de cette étude est l'expérimentation d'une méthode empruntée à la géophysique qui est basée sur la mesure directe de la résistance offerte par le sol au passage d'un courant électrique.

On cherche à dégager par cette application l'intérêt, les principaux avantages et les limites de cette méthode dans le cadre du diagnostic de la salure. On s'est surtout attaché ici à mettre en évidence la relative simplicité de la méthodologie, et à établir la relation entre la conductivité de l'extrait de pâte saturée (ECe) et la conductivité tirée de la résistivité apparente mesurée sur le terrain (ECa).

Après un bref rappel concernant les techniques de la méthode utilisée, nous examinerons les résultats obtenus et en dégagerons les principes qui devront guider les futures prospections en vue du diagnostic de la salure.

Chapitre I : APERCU SUR LES METHODES CLASSIQUES DE RECONNAISSANCE DES SOLS SALES

Les recherches en matière de sols salés ont été très actives ces dernières années. La synthèse bibliographique suivante, réunit des références se rapportant exclusivement aux travaux effectués aux U.S.A. dont les comptes rendus ont été publiés récemment dans les revues Soil Sciences et Soil Sciences Society of America Proceeding. (cf. CHEVERRY - 1977). On s'est limité aux références des travaux d'intérêt théorique et méthodologique, c'est-à-dire des conditions aux limites de ces méthodes.

Deux voies de recherche ont été développées : la méthode de simulation numérique et la méthode expérimentale, en lysimètre ou au champ.

A) La méthode de simulation

En plus de l'analyse chimique brute d'une eau d'irrigation, on peut simuler une ou plusieurs irrigations et rendre compte de l'état du système sol-solution du sol, et préciser la composition des eaux de drainage, au terme de l'une quelconque de ces irrigations. (DUH, SHAFFER et MOORE - 1972).

C'est un instrument de travail précieux qui peut permettre de planifier des cycles d'irrigation compte tenu des exigences culturales et des limitations imposées aux eaux de drainage.

B) Les études expérimentales

Un certain nombre de dispositifs techniques semblent maintenant remplacer les mesures classiquement faites sur des extraits aqueux d'un échantillon de sol.

B.1. - Les "enregistreurs de salure"

Ces cellules mesurent la salure du sol "in situ". Le principe est celui de la diffusion des ions entre la solution du sol et l'eau des pores fins d'une céramique enterrée.

L'idée fut émise par KEMPER (1959), et c'est à RICHARDS (1966) que revient le mérite d'avoir mis au point la première cellule pratiquement utilisable sur le terrain. Leur inconvénient est qu'elles caractérisent la salure d'un volume très limité du sol.

B.2. - Les appareils de mesures de la résistance du sol en place

On mesure directement la résistance offerte par le sol en utilisant des méthodes empruntées à la géophysique. Essayée par SCHEA et al. (1961) avec des électrodes enfoncées à différentes profondeurs, la méthode a été reprise et précisée par ROADER et al (1971) et HALVORSON et al. (1974).

Ces dispositifs ont l'avantage de caractériser la salure d'un volume assez important du sol. Ils ont l'intérêt d'être facilement déplaçables. Ils pourraient donc se révéler ultérieurement de bons outils pour la reconnaissance des sols salés et les contrôles de variation de la salure.

A cet effet, on s'est donc attaché dans ce présent mémoire, à mettre en évidence la relative simplicité de cette méthode, et en tester le domaine de validité dans un sol de Tunisie.

Parmi les autres dispositifs utilisés on peut citer les "électrodes spécifiques", qui ne sont apparemment que rarement utilisées. (Electrodes au Sodium et au Chlorure : LOYER-SUSINI 1977).

Chapitre II : METHODOLOGIE

A) Base et Principe de la méthode

La plupart des matériaux (roches) ne conduisent le courant que grâce à l'eau plus ou moins salée toujours présente dans leurs pores ou fissures.

La capacité du sol à conduire le courant est fonction entre autres de la concentration en électrolytes de la solution du sol.

Leur résistivité dépend à la fois de celle de leur eau d'imbibition, de la proportion d'eau qu'ils contiennent et de la façon dont celle-ci est répartie.

Si cette relation est à peu près linéaire en fonction des deux premiers facteurs, l'influence du dernier plus complexe dépend de la nature du matériau.

La méthode consiste à mesurer la résistivité électrique du terrain. En fait elle est excessivement simple. Elle est basée sur l'application de la loi d'Ohm.

La résistance, quotient de la tension par l'intensité du courant, n'est pas du tout un concept abstrait pour désigner le rapport. Mais elle est aussi une mesure négative indiquant la capacité d'un matériau à véhiculer du courant électrique. En d'autres termes : plus la conductivité est grande, plus la résistance sera petite et inversement.

A l'aide d'un instrument de mesure, on peut observer à chaque résistance, une baisse de tension plus ou moins grande selon la valeur de la résistance. Il en est de même quand on utilise le sol comme conducteur.

Ce qui est en effet possible, puisque la conductivité du sol - sans parler du degré d'humidité variable - est sensiblement différente de celle d'un fil de cuivre.

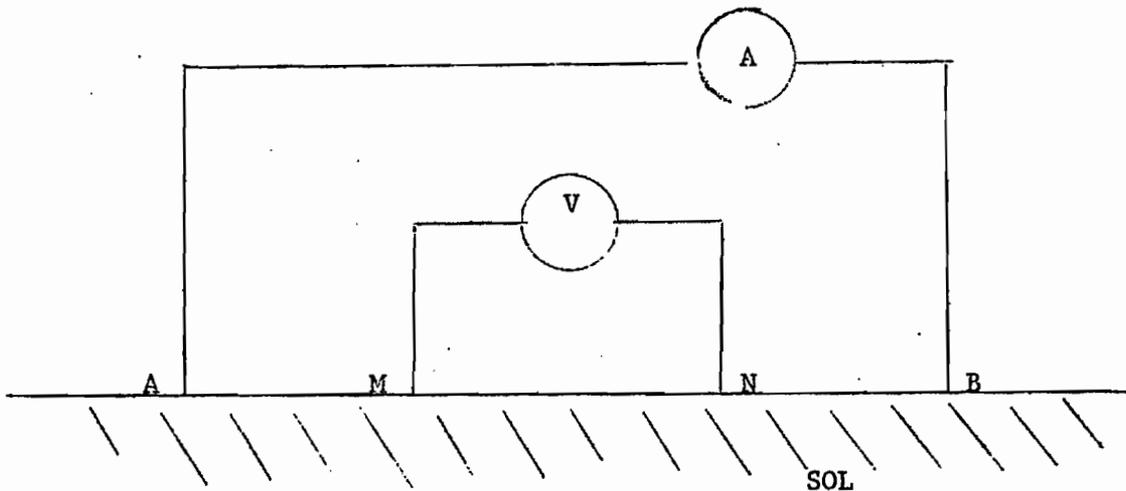
La méthode est fondée plus ou moins directement sur la comparaison de la distribution du potentiel créé dans le sol par l'envoi d'un certain courant, à ce que cette distribution serait dans un milieu homogène. Les valeurs du potentiel mesurées à une distance déterminée d'un pôle d'envoi dépendent essentiellement des propriétés du terrain à l'intérieur d'un volume de dimension à peu près constant autour des prises. Par conséquent quand on déplace à la surface du sol, le long d'un profil par exemple, l'ensemble d'un dispositif de mesure de longueur fixe, on explore une bande du sous-sol de largeur et de

profondeur déterminées. Si la même opération est recommencée sur des profils parallèles, convenablement espacés, toute une tranche de terrain d'épaisseur donnée aura été prospectée.

B) Dispositif et Principe de la mesure

Le dispositif utilisé sur le terrain comprend deux circuits : un circuit d'émission entre deux points A et B, symétrique, appelés électrodes d'injection ; et un circuit de réception entre deux points M et N à l'intérieur de l'intervalle AB, appelés électrodes de mesure.

L'ensemble constitue un quadripôle symétrique. Il s'agit d'un jeu de 4 électrodes, 2 électrodes d'injection de courant, et 2 de mesure de potentiel disposées verticalement et en ligne.



On exécute au même point une série de mesure en augmentant progressivement la longueur du quadripôle, le centre et la direction restant fixes.

L'appareillage que nous avons utilisé, a été emprunté à la section de géophysique de la D.R.E. (Direction des Ressources en Eaux). Il comprend :

- un potentiomètre (A.E. 631.A.) qui comporte les commandes et commutations, les circuits de compensation et de mesure.
- un convertisseur de 25 watts (A.E.631.B.) qui est destiné à l'utilisation en lignes d'envoi de courant relativement courtes. Il comporte les alimentations nécessaires aux divers circuits du potentiomètre et la source de courant.
- une batterie d'alimentation de 12 V.
- une série d'électrodes en fer inox de 37,5 cm de longueur, et d'un diamètre de 1,5 cm, servant d'électrodes d'injection.
- une série d'électrodes en laiton de 30 cm de long, pour 2 cm de diamètre, servant d'électrodes de mesures.



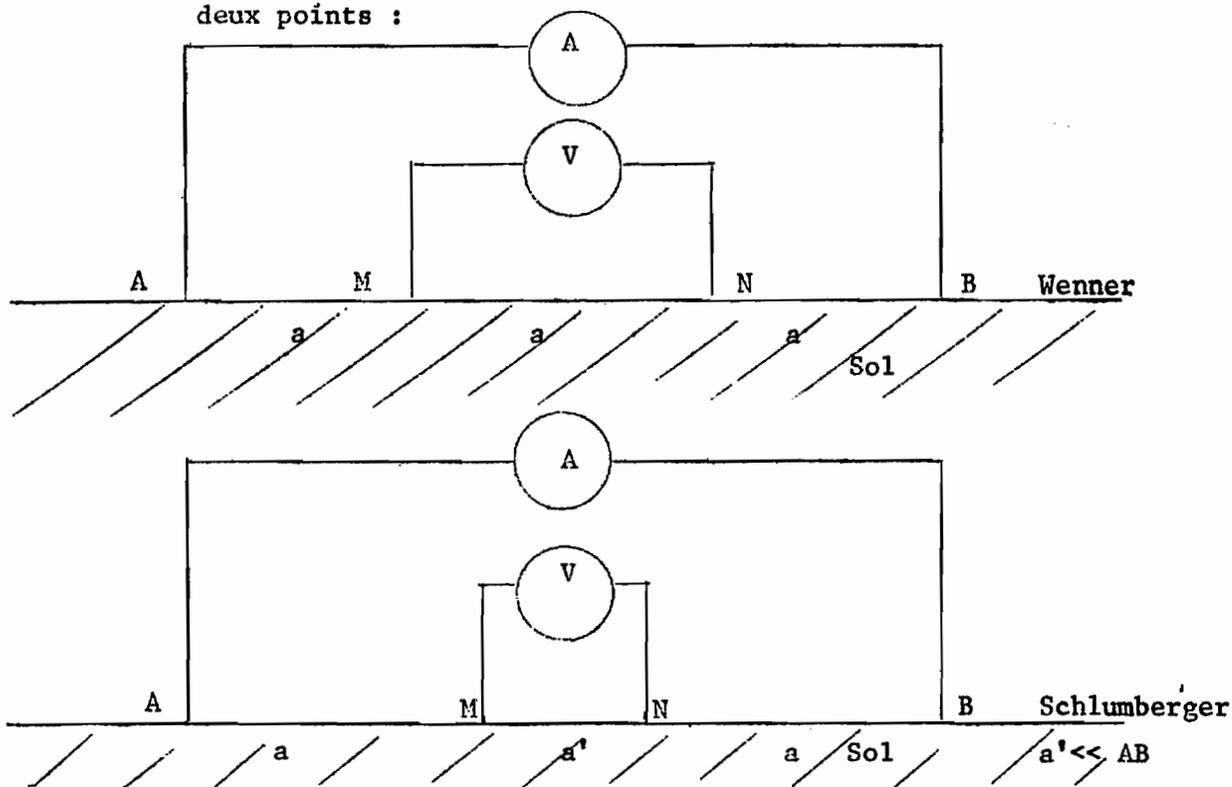
LE DISPOSITIF DE MESURE

B.1. - Principe de la mesure

On envoie dans le sol, par les deux électrodes A et B, un courant d'intensité I. Entre les électrodes M et N, on mesure la tension ΔV résultant du passage du courant dans le sol.

En principe, tous les dispositifs, dipôles, tripôles ou quadripôles pourraient être utilisés pour les sondages électriques. Dans la pratique cependant, on n'utilise guère que des quadripôles symétriques ; parmi eux, le plus souvent, soit les dispositifs Schlumberger, soit les dispositifs Wenner. Dans le premier cas, la distance entre les électrodes de mesure M et N est en principe infiniment petite, elle est égale, dans le second, au tiers de la distance AB.

Le dispositif de Schlumberger diffère de celui de Wenner sur deux points :



- D'une part, la tension ΔV est mesurée entre deux points plus rapprochés
- D'autre part et surtout, ces deux points sont maintenus fixes, sinon pour la totalité des mesures constituant le sondage, c'est-à-dire pour toutes les longueurs successives de AB, du moins pour un assez grand nombre de mesures successives.

Pour un dispositif, la résistivité apparente, d'après sa définition rapport entre la valeur mesurée du paramètre considéré à sa valeur dans un milieu homogène de résistivité un, sera pour un quadripôle :

$$\rho \text{ app} = 2 \pi \frac{1}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}\right) - \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN}\right)} \frac{\Delta V}{I}$$

Le coefficient de $\frac{\Delta V}{I}$ dans cette formule ne dépend que de la configuration géométrique du dispositif AMN.B, qui est appelé quelques fois "facteur géométrique" ou simplement K.

Pour un quadripôle Schlumberger :

$$K = \pi \frac{\overline{AM} - \overline{AN}}{\overline{MN}} = \frac{\pi}{4} \frac{\overline{AB}^2 - \overline{MN}^2}{\overline{MN}}$$

Donc pour un terrain homogène, la $\rho \text{ app.}$ est donnée par la formule simple :

$$\rho \text{ app} = \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

Si on exprime la longueur en m, les ΔV en millivolts, et le courant en milliampères, $\rho \text{ app}$ est exprimée en Ohm-m.

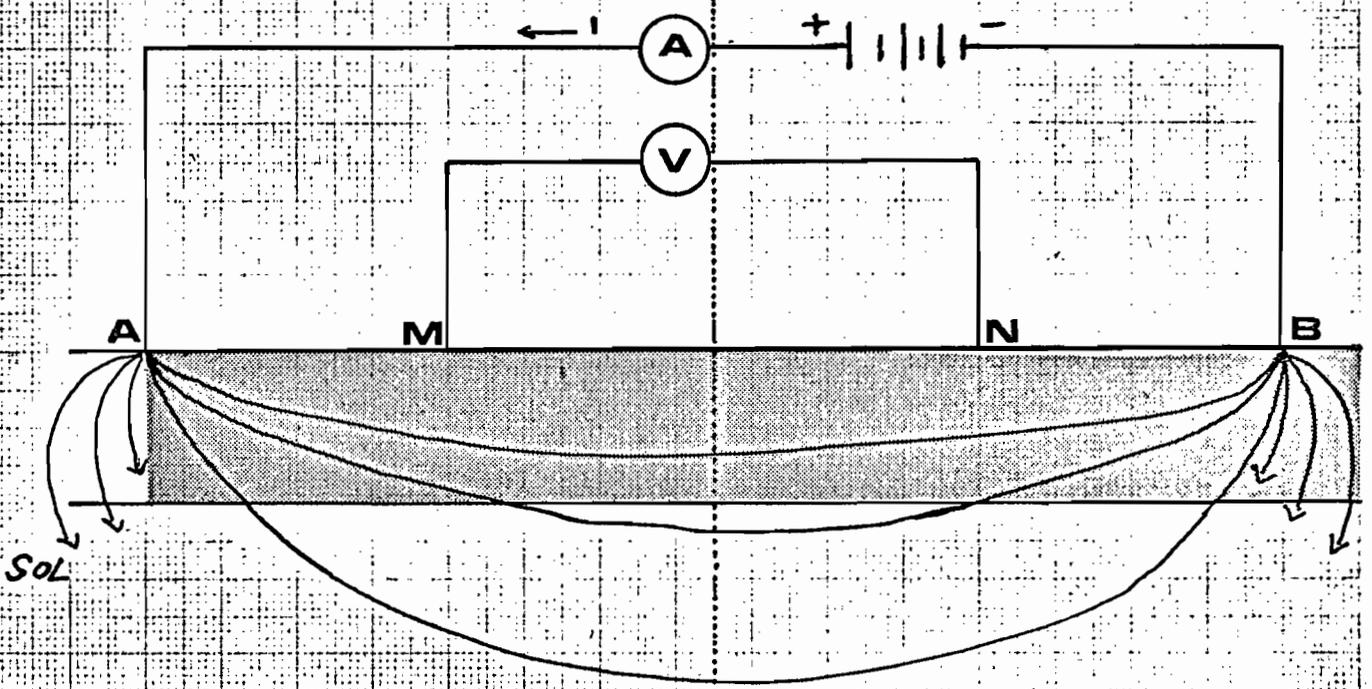
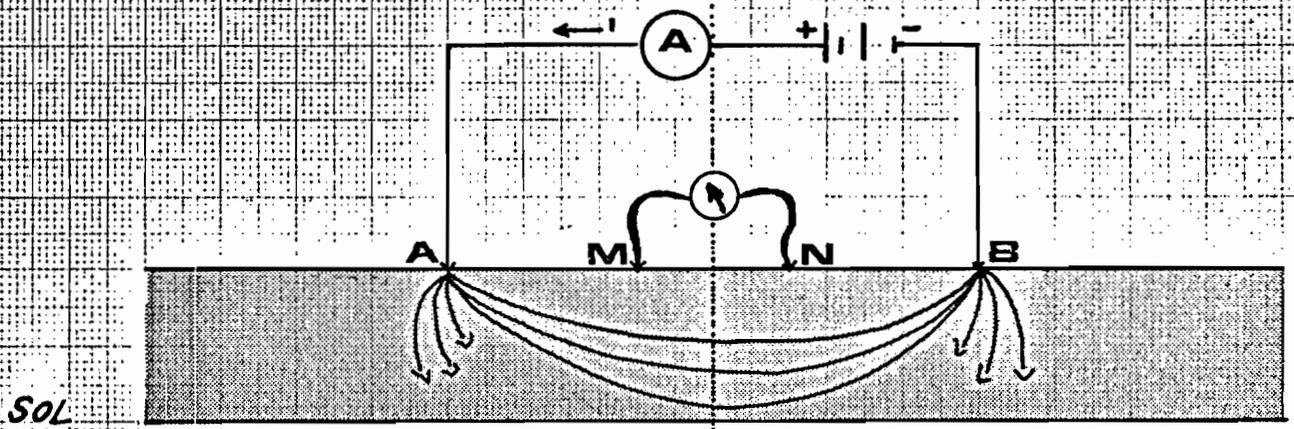
B.2. - Exécution des mesures

Lorsqu'on forme le circuit MN, en l'absence de tout courant dans AB, l'aiguille du galvanomètre se déplace du fait de la polarisation des électrodes. Cette différence de potentiel parasite est annulée au moyen d'un premier circuit du potentiomètre à mesurer aux bornes de MN au moyen du deuxième circuit, circuit de mesure. La lecture de I, ΔV et la connaissance de K permettent le calcul de $\rho \text{ app.}$

Les terrains à prospector étant relativement peu épais, nous avons effectué des mesures avec des électrodes très rapprochées, et les mesures sont poursuivies, pour des AB/2 croissants, sans changement de MN, tant que ΔV est assez grande. Lorsqu'un changement de MN est nécessaire : on fait deux mesures pour un même AB, avec les 2 MN, afin d'évaluer les "à coup de prise", c'est-à-dire tout ce qui est dû à une variation latérale de la résistivité.

On effectue les calculs de $\rho \text{ app}$ après chaque mesure afin de pouvoir éventuellement reprendre les mesures défectueuses, ou donnant lieu à des "à coups" intempestifs.

Schéma du principe de pénétration du courant



(A) : Dispositif de mesure
d'intensité

(V) : Dispositif de mesure
de différence de potentiel

On porte (en coordonnées bilogarithmiques), en abscisse la demi-longueur de AB, exprimée en m, en ordonnée la résistivité apparente exprimée en Ω -m. On obtient ainsi une courbe qui présentera une certaine forme suivant la nature et la charge en électrolytes du terrain atteint par l'investigation électrique.

Chapitre III : CADRE DE L'ETUDE ET PROCEDE DE MISE EN OEUVRE

A) Cadre de l'étude

L'essai a été réalisé en plein champ à la station expérimentale de Cherfech dans la basse vallée de la Medjerda où l'eau d'irrigation est moyennement salée, le sol lourd, la nappe phréatique saumâtre et peu profonde.

Les sols de Cherfech, sont des sols peu évolués d'apport fluviatile à hydromorphie de nappe en profondeur, qui se sont formés sur des dépôts alluviaux de la Medjerda, alternativement fins et grossiers selon les modalités locales de l'alluvionnement.

(Quelques caractéristiques physico-chimiques sont résumées dans les tableaux et schémas suivants).

Les irrigations sont faites aux 4 qualités d'eaux différentes entre elles par la teneur en sels totaux. Les eaux disponibles étaient celles de la Medjerda, celles de l'Oued Ellil et celles d'un puit situé sur la station.

Caractéristiques physiques

(valeur médiane de 21 à 123 répétitions)

Profond. cm	Granulométrie %					Nb.profil
	A	L	L.G.	S.F.	S.G.	
0 - 40	39,2	35,9	17,5	5,1	1,0	
40 - 80	34,8	34,2	22,5	8,0	0,5	83
80 - 120	29,0	30,8	30,4	9,1	0,7	
120 - 150	34,5	31,0	28,5	5,2	0,8	
Moyenne	34,3	32,9	24,7	6,8	0,8	

Profond. cm	C.R. pF = 2,5 % de poids	P. flétrissement pF = 4,2	Densité apparente
0 - 40	30,0	16,8	1,45
40 - 80	27,1	13,7	1,65
80 - 120	24,2	10,7	1,50
120 - 150	28,1	13,3	1,56

Caractéristiques chimiques du sol

Profond. cm	pH Eau	CaCO ₃ T %	CaCO ₃ A %	ECe en mmho/cm
0-20	7,8	46	17,0	1,1
20-40	7,8	45	17,3	1,7
40-80	7,8	45	15,8	4,8
80-120	7,6	45	11,3	9,3
120-150	7,8	44	13,0	9,8

		0-20	20-40	40-80	80-120	120-150
Composition de l'extrait saturé mé/1	Cl ⁻	3,9	6,6	24,7	59,9	64,3
	SO ₄ ⁻⁻⁻	4,8	7,6	29,9	48,7	50,9
	HCO ₃ ⁻	3,9	3,7	2,3	1,7	1,6
	Ca ⁺⁺	4,4	5,3	17,5	31,4	33,0
	Mg ⁺⁺	1,1	1,6	7,5	19,6	21,7
	K ⁺	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6
	Na ⁺	6,3	10,3	31,4	61,7	64,6
Complexe Absorbant mé/100 g	Mg ⁺⁺	1,8	2,4	2,6	2,5	2,7
	K ⁺	1,2	0,9	0,5	0,4	0,5
	Na ⁺	0,6	1,1	1,5	1,8	2,1
	T	19,3	18,2	15,4	13,4	15,8
	Na/T %	3,1	6,0	9,7	13,4	13,3

Les quatre qualités d'eau, ont été obtenues de la façon suivante :

- A : Eau de l'Oued Ellil seule
- B : Mélange de l'eau de l'Oued Ellil et de celle de la Medjerda . 1/1
- C : Eau de la Medjerda
- D : Mélange de l'eau de la Medjerda et de celle d'un puit dans la proportion 2/1

Les analyses du sol ont montrés que la salinité ainsi que la proportion de Sodium échangeable augmentent en fonction de la salure des eaux d'irrigation. Leurs valeurs atteignent un maximum au mois d'août et restent comparables à celles trouvées pendant les autres années précédentes (rapport technique 1968-69 CRUESI).

Résultats d'analyse des 4 qualités d'eau

Eau	EC 25° mmhos	Résidu sec g/l	Anions mē/l			Cations mē/l				SAR
			Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	
A	0,4	0,2	1,6	1,0	0,3	3,0	0,7	0,1	1,4	1,0
B	2,5	1,6	14,6	8,9	0,2	6,4	3,7	0,2	13,7	6,0
C	4,0	2,6	23,9	15,1	0,2	11,7	5,1	0,2	23,3	8,0
D	5,3	3,7	29,5	20,9	0,3	16,7	6,6	1,5	29,0	8,6

Evolution saisonnière des 4 qualités d'eau

Eau	Saison	EC 25°	Résidu sec g/l	S.A.R.
A	Eté	0,	0,2	1,2
	Hiver	0,3		1,0
B	Eté	2,3	1,5	6,0
	Hiver	1,2 - 1,8		0,8 à 1,1
C	Eté	3,7 - 3,8	2,5	7,9
	Hiver	2,3 - 3,2		1,5 à 2,1
D	Eté	5,4 - 6,0	3,6 - 4,3	8,7 - 9,4
	Hiver	4,9 - 5,3		3,3 - 3,7

N.B. Les résultats sont tirés des travaux du C.R.U.E.S.I. - C.R.G.R. (1962-1969 et 1969-1974)

Chacun des quatre traitements amena assez rapidement le sol à une salure particulière, puis les différences ont persisté. Les évolutions ont été plus ou moins nettes selon la profondeur, les fluctuations étant plus marquées dans les couches supérieures.

Nous sommes donc dans les conditions d'exploitation actuelles à Cherfech en présence d'un système en équilibre.

Il faut signaler que les irrigations ont débuté à Cherfech en 1962.

B) Procédé de mise en oeuvre

L'essai qualité d'eau est conduit sur une parcelle de 4 sols similaires (références 1.2.3.4.) et en 4 répétitions.

Les mesures ont été faites sur chaque petite parcelle (15 x 10 m).

Le dispositif utilisé est le quadripôle Schlumberger, symétrique par rapport à O.

Avec ce dispositif, le rapport de la tension ΔV mesurée à la longueur MN est pratiquement égale au champ au centre O du dispositif ; puisque ce champ est presque uniforme au voisinage de ce point. En plus le fait de ne déplacer, entre deux mesures successives qu'une seule paire d'électrode, présente en effet, en dehors de l'allégement du travail matériel, le gros avantage de réduire considérablement l'ampleur et le nombre des "à coups de prise" et de faciliter leur mise en évidence.

On a adopté la configuration où le même MN étant utilisé à partir d'un AB qui lui est 3 fois supérieur jusqu'à un AB dont la longueur atteint 7 fois celle de MN.

Ceci a été surtout dicté par la superficie de la petite parcelle élémentaire.

Chapitre IV : PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

A) Sondages électriques et échantillonnage effectués

A.1. - Sondages électriques

On a procédé à des mesures de résistance sur toute la parcelle "qualité d'eau" (160 x 60 m). Chaque petite parcelle élémentaire (10 x 15m) au nombre de 64, a fait l'objet de quatre mesures.

L'évolution de la résistivité a été étudiée et suivie sur une période de cinq mois (du 1/1/1977 au 14/7/1977), ce qui nous a permis de faire quatre séries de mesures complètes dont trois ont fait l'objet de prélèvements simultanés pour la mesure de la conductivité de l'extrait saturé au laboratoire.

Les mesures sur les petites parcelles élémentaires, sont faites de manière à avoir le centre de la parcelle qui coïncide avec celui des configurations A et B (fig. 1 et 2).

On a pu voir par des répétitions des mesures, qu'il n'y avait pas beaucoup de variations entre celles faites au centre de la parcelle élémentaire et celles faites parallèlement de part et d'autre de la ligne centrale de la parcelle. (Tableaux 1 - 2 - 3 - 4)

A.2. - Prélèvements

Le prélèvement d'échantillons au niveau du profil, pour l'étude dynamique du profil salin, a été exécuté par carottage. Au cours de cette opération, on a prélevé ordinairement par tranche de 20 cm d'épaisseur jusqu'à 140 cm de profondeur.

Chaque prélèvement est effectué en 6 exemplaires autour du centre des mesures de résistivité, afin d'en constituer un seul échantillon composite.

Ceci pour avoir une moyenne des variations du front de salure et du taux d'humidité autour du centre de prélèvement et de mesure.

Ceci a concerné 8 profils ($3A_2 - 7A_4 - 1B_1 - 5B_3 - 4C_2 - 6C_3 - 2D_1 - 8D_4$), représentant les quatre traitements et en deux répétitions (fig. 3).

Fig. 1

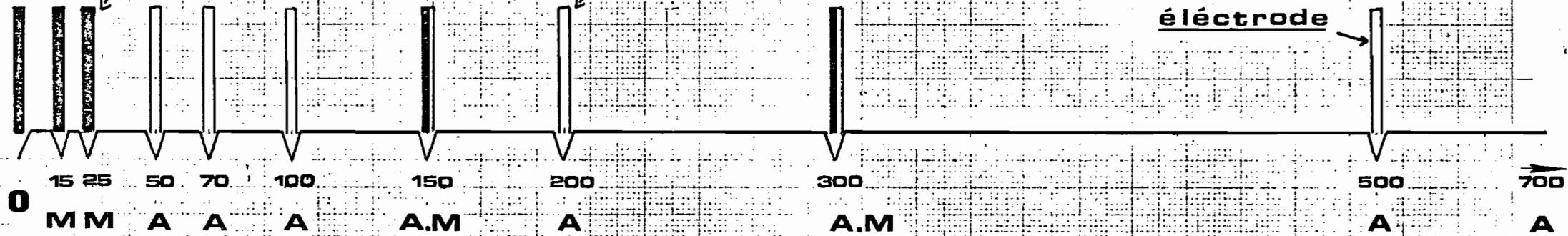
Schéma de la configuration

OA et OM

Electrode de mesure

Electrode d'injection

électrode



SOL

Ech : 1/20

Fig 2

Schéma de la configuration

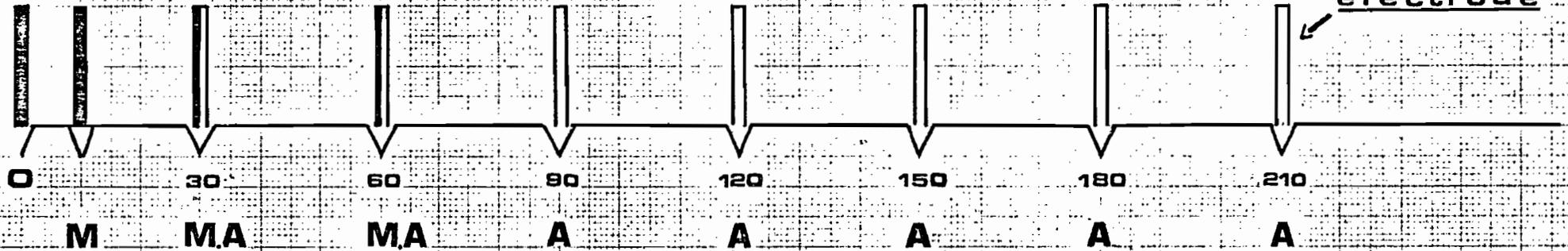
B

OA et OM

Electrode de mesure

Electrode d'injection

électrode

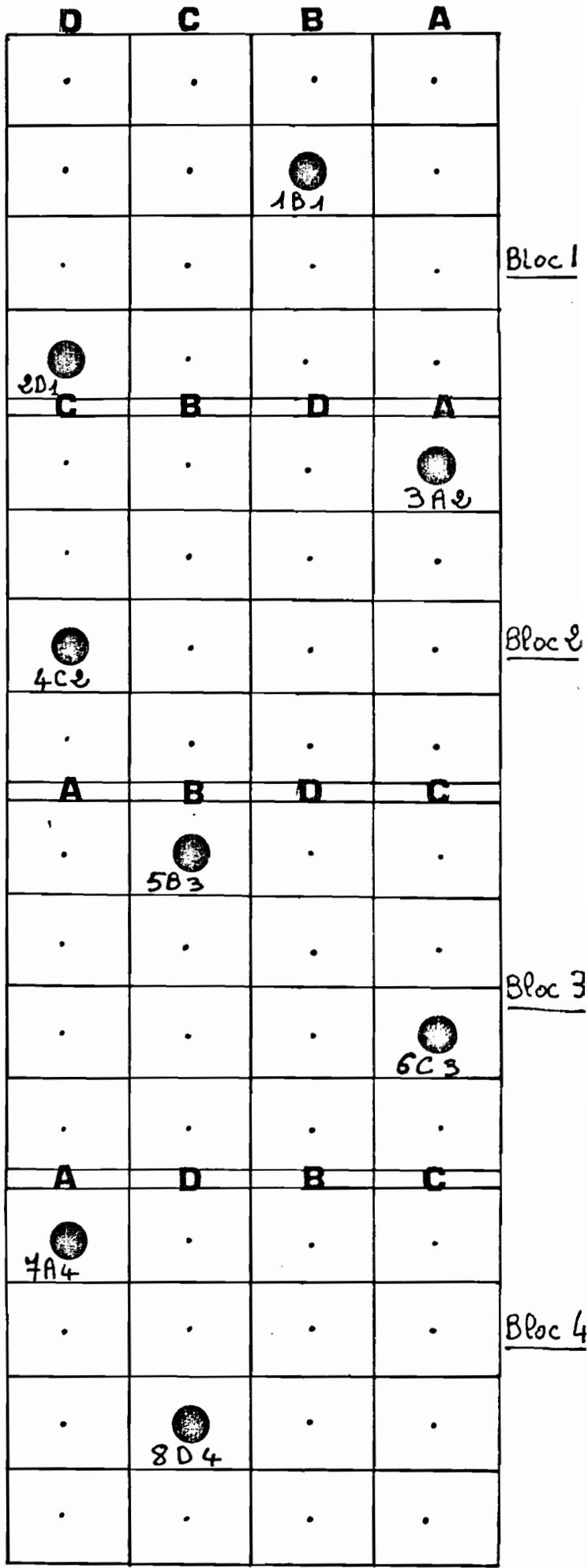


SOL

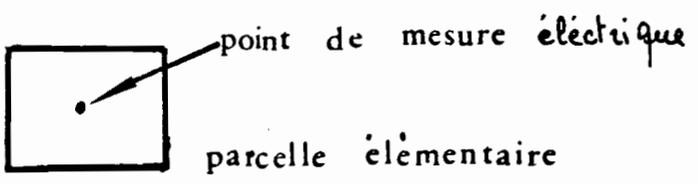
Ech : 1 / 20

Fig. 3

Emplacement des Profils



A
B
C
D } Représente les quatre
traitements.



● Profil (Relèvement) Ech : 1/750

SONDAGE ELECTRIQUE C H E R F E C H

Tableau 1

Parcelle : 4A

(Répétition) : Ecartement = 1 m.

QUALITE : A

DATE : 25/2/1977

	4	3	2	1	0	5	6	7	8	n	\bar{x}	Me	S	S ²
1	12,9	11,4	12,7	15,7	10,3	12,5	13	12,2	12,2	9	12,5	12,2	1,45	2,1
2	11,1	10,5	11,1	11,2	9,8	6,1	12,7	10,8	11,5	9	10,5	11,1	1,84	3,4
3	10,9	9,5	11,1	11,5	10,2	10,8	11,7	9,8	10,8	9	10,7	10,8	0,74	0,55
4	10,3	8,7	10,1	10,8	9	9,6	9,8	8	9,3	9	9,5	9,6	0,86	0,74
5	9,0	10	10,7	10,8	9,4	8,4	10,2	9,3	10,1	9	9,8	10	0,80	0,64
6	10,6	10,5	10,7	10,9	9,8	9,2	11,3	11,1	11,5	9	10,6	10,7	0,73	0,53
7	7,5	7,8	8,1	8,4	8,8	8,6	9,8	10,2	10,5	9	8,9	8,6	1,07	1,15
8	8,2	7,6	8,5	9,2	7,4	8,4	9,1	9,7	10,8	9	8,8	8,5	1,06	1,13
9	6,1	5,8	6,1	5,6	6,1	5,8	5,7	5,6	5,9	9	5,9	5,8	0,21	0,04
10	4	4,1	3,8	4	4,3	4	4	4,2	4,4	9	4,1	4	0,19	0,03

Centre
de la
parcelle

- Les résultats sont exprimés en ohms-m

Tableau 2

SONDAGE ELECTRIQUEC H E R F E C HPARCELLE : 4 A

(Répétition) : Ecartement 1 m.

QUALITE : DDATE : 25/2/1977

	4	3	2	1	0	5	6	7	8	n	\bar{x}	Me	S	S ²
1	8,5	7	7	7,9	7,2	8,7	8,8	8,1	7,5	9	7,9	7,9	0,72	0,52
2	7,2	6,5	6,8	7,4	7	7,3	7,4	6,6	6,6	9	7,0	6,8	0,36	0,13
3	5,9	6,1	4,9	4,4	6,8	6,4	7,2	7,2	6,7	9	6,2	6,4	0,98	0,96
4	5,4	5,5	4,2	4,7	6,5	5,6	5,5	5,2	4,8	9	5,3	5,4	0,66	0,43
5	5	5,2	4,5	4,8	5,9	5,5	5,1	4,9	5,1	9	5,1	5,1	0,4	0,16
6	4,5	4,9	4,8	5	5,3	5,3	5,1	5,1	5,4	9	5,0	5,1	0,28	0,08
7	5	4,3	4	4,8	5,4	4,8	4,4	4,3	4,6	9	4,6	4,6	0,43	0,13
8	4,5	4,2	4,3	4,5	5,7	4,4	5,5	4,7	4,9	9	4,7	4,5	0,53	0,28
9	4,5	4,4	4	4,1	4,1	4,1	4,3	4,7	4,6	9	4,3	4,3	0,27	0,07
10	4,1	3,9	3,7	4	3,8	3,7	3,9	3,8	4	9	3,9	3,9	0,14	0,02

centre
de la
parcelle

- Les résultats sont exprimés en ohms-m

Tableau 3

SONDAGE ELECTRIQUEC H E R F E C HPARCELLE : 4D

(Répétition) : Ecartement 1 m.

QUALITE : DDATE : 10/3/1977

	4	3	2	1	0	5	6	7	8	n	\bar{x}	Me	S	S^2
1	8,8	7,6	7,8	3,0	7,9	7,2	8,1	8,3	9,5	9	8,1	8,0	0,68	0,46
2	8,3	7,2	7,6	7,5	7,4	7,0	7,8	7,6	8,4	9	7,6	7,6	0,46	0,21
3	7,0	6,8	6,5	6,1	5,4	6,2	7,5	7,0	7,8	9	6,7	6,8	0,74	0,55
4	7,2	6,4	6,3	5,9	5,3	5,8	6,3	5,9	6,9	9	6,2	6,3	0,58	0,34
5	6,5	6,3	5,9	5,8	4,9	5,6	6,0	6,2	6,3	9	5,9	6,0	0,48	0,23
6	5,0	5,2	5,3	4,8	4,2	4,9	5,2	5,3	6,1	9	5,1	5,2	0,51	0,26
7	4,2	4,7	4,5	4,0	3,2	3,7	4,8	4,4	5,2	9	4,3	4,2	0,61	0,37
8	3,9	4,5	4,4	3,8	3,7	3,4	4,5	4,1	5,0	9	4,1	4,1	0,50	0,25
9	3,7	3,6	3,8	3,5	3,2	3,0	3,8	3,7	4,2	9	3,6	3,7	0,35	0,12
10	4	4,2	3,4	3,5	3,3	3,4	3,8	4,4	4,1	9	3,8	3,8	0,4	0,16

centre
de la
parcelle

- Les résultats sont exprimés en ohms-m

Tableau 4

SONDAGE ELECTRIQUE C H E R F E C H

(Répétition) : Ecartement : 1 m.

Parcelle : 4A

QUALITE : A

DATE : 10/3/1977

	4	3	2	1	0	5	6	7	8	n	\bar{x}	Me	S	S^2
1	16,1	13,3	12,7	13,5	14	14,8	13,2	13,9	15,7	9	14,1	13,9	1,17	1,36
2	14,2	13,5	12,5	12,8	13,2	13,9	14	13,5	13,0	9	13,4	13,5	0,57	0,33
3	13,9	12,9	12,0	12,3	13,1	12	12,5	13	13,3	9	12,8	12,9	0,63	0,4
4	12,3	12,5	12,1	11,8	11,7	12,3	12,3	12,8	12,1	9	12,3	12,3	0,39	0,15
5	13,1	11,4	11,5	11,5	11,9	12,8	11,9	12	10,7	9	11,9	11,9	0,73	0,53
6	12,7	11,8	11,2	11,7	10,7	11,9	11,6	11,3	11,1	9	11,6	11,6	0,57	0,33
7	9,3	8,9	10,7	10,1	8,2	9,4	10	10,5	9,8	9	9,7	9,8	0,79	0,63
8	8,8	9,1	11,0	10,3	9,5	9,8	9,7	10,5	9,1	9	9,8	9,7	0,73	0,53
9	6,8	5,1	5,4	6,0	6,7	6,5	7	6,8	6,1	9	6,3	6,5	0,67	0,45
10	5,2	4,9	4,0	4,4	4,5	4,1	4,7	4,3	4,6	9	4,5	4,5	0,38	0,14

↑
centre
de la
parcelle

- Les résultats sont exprimés en ohms-m

A.3. - Calcul de la conductivité apparente

La résistivité apparente ρ_a est calculée à partir des mesures de I et de ΔV par la formule :

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

où K est un paramètre lié à la disposition du quadripole A.M.N.B.

La conductivité apparente ECa est donnée par :

$$ECa = \frac{1000}{K \cdot \frac{\Delta V}{I}}$$

$$ECa = \frac{1000}{\rho_a \times 100}$$

ρ_a est mesurée en ohm-m

$$ECa = \frac{10}{\rho_a}$$

ECa est donnée en m-mho-cm

Ici on n'a pas tenu compte, de la texture du sol, de l'humidité et des cations échangeables qui interviennent pour modifier la relation ECe/ECa. Puisque ECe n'est qu'un des facteurs de ECa, qui est une mesure plus globale. On n'a donc pas à en tenir compte pour la mesure de ECa mais pour l'interprétation des relations ECa/ECe Rhoades (1971) a proposé un moyen d'en tenir compte par le calcul.

Si la résolution du système pratique ne présente aucune difficulté particulière, il n'en va pas de même pour la résolution du problème de la profondeur d'investigation du courant électrique.

Etant donné cette difficulté, on a essayé de simplifier le problème en toute rigueur, en adoptant conventionnellement une profondeur d'investigation en fonction de la longueur de ligne du sondage électrique. Elle est supposée ici égale au tiers de la longueur AB.

B) Résultats et diagrammes

Vu les résultats de mesures (reportés en annexes) et si l'on fait abstraction de certaines variations et fluctuations plus ou moins marquées et dues probablement soit à des différences du taux d'humidité, soit à une variation latérale granulométrique ou à une mesure mal faite, il semble que la salure varie principalement dans les 50 premiers cm puis semble se stabiliser et conserver une évolution constante en profondeur (cf. tableau 5 et schéma).

L'interprétation de chacune des mesures et surtout de leur évolution est délicate, ce qui tient, à notre avis, avant tout au milieu d'application qui est pratiquement en équilibre, (ce choix a été volontaire pour faciliter cette première approche du problème).

Lorsqu'on reporte les valeurs sur un axe de coordonnées (en coordonnées bi-logarithmiques), on constate que l'ensemble des points du sondage électrique pour les quatre qualités d'eau, traduisent le profil salin. Ces courbes représentant les résistivités apparentes, sont plus facilement compréhensibles, ce qui permet des comparaisons rapides entre deux diagrammes. En général, il existe un certain décalage entre les tronçons successifs du diagramme correspondant au changement de MN, mais il n'est pas trop important, ce qui permet des raccordements assez faciles.

On a essayé de faire une interprétation des courbes de sondage électrique avec la collaboration de Monsieur ANDRIEU, géophysicien à la D.R.E. . Elle consiste en partant du diagramme bi-logarithmique représentant les résistivités apparentes en fonction des demi-longueurs de ligne, à calculer les résistivités vraies et les épaisseurs des diverses couches du sol prospectées. On peut dire pour parler en termes plus mathématiques, qu'il convient de déterminer une fonction $\rho = f(h)$ reliant la résistivité à la profondeur connaissant par les mesures la fonction $\rho_a = f\left(\frac{AB}{2}\right)$ reliant la résistivité apparente à la demi-longueur de ligne.

Les résultats obtenus ne donnent aucune similitude avec les valeurs trouvées (les méthodes d'interprétation géophysique sont applicables à des profondeurs supérieures à celles de notre étude). Il est possible qu'en calculant des diagrammes plus précis (à grande échelle), on arrive à une meilleure correspondance entre résistivité mesurée et calculée.

Le problème réside surtout dans la détermination de la fonction $\rho = f(h)$. Qui résulte, peut-être, d'une répartition inégale du courant

COURBES DES MEDIANES
DE LA RESISTIVITE APPARENTE

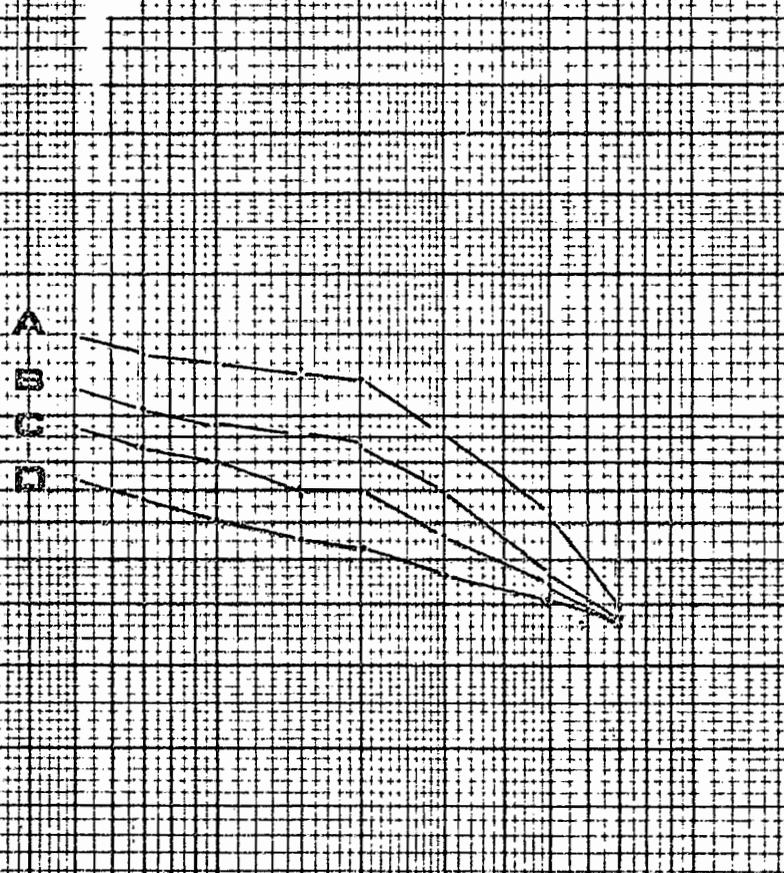
Configuration A

(16 mesures par qualite d'eau)

CENTRE
(Janvier 1977)

A
B
C
D } Representent les quatre
Traitements

A
B
C
D



IMPRIMERIE OFFICIELLE

AB/2 = 1,5 2 3 4 5 7 10 15 20 30 40 50 70 100 150 200 300 400 500 700 1000
MN =

COURBES DES MEDIANES

DE LA RESISTIVITE APPARENTE

Configuration A

(16 mesures par qualité d'eau)

CHERFECH

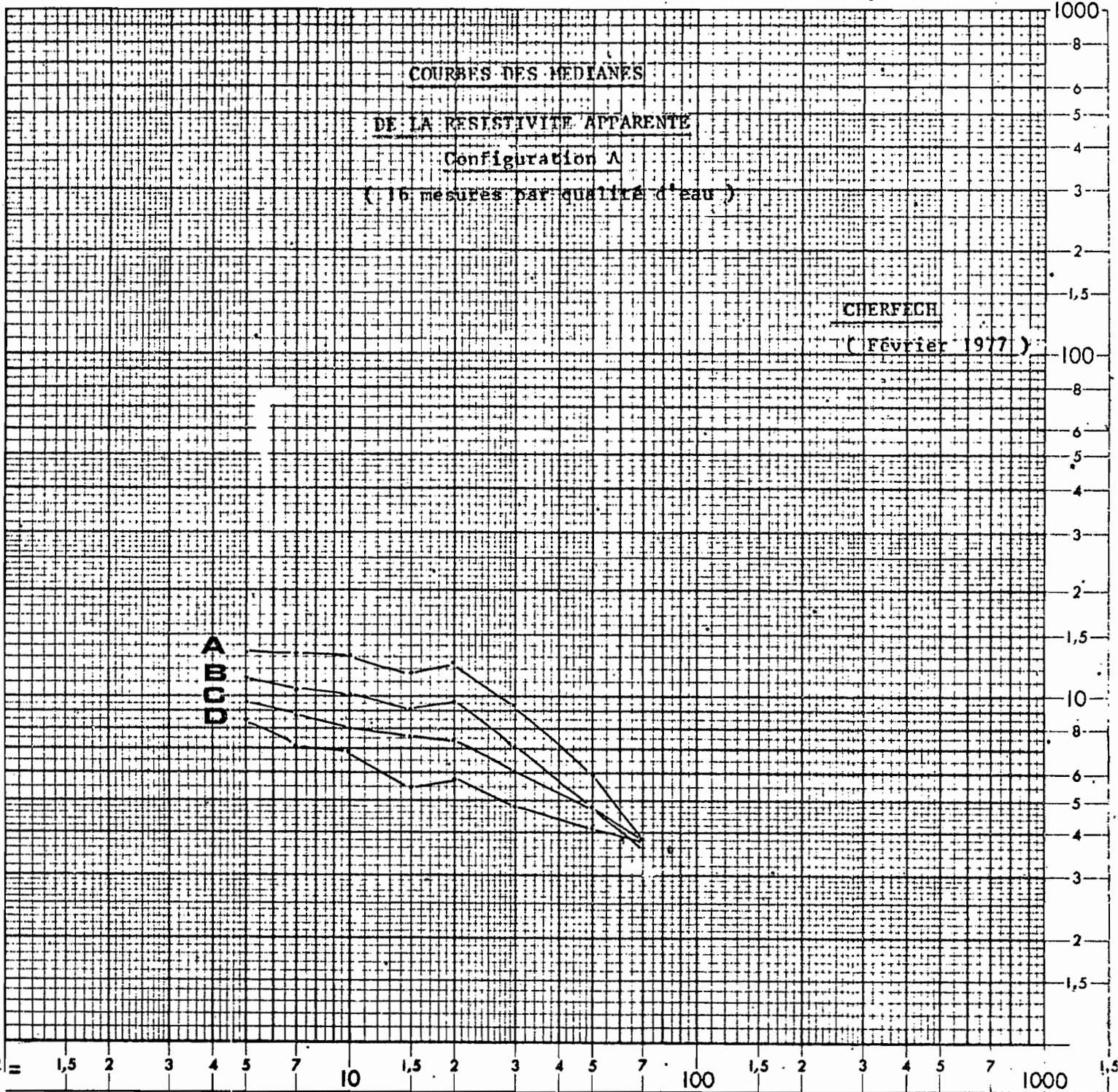
(Février 1977)

A
B
C
D

IMPRIMERIE OFFICIELLE

AB
2

AN



COURBES DES MEDIANES

DE LA RESISTIVITE APPARENTE

Configuration A

(16 mesures par qualite d'eau)

CHERFICH

(Mars-Avril 1977)

A
B
C
D

IMPRIMERIE OFFICIELLE

$\frac{AB}{2} =$ 1,5 2 3 4 5 7 10 1,5 2 3 4 5 7 100 1,5 2 3 4 5 7 1000

MN =

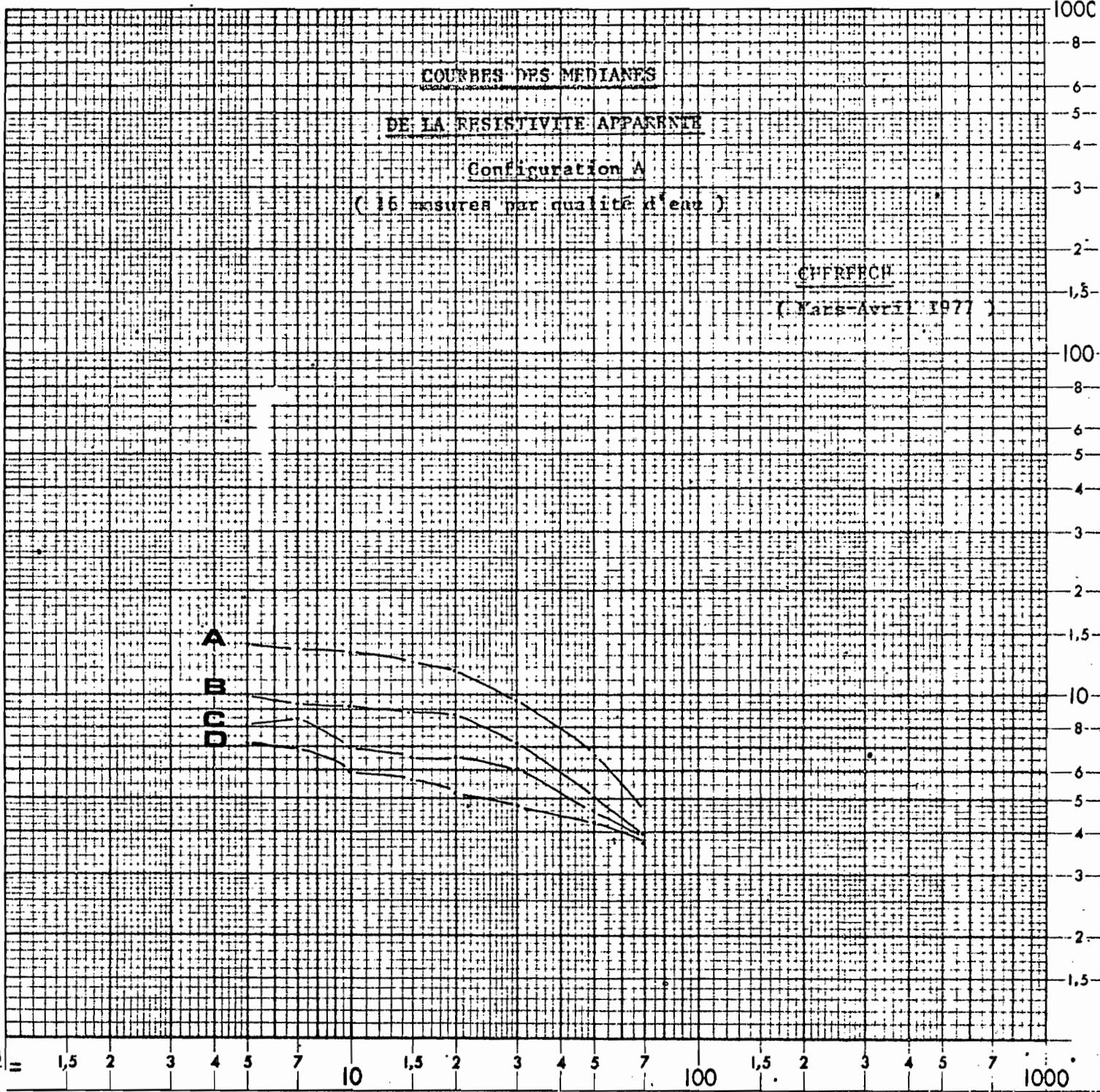


Tableau 5

VARIATION DE ρ_a , ECa et ECe
pour les quatre traitements
 (16 répétitions)

Série de mesure n°	1				2				3			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Résistivité apparente ρ_a	14,4 à 4,3	11,1 à 4,2	9,1 à 3,9	7,5 à 3,7	13,9 à 4,2	11,5 à 4,1	9,1 à 4,2	7,7 à 3,8	14 à 4,5	10,1 à 4,4	8,1 à 4,2	7,2 à 4
Conductivité apparente ECa	0,7 à 2,4	0,9 à 2,4	1,1 à 2,4	1,3 à 2,6	0,72 à 2,3	0,87 à 2,4	1,1 à 2,6	1,3 à 2,7	0,7 à 2,2	1 à 2,3	1,2 à 2,4	1,4 à 2,5
Conductivité de l'extrait ECe	1,8 à 1,4	1,7 à 2,9	3,3 à 7,2	3,2 à 9,3	1,5 à 1,1	2,5 à 5,2	3,2 à 5,2	3,3 à 8,8	1,3 à 0,9	1,6 à 3,2	4,1 à 6,8	6,1 à 9,4

électrique. Autrement dit, pour un écartement donné des électrodes, du courant électrique peut traverser encore des couches situées à une profondeur supérieure à cet écartement. Mais ces couches manifestent leur nature par leur influence sur la répartition du potentiel et du champ en surface et non sur la résistance du circuit.

C) Traitement des données

Nous allons considérer successivement les principales analyses effectuées sur l'ensemble des valeurs obtenues.

Nous avons tout d'abord procéder à une analyse factorielle de correspondance sur l'ensemble des données des sondages électriques.

L'intérêt de cette première analyse factorielle dont nous ne fournissons que les graphiques, était de nous fournir une visualisation commode et plus simplement de nous permettre d'identifier et surtout de distinguer nos quatre qualités d'eau.

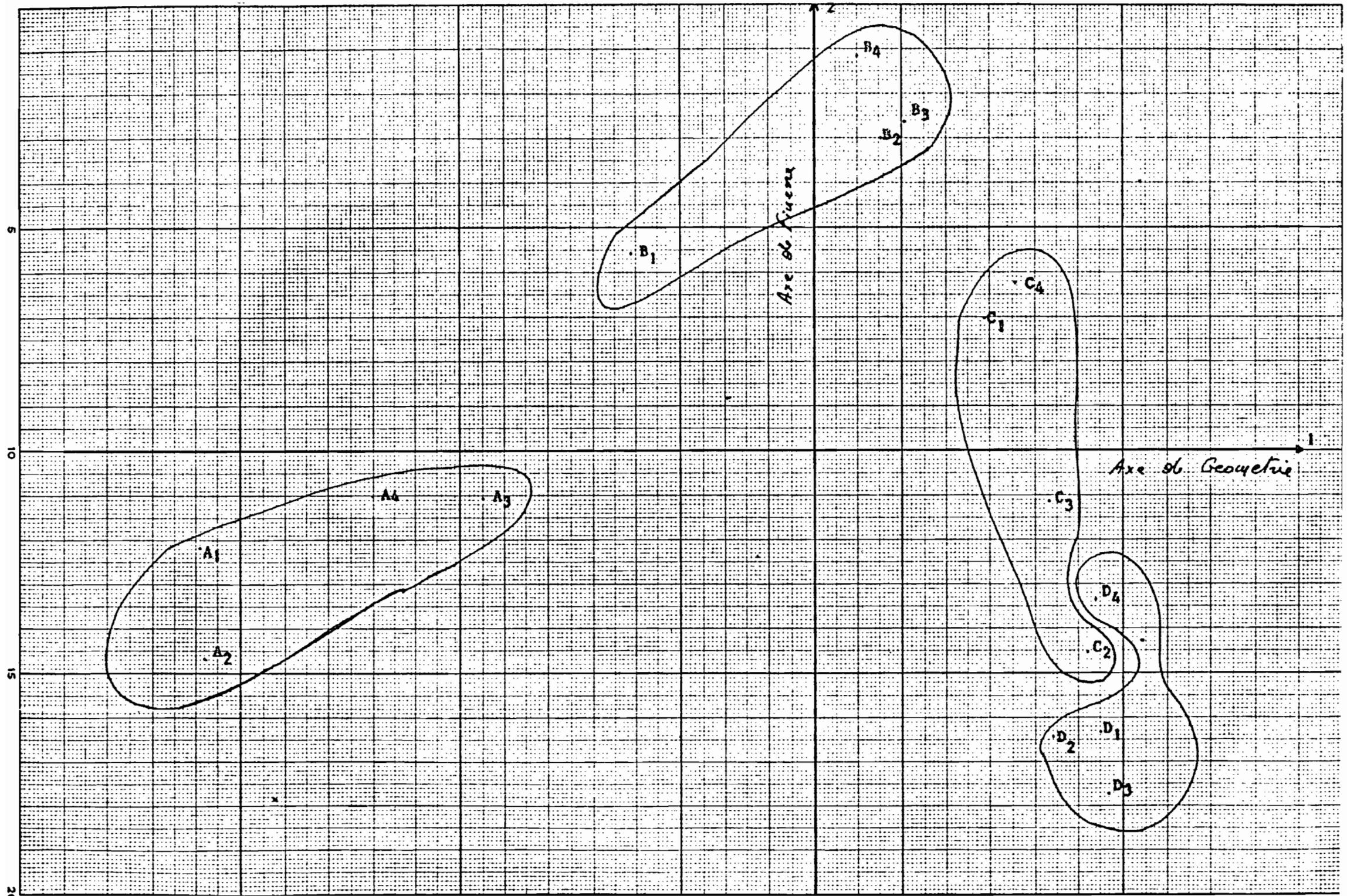
En effet l'un des avantages de cette analyse est la représentation simultanée de deux ensembles (Individus et Caractères), ce qui aide grandement à l'interprétation : un groupement d'individus (ici les qualités d'eau) s'expliquant en bref par les caractères (ici les résistivités) qui sont en proches (BENZECRI J.P. 1966).

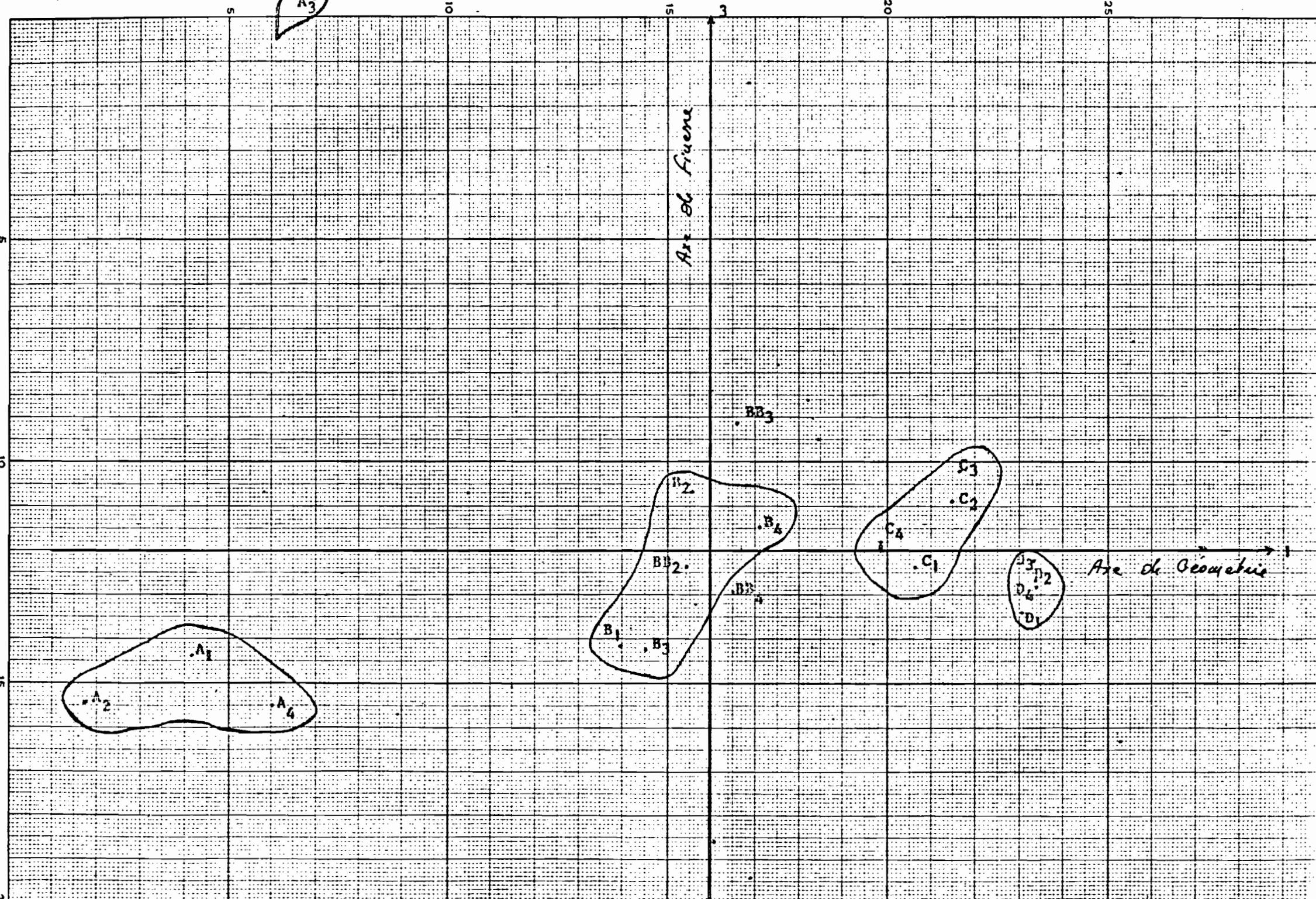
La classification issue du tableau des valeurs de résistivité sépare très bien nos quatre classes de qualité d'eau suivant un arc de cercle sur l'axe 1.

Nous pouvons remarquer que la qualité d'eau C se rapproche beaucoup de la qualité D, ce qui n'est qu'une confirmation des analyses des eaux.

Les variations et l'évolution de l'analyse suivant l'axe de finesse ou d'information ne nous donne aucun renseignement, ce qui est peut-être dû à l'insuffisance du nombre de mesures et de répétitions.

Nous nous bornerons à dire, étant donné la séparation nette de nos quatre qualités d'eau, que la méthode du sondage électrique est assez précise quand à la détermination d'un niveau de salure. Mais il convient d'insister sur la caractère encore fragmentaire des résultats, il serait intéressant de multiplier les observations et les mesures. En plus les résultats obtenus ont une assise étroite car ils sont basés sur une seule série d'expérience, exécutée en milieu pratiquement en équilibre.

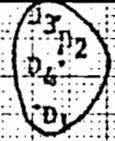
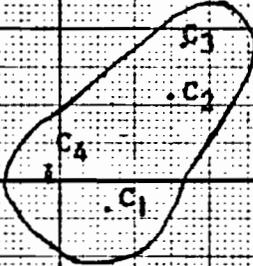
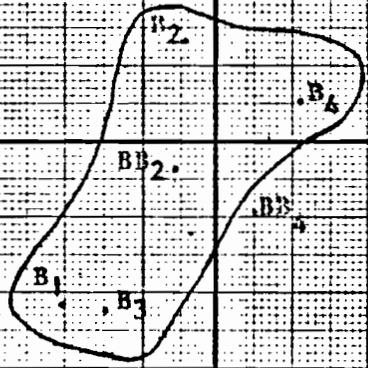


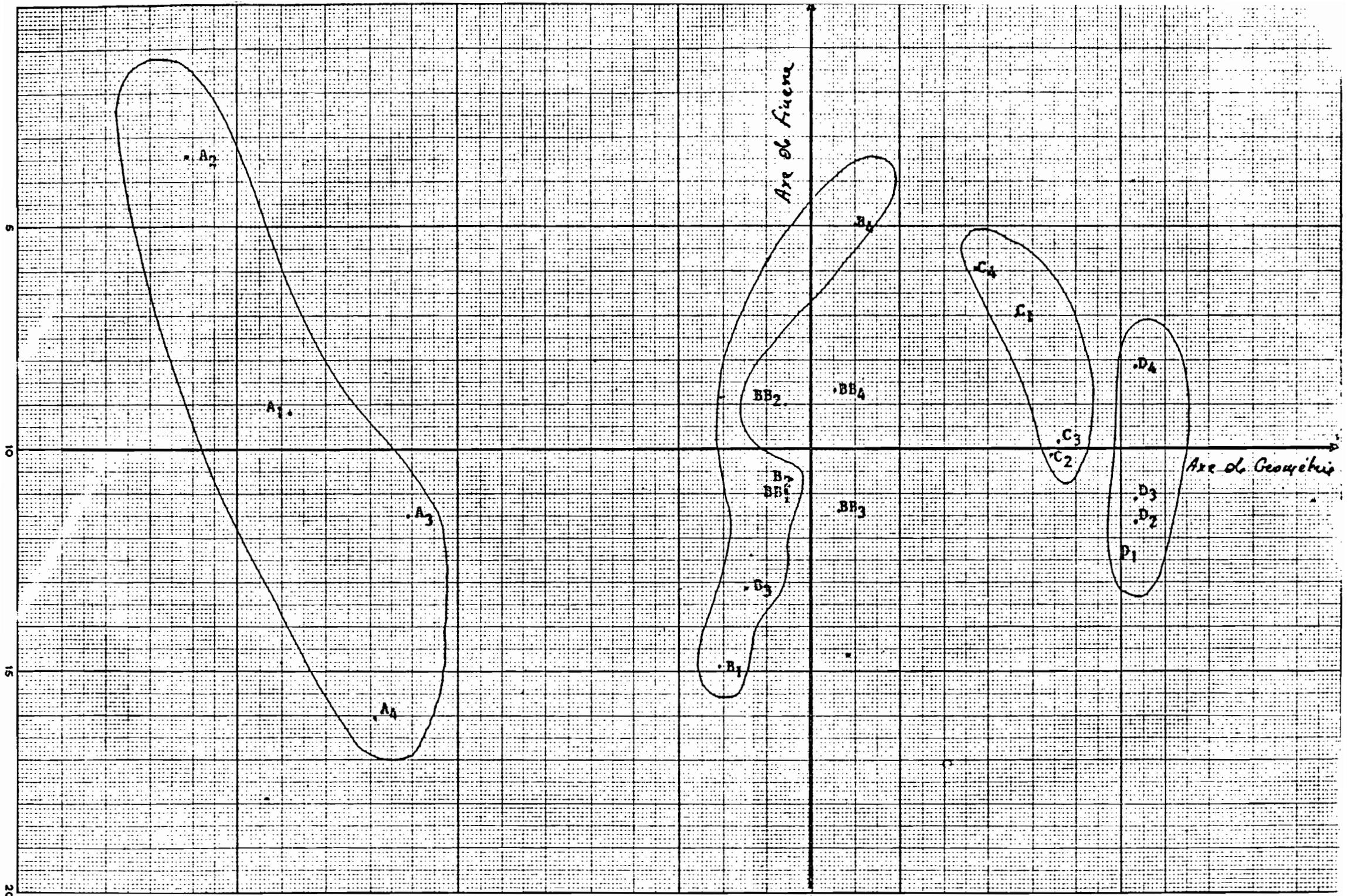


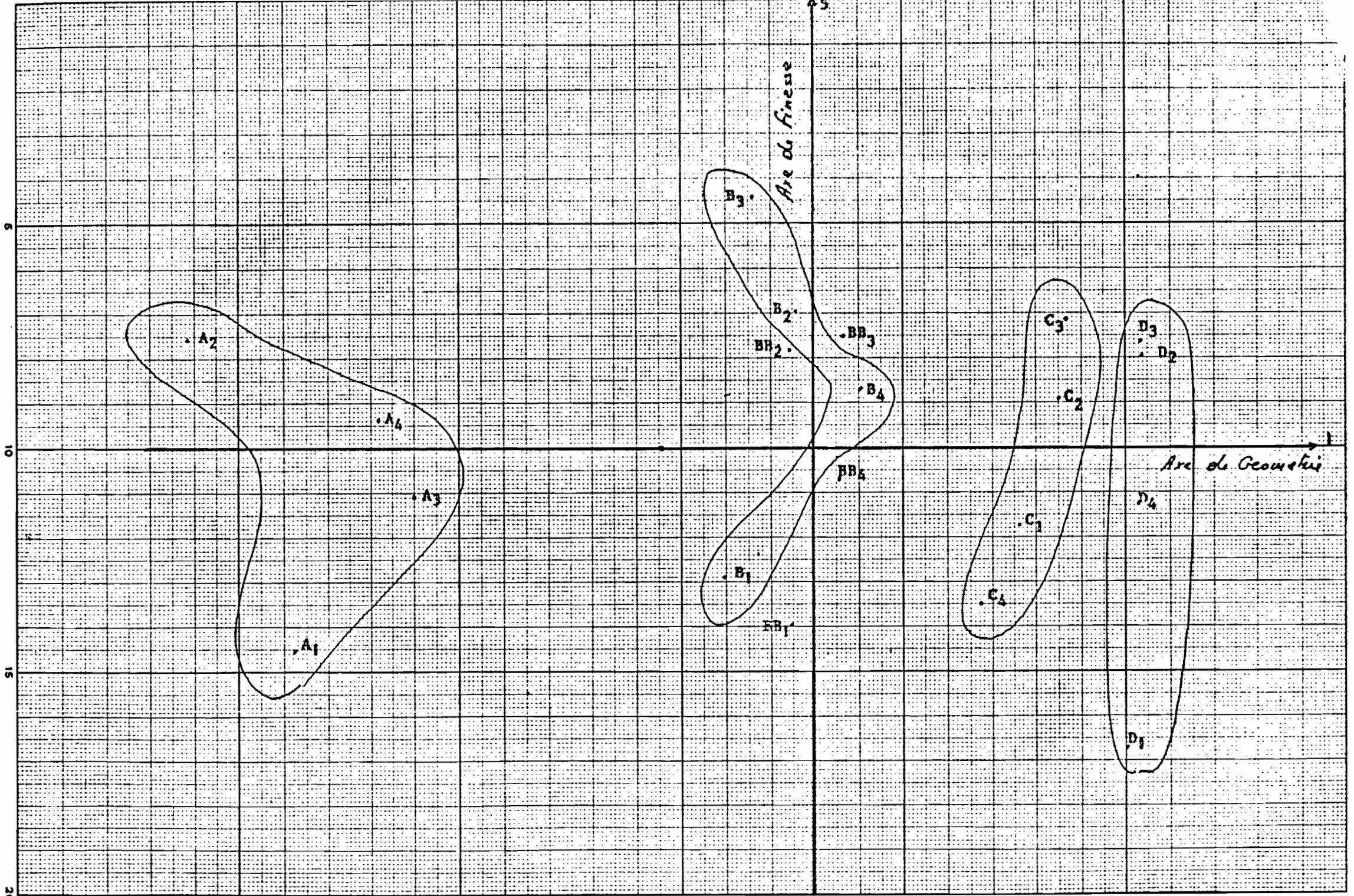
A3

Axe de l'Inertie

Axe de Géométrie







C.1. - Recherche des facteurs de variation de la résistivité

Afin de cerner avec le maximum de précision les variations nous avons essayé de mettre en évidence une quelconque dépendance entre les mesures de résistivité apparente (transformées en ECa) et certaines analyses discriminantes.

Nous avons retenu les rubriques analytiques les plus importantes, à savoir, la granulométrie et l'humidité. Sur l'ensemble de ces données, on a pu faire l'analyse des corrélations multiples. Les résultats sont les suivants :

Pour la configuration A :

$$\begin{aligned} \text{ECa - Humidité} & : Y = 1,995 - 0,031 X \\ & r = 0,091 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ECa - Argile} & : Y = 2,26 - 0,034 X \\ & r = 0,378 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ECa - } \Sigma \text{Argile + Limon} & : Y = 2,17 - 0,15 X \\ & r = 0,351 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ECa - Sable grossier} & : Y = 1,51 - 0,29 X \\ & r = 0,235 \end{aligned}$$

Pour la configuration A, 2ème analyse :

$$\begin{aligned} \text{ECa - Humidité} & : Y = 1,76 X + 21,1 \\ & r = 0,477 \end{aligned}$$

Pour la configuration B :

$$\begin{aligned} \text{ECa - Humidité} & : Y = 0,826 X + 22,33 \\ & r = 0,150 \end{aligned}$$

Les résultats obtenus sur l'ensemble des profils ne marquaient aucun rôle particulier de ces deux facteurs sur la conductivité apparente ECa.

L'humidité est très faiblement et négativement corrélée avec ECa, du moins pour la première analyse, elle l'est beaucoup plus pour la seconde.

C.2. - Etude de la relation ECa/E_{Ce}

Pour la relation entre E_{Ce} et E_{Ca} on s'est limité à l'établissement de corrélation simple et au tracé des droites de régression.

Les calculs ont été fait pour les trois séries de mesures aussi bien pour la configuration A que pour la configuration B. Le tableau suivant résume toutes les équations des droites de régression et des coefficients de corrélation.

1ère série de mesures

Configuration A Y = 0,170 X + 0,640
 r = 0,631
 n = 49

2ème série de mesures

Configuration A Y = 0,181 X + 0,610
 r = 0,573
 n = 56

Configuration B Y = 0,160 X + 0,590
 r = 0,752
 n = 56

3ème série de mesures

Configuration A Y = 0,158 X + 0,545
 r = 0,583
 n = 56

Configuration B Y = 0,170 X + 0,551
 r = 0,575
 n = 56

Comme nous pouvons le voir, la corrélation entre E_{Ce} et E_{Ca} n'est pas fortement expliquée, sauf pour les moyennes des mesures (huit répétitions) des quatre qualités d'eau où cette corrélation est expliquée à plus de 70 % (r = 0,745).

Ceci ne nous permet pas de conclure pour cette corrélation E_{Ce} - E_{Ca}, ni de confirmer ce que les Américains ont déjà trouvé. (Rhoades pour son travail sur petite parcelle de 3 x 4 m à trouvé une corrélation de l'ordre de 98 %).

CORRELATION EGe - ECa

Configuration A (1^{er} série de mesures)

Profile	Value
3A2	○
7A4	○
4C2	+
6C3	*
5B3	△
1B1	△
2D1	⊗

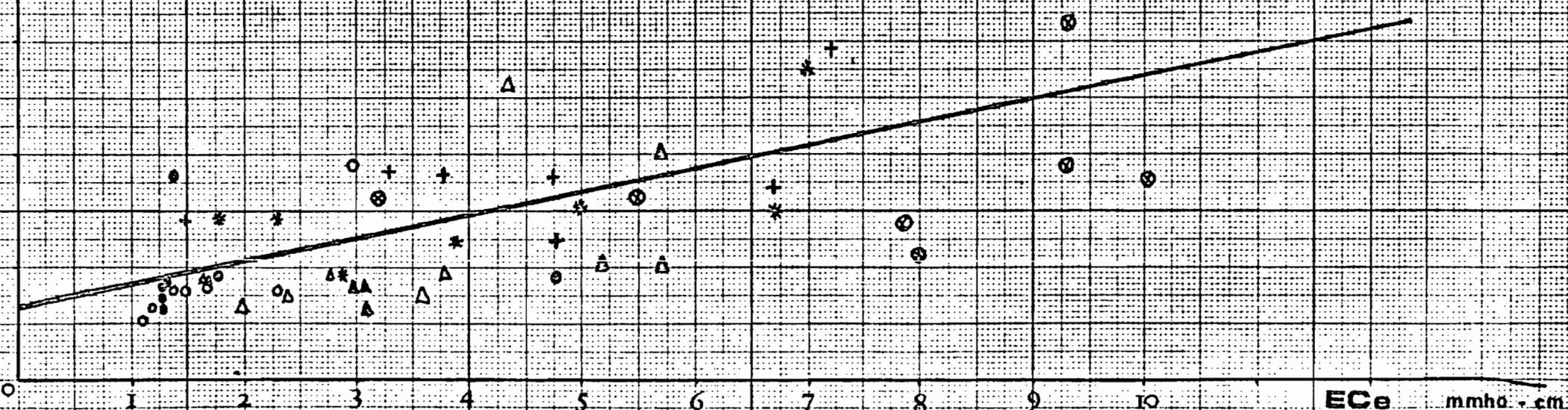
$$Y = 0,170 X + 0,640$$

$$r = 0,631$$

$$n = 49$$

ECA mmho · cm

EGe mmho · cm



Correlation Ece - ECa

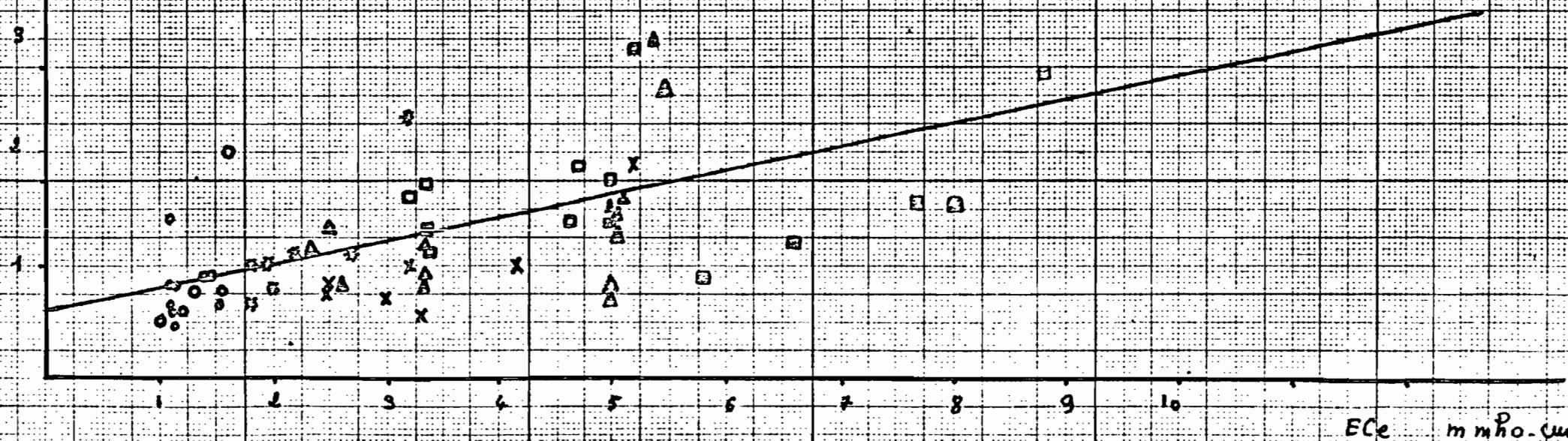
Configuration A (2^{ème} série de mesures)

$$y = 0,181 \cdot x + 0,610$$

$$r = 0,573$$

$$n = 56$$

o	Profil	3Ae
x		7A4
*		1B2
+		5B3
△		4C2
□		6C3
▲		9D1
◇		8D4



Corrélation E_{ce} - E_{ca}

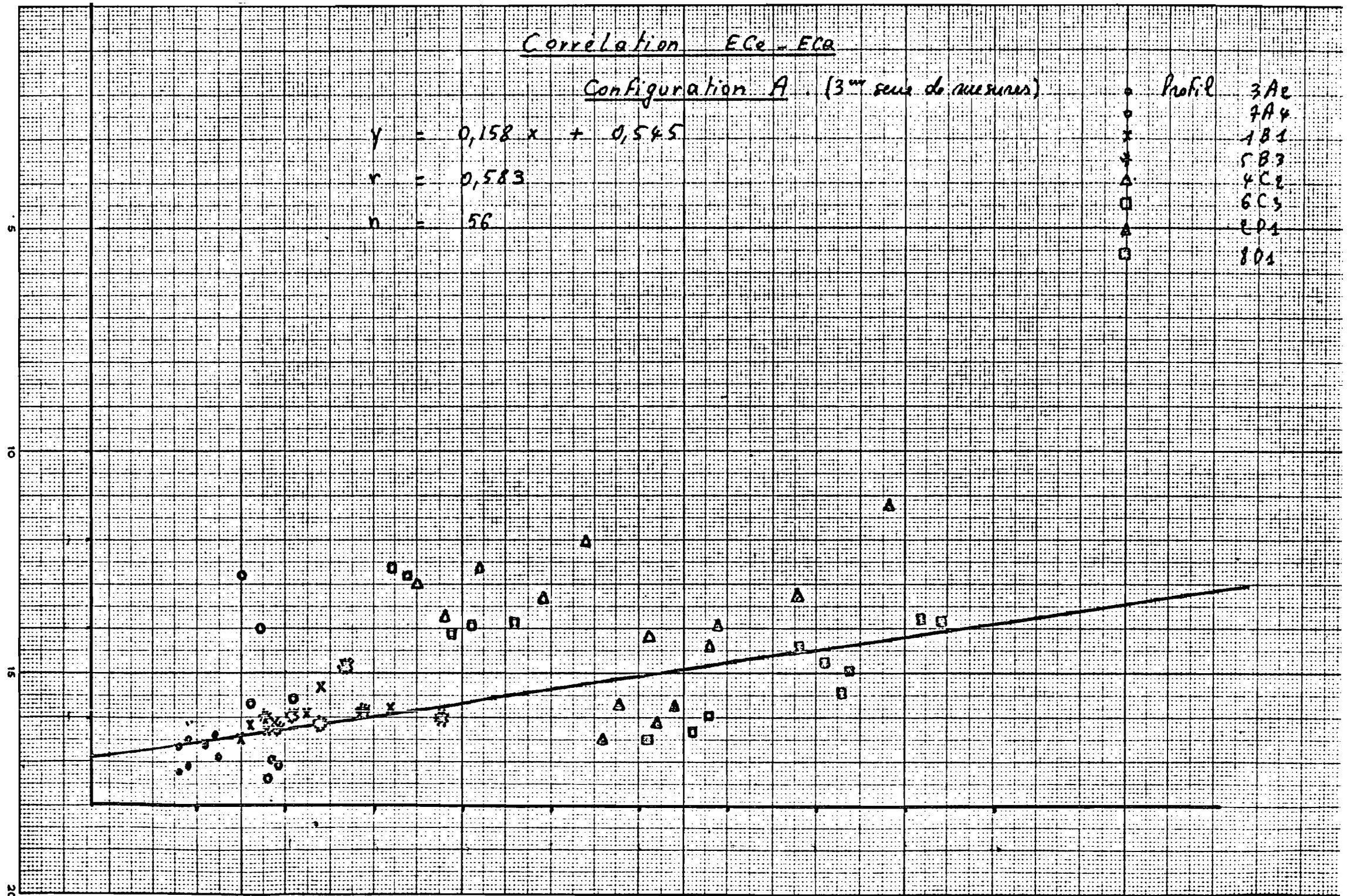
Configuration A (3^{me} série de mesures)

$$y = 0,158x + 0,545$$

$$r = 0,583$$

$$n = 56$$

- | | | |
|---|--------|-----|
| ○ | profil | 3Ae |
| ○ | | 7A4 |
| x | | 1B1 |
| x | | 5B3 |
| △ | | 4C2 |
| □ | | 6C3 |
| △ | | 8D1 |
| ○ | | 8D1 |



ECa mmho-cm

Correlation ECe - ECa

Configuration A

Ensemble des mesures

Profil

$y = 0,140 x + 0,680$

$r = 0,694$

$n = 161$

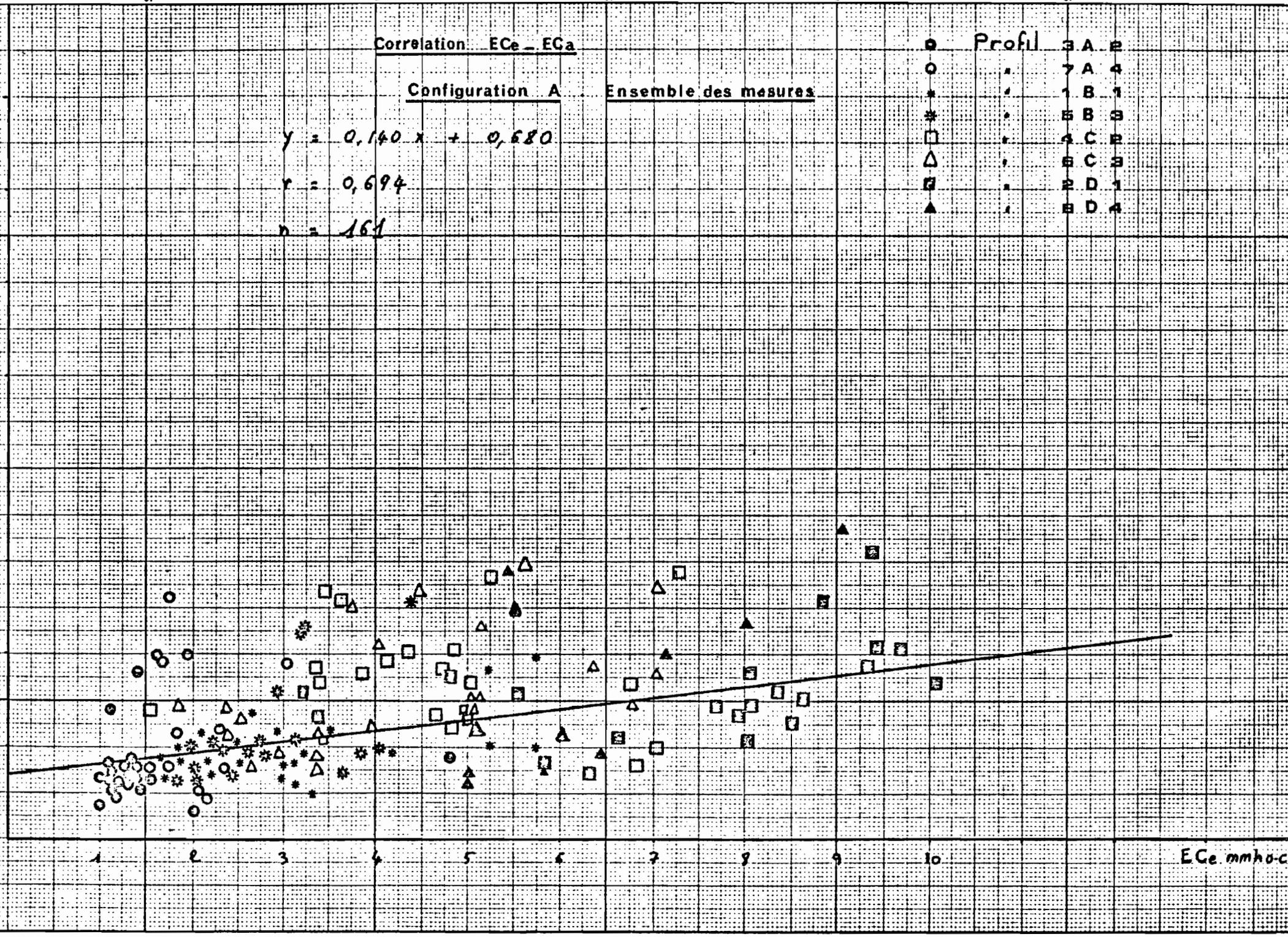
- : 7 A 4
- * : 1 B 1
- ✱ : 5 B 3
- : 4 C 2
- △ : 6 C 3
- ◻ : 2 D 1
- ▲ : 8 D 4

5

10

15

20

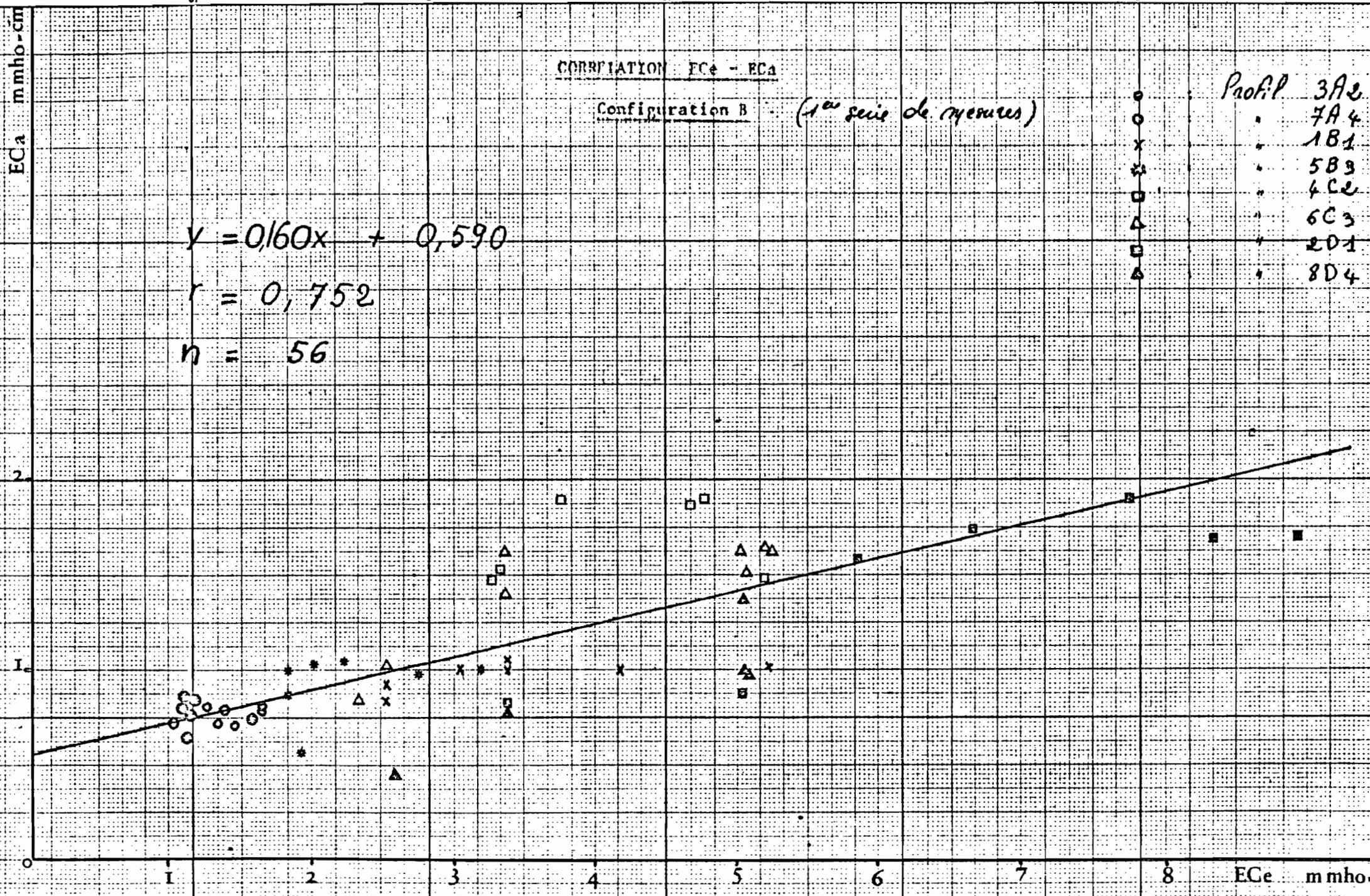


CORRELATION ECe - ECa

Configuration B (1^{er} serie de mesures)

Profil 3A2
 • 7A4
 • 1B1
 • 5B3
 • 4C2
 • 6C3
 • 2D1
 • 8D4

$y = 0,160x + 0,590$
 $r = 0,752$
 $n = 56$



Correlation E_{Ce} - E_{Ca}

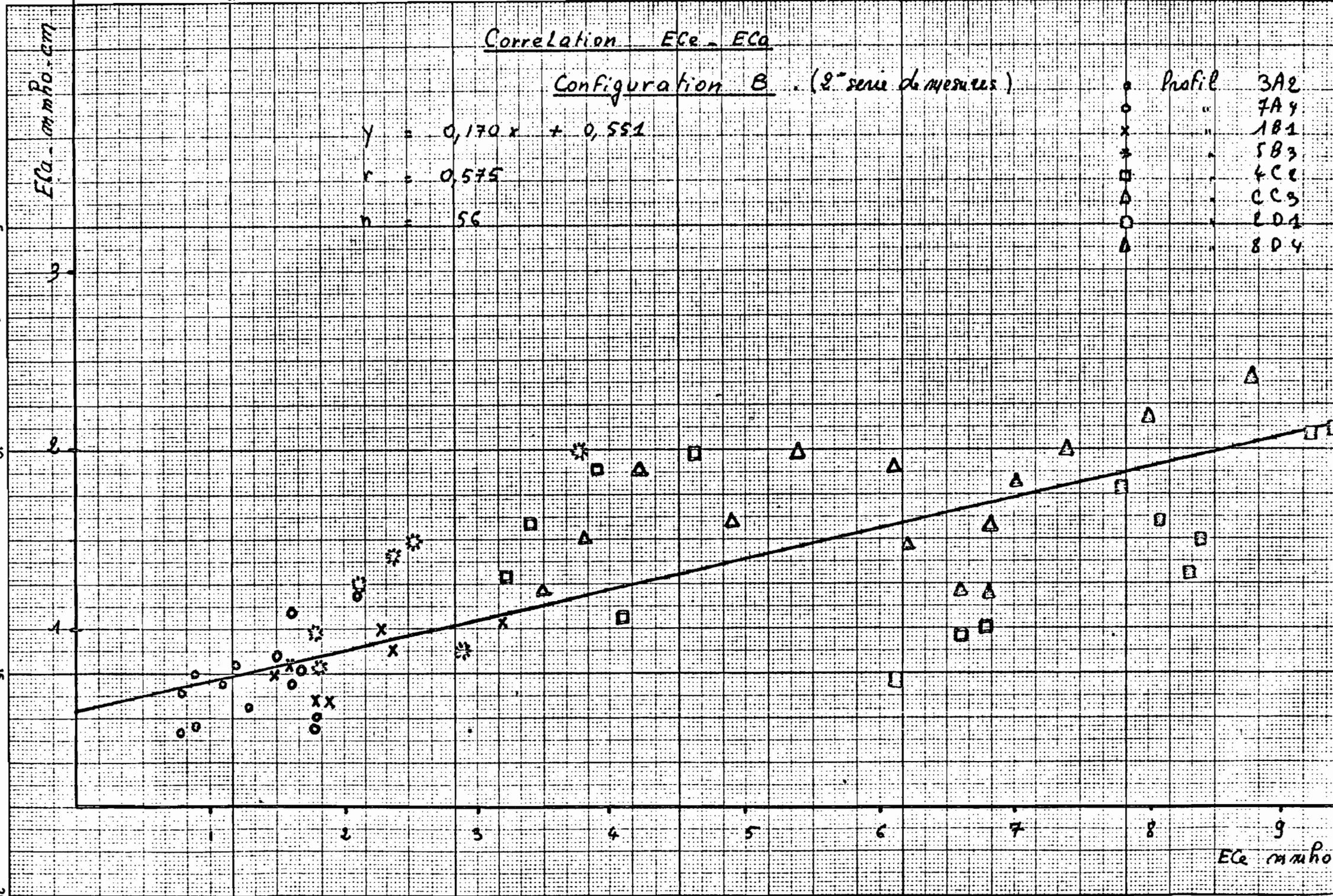
Configuration B (2^e série de mesures)

$y = 0,170x + 0,551$

$r = 0,575$

$n = 56$

- Profil 3A2
- " 7A4
- x " 1B1
- * " 5B3
- " 4C2
- △ " CC3
- " 2D4
- △ " 8D4



Correlation ECe - ECa

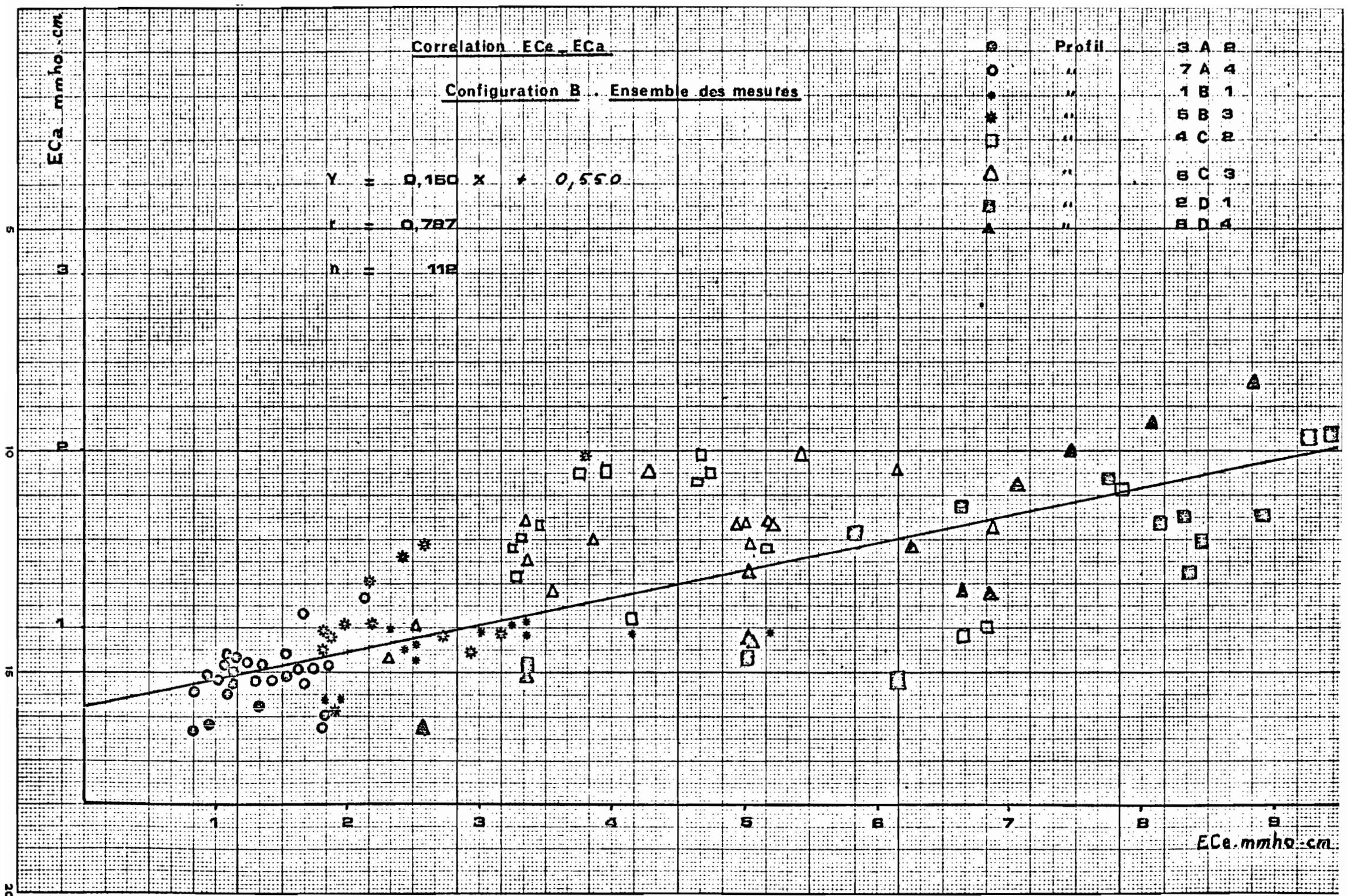
Configuration B .. Ensemble des mesures

$$Y = 0,160 X + 0,550$$

$$r = 0,787$$

$$n = 112$$

Symbol	Profil	3	A	B
○	"	7	A	4
●	"	1	B	1
*	"	5	B	3
□	"	4	C	2
△	"	6	C	3
◻	"	2	D	1
▲	"	8	D	4



CORRELATION ECe - ECa

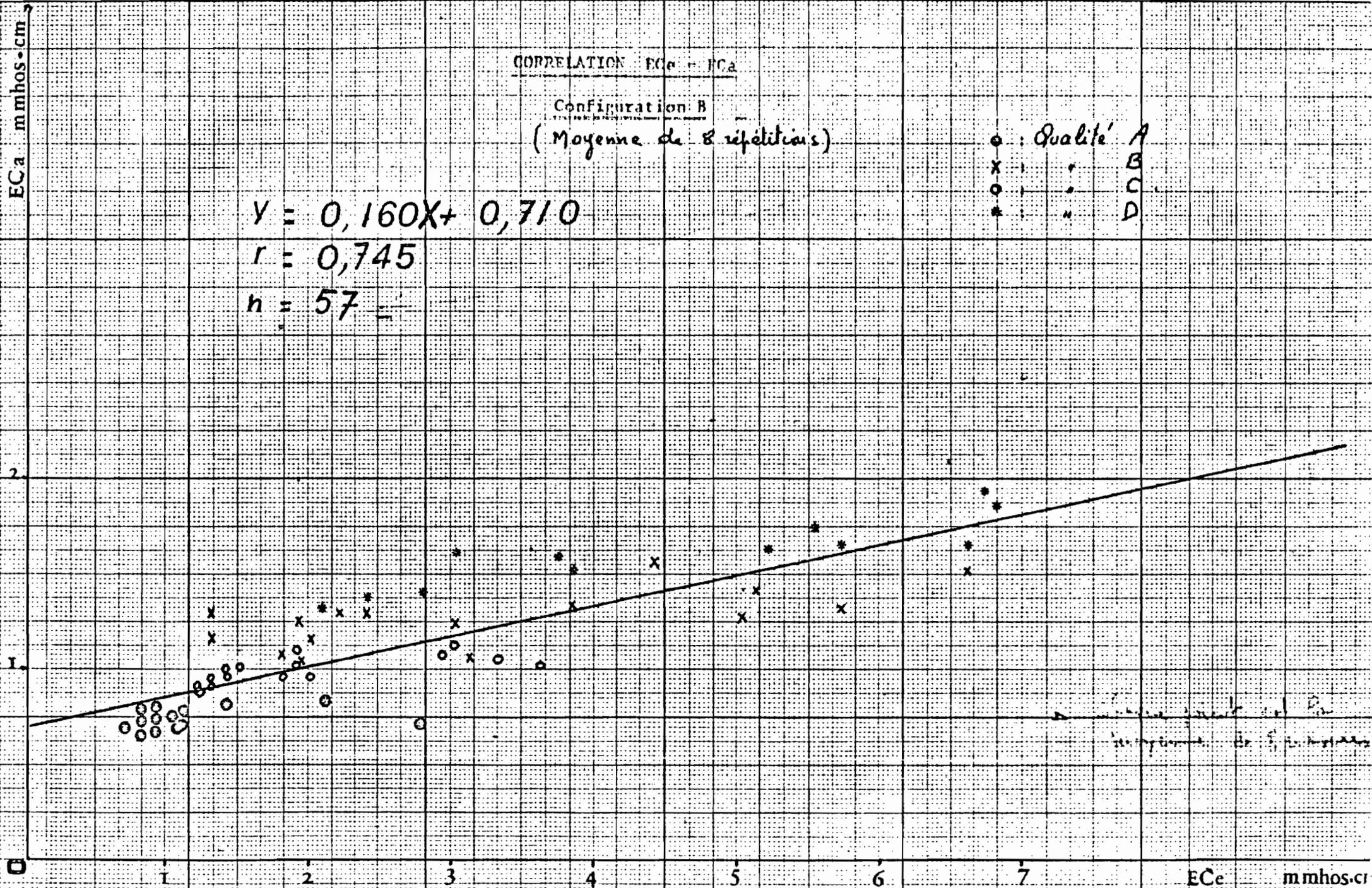
Configuration B
(Moyenne de 8 répétitions)

o : Qualité A
x : " B
o : " C
* : " D

$$Y = 0,160X + 0,710$$

$$r = 0,745$$

$$n = 57$$



CONCLUSION GÉNÉRALE

Voici donc présentée cette application de la méthode du sondage électrique avec ces deux volets théorique et pratique.

Nous avons tenté dans une étude d'offrir une vue globale de cette technique abordée sous l'angle de son utilisation pour le diagnostic et le contrôle de la salure.

Les résultats substantiels déjà acquis nous permettent de préciser les thèmes principaux des travaux à venir et d'évoquer quelques problèmes méthodologiques ou pratiques de cette technique.

L'exemple d'application choisi est local et particulier, dans le sens qu'il serait intéressant d'étendre cette étude à d'autres zones à titre comparatif et une généralisation de ces variations tout à fait locales. De ces compléments de travaux souhaités, il résulterait peut-être que le caractère de dépendance ($E_{Ca} - E_{Ce}$) ayant servi de base à notre étude se trouverait confirmé et renforcé. On pourrait également espérer découvrir de nouvelles corrélations, ou l'établissement de relations plus significatives entre les mesures de résistivité et tout autres variables intéressant directement la salure. Nous pensons aussi à l'évolution spatio-temporelle des mesures qui nécessitera vraisemblablement un matériel plus adapté pour les applications en continu. Si l'on tient compte du fait qu'il s'agit d'exploiter des données provenant d'une variable dépendante et en constante évolution, pour une expérience qui n'est encore qu'à ses débuts, une précision s'impose de bien délimiter le domaine dans lequel les enseignements retirés sont valables.

Nous pensons au problème relatif à l'exécution des mesures au champ, qu'il faudrait faire avec le plus grand soin, car la moindre inattention soit dans la pose des électrodes ou dans l'exécution de la mesure par le potentiomètre, risque d'entraîner des erreurs de mesures qui rendraient le sondage inutilisable.

Le problème le plus important, à notre avis, est celui posé par la définition d'une grandeur réelle, à savoir la profondeur d'investigation, qui permettra une étude comparative à plusieurs niveaux et à plus ou moins long terme avec les analyses de laboratoire.

Il nous semble utile de rappeler ici qu'il s'agit dans tous les cas de l'expression d'un potentiel de salure.

Ceci nous mène à délimiter des secteurs à priori importants, à extrapoler certains résultats et à implanter judicieusement les profils de sondage. Pour cela nous pensons que plus le nombre de mesures sera grand, plus il sera possible d'effectuer un traitement de données en série chronologiques, méthode qui sera certainement la plus adaptée et la plus efficace quand à l'observation et l'interprétation de l'évolution des mesures.

Néanmoins, il apparaît à travers ce modeste travail que la méthode est un moyen d'avenir pour traiter l'important problème de la conduite d'un périmètre irrigué en vue du contrôle de son taux de salure et de sa rentabilité optimale.

Il s'agit par conséquent d'une méthodologie qui dépassera le stade d'approche dans la connaissance d'un milieu salé pour devenir un moyen d'investigation de ce dernier, particulièrement dans des régions où la salure est importante, ou ayant un obstacle quelconque qui élimine toute observation directe.

Notons aussi que c'est une méthode à mise en oeuvre rapide et à moindre frais comparée aux autres méthodes classiques, et en regard des surfaces qu'elle permet de reconnaître.

La validité des sondages électriques mais aussi leur précision, permettent d'envisager la construction de modèles physiques, afin d'améliorer les possibilités d'une telle méthode dans l'étude de la salure.

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

- ALBOUY (Y.), PION (J.C.), WACHERMAN (J.M.) -
Application de la prospection électrique à l'étude des
niveaux d'altération.
- ANDRIEU (M.) - Communication verbale
- BELKHODJA (K.) - 1970 - Origine, évolution et caractère de la salinité dans les
sols de la plaine de Kairouan (Tunisie Centrale).
Contribution à l'étude de leur mise en valeur.
- BELKHODJA (K.) - 1971 - Salinité et humidité des sols.
Estimation de la salinité de la solution du sol.
- CHEVERRY (Cl.) - 1972 - Exemple d'application des travaux de "U.S. Salinity
Laboratory " 1963-1968 sur l'alcalisation des sols soumis à
l'action bicarbonatée.
Cahiers ORSTOM Série Pédologie Volume X n° 2
- DAURES (R.) - 1974 - Utilisation des méthodes électriques en courant continu
appliquées à des problèmes hydrogéologiques en terrain karsti-
ques.
Thèse de 3ème cycle Faculté Des Sciences de Montpellier.
- DORBATH (C.), FROIDEVAUX (P.), BLOT (A.) et CARN (M.) -
Application des propriétés de résistivité des terrains
d'altération à la connaissance de la tectonique du massif
de Soraya (Sénégal Oriental).
Cahiers ORSTOM Série Géol. Vol. VII n° 2 - 1975 - p. 111
- HALVORSON (A.D.), RHOADES (T.D.) - 1974 -
Assessing Soil Salinity and identifying potential saline-seep
areas with field soil resistance measurements.
Soil Scien. Soc. Amer. Proc. Vol. 38
- KUNETZ (G.) / SLI - 1958 -
Prospection électrique. Traité C.G.G. Paris.

- LOUIS (P.) - 1970 - Contribution géophysique à la connaissance du Bassin du Lac Tchad.
Mém. ORSTOM n° 47.
- LOYER (J.Y.), SUSINI (J.) - 1977 -
Réalisation d'un ensemble automatique pour la mesure en continu et "in-situ" du pH, du Eh et du pNa du sol.
- MAMI (A.) -
Communication verbale.
- PASCAL (G.) - 1970 - Etude expérimentale de l'emploi des abaques auxiliaires pour l'interprétation des sondages électriques.
Cahiers ORSTOM - Série Géophysique n° 10.
- Rapport Technique : Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées.
Techn. Rpt/UNESCO/UNOP (SF) TUN. 5
- RHOADES (J.D.) -
Measuring, mapping and monitoring field salinity and water table depth with soil resistance measurements.
U.S. salinity Laboratory .
Supervision Soil scientist. U.S. DA.
- SERVANT (T.) - 1970 - Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols. Conséquences pédologiques.
Sciences du Sol. p. 2-87
- SERVANT (T.) - 1971 - Bull. A.F.E.S. n° 6
- SLAMA (F.), BOUAZIZ (E.) - Irrigation à l'eau salée.
Résultats de la station de Cherfech.
Cahiers C.R.G.R. n° 3

A N N E X E S

- Tableaux des résultats des mesures
- Exemple de tableau de mesures d'une couverture

TABLEAU DES RESULTATS

Date : 3/2 au 21/2. 1977

1ère série de mesures - Configuration A

Profil n°	Résistivité apparente $\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$ Ω-m							Conductivité apparente ECa m-mho-cm							Conductivité de l'extrait ECe m-mho-cm						Humidité %							
	0-33	33-46	46-66	66-100	100-133	133-200	200-233	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
3A ₂	10,7	10,4	10,8	11,1	13,1	9,8	6	0,93	0,94	0,61	0,69	0,83	0,80	1,78	1,8	4,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	21,3	24,1	23,4	22,2	23,3	23,5	24,7
7A ₄	13,6	13,7	11,9	11	11,5	7,5	4,9	0,74	0,74	0,50	0,63	0,83	0,83	2,05	1,5	1,4	1,1	1,2	1,7	2,3	2,9	20,6	20,7	28,4	22,8	23,0	23,9	24,2
4C ₂	8,3	7,8	8	8	10,1	7,5	4,9	1,75	1,72	1,15	1,43	1,78	1,70	3,04	3,3	3,8	4,8	1,5	4,8	6,7	7,2	18,7	24,9	22,6	24,7	23,7	24,7	24,8
6C ₃	7,4	7,4	7	6,2	6,4	5,2	4	1,35	1,35	0,89	1,13	1,49	1,45	2,88	1,8	2,3	2,9	3,9	5,1	6,7	7,0	22,7	23,7	24	22,9	23,6	23,7	24,3
5B ₃	11,9	10,5	10,5	9,3	9,3	7,4	3,7	0,84	0,88	0,58	0,73	0,99	0,99	2,63	1,7	1,7	1,9	2,4	2,8	3,8	2,90	22,5	22,6	22,3	22,9	22	24,6	24
1B ₁	12,4	10,8	10,2	9,4	8,8	7,2	5,7	0,74	0,85	0,57	0,74	1,02	1	2	3,2	3	3,1	3,6	5,2	5,7	5,7	25,5	24,8	22,7	23,5	24,8	24,7	27,7
2O ₁	6,3	5,9	5,8	5,1	4,7	4,4	4,1	1,59	1,63	1,07	1,37	1,90	1,83	3,15	3,2	5,5	8	7,9	9,3	10,1	9,34	22,8	24,1	22,3	22,9	23,8	23,7	15,3

TABEAU DES RESULTATS

Date : 10/3 au 25/3/.1977

2ème série de mesures - Configuration A

Pro- fil n°	Résistivité apparente							Conductivité apparente							Conductivité de l'extrait						Humidité %																	
	$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad \Omega\text{-m}$							ECa							m-mho-cm						ECe						m-mho-cm						Humidité %					
	0- 33	33 46	46 66	66 100	100 133	133 200	200 233	0- 20	20 40	40 60	60 80	80 100	100 120	120 140	0- 20	20 40	40 60	60 80	80 100	100 120	120 140	0- 20	20 40	40 60	60 80	80 100	100 120	120 140										
3A ₂	15,6	14,1	13,2	11,4	10,9	9,4	8,3	0,64	0,66	0,45	0,59	0,82	0,80	1,46	1,54	1,08	1,12	1,08	1,08	1,08	1,08	20	23,1	22,8	21,7	23,1	24,1	25,8										
7A ₄	13,3	13	12,6	12	11,7	7,9	5,3	0,75	0,75	0,49	0,61	0,85	0,85	1,97	1,51	1,30	1,01	1,24	1,35	1,39	1,61	22,9	22,3	23,3	24,2	25,5	26	26,7										
1B ₁	13,3	10,7	10,2	9,3	10,1	7,5	5,9	0,75	0,81	0,55	0,73	0,95	0,94	1,91	2,49	2,49	3,32	2,91	3,32	4,15	5,24	21,2	22,9	22	24,1	24,3	24,3	26,5										
5B ₃	9,8	10,1	8,8	9,3	8,7	6,9	4,9	1,01	1,0	0,65	0,80	1,13	1,09	2,27	1,85	1,76	1,76	1,97	2,23	2,73	3,15	23,7	24	23,7	23,2	22,5	26,4	27,2										
4C ₂	6,1	5,6	5,2	5	5,3	4,7	4,4	1,64	1,69	1,13	1,42	1,85	1,75	2,98	3,19	3,28	3,70	4,62	4,70	4,96	5,18	22,2	27,2	20,6	21,6	22,4	23,6	24,6										
6C ₃	8,9	6,5	7,0	6,2	5,5	5,2	3,8	1,12	1,27	0,84	1,09	1,57	1,51	3,01	2,32	2,49	3,32	3,32	5,15	4,98	5,26	16,4	17,5	20,6	21,6	22,4	23,6	24,6										
2D ₁	7,7	6,9	6,4	5,7	5,6	5,1	4,9	1,30	1,35	0,91	1,19	1,63	1,56	2,66	3,32	4,98	5,81	6,64	7,74	8,3	8,75	21,6	22,6	21,6	22,4	23,6	23,3	24,6										
8D ₄	12,6	9,6	7,5	9	5,5	5,4	4,4	0,79	0,88	0,64	0,80	1,35	1,32	2,61	2,57	3,32	4,98	4,98	4,98	4,98	5,35	19,4	20,5	20,9	21,3	22,8	23,5	25,5										

TABLEAU DES RESULTATS

Date : 7/7 au 14/7.1977

3ème série de mesure - Configuration A

Profil n°	Résistivité apparente $\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \Omega\text{-m}$							Conductivité apparente ECa m-mho-cm							Conductivité de l'extrait ECe m-mho-cm							Humidité %						
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
3A ₂	12,7	12,8	14,3	9,3	12	10,8	11,2	0,79	0,78	0,7	1,08	0,83	0,93	0,89	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	14,5	15,5	19,2	23	24,2	24	25,7
7A ₄	7,3	8,2	8,7	8,2	14,3	11,7	9,3	1,37	1,22	1,15	1,22	0,7	0,85	1,08	2,1	1,6	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	15,9	16,5	21,4	27	25	29,9	26,5
1B ₁	10,8	13,5	11,8	10,6	9,6	7,7	9,1	0,93	0,74	0,85	0,94	1,04	1,30	1,1	1,6	1,5	1,8	1,9	2,3	2,4	3,2	14,8	15,3	16,4	19,2	21,4	24,5	25,7
5B ₃	9,6	10,4	11,5	5,4	6,4	9,4	10	1,04	0,96	0,87	1,86	1,57	1,07	1	2,1	1,8	1,9	2,4	2,7	2,9	3,8	15,3	16,8	20,1	21,6	23	23,5	24,2
4C ₂	4,9	3,8	3,7	5,2	4,9	11,4	9,8	2,04	2,63	2,7	1,92	2,04	0,88	1,02	4,1	3,4	3,2	3,9	4,6	6,6	6,8	16	18,1	20,4	21,6	22,8	24,3	25,7
6C ₃	4	4,8	3,7	4,3	3,3	5,3	5,7	2,5	2,1	2,7	2,35	3,04	1,88	1,77	3,5	3,8	4,2	4,9	5,4	6,1	6,8	15,2	16,9	14,6	18,8	21,6	22,2	24,5
2D ₁	14,7	7,8	5,6	6,8	6,2	4,7	4,8	0,68	1,28	1,79	1,47	1,61	2,13	2,08	6,1	8,3	7,8	8,4	8,1	9,2	9,4	15,1	16,8	20,4	22,1	23,8	24,5	25,7
8D ₄	13	11,8	8,9	9,3	4,9	4,3	2,9	0,77	0,85	1,12	1,08	2,05	2,35	3,42	6,6	6,2	6,8	7,4	6,9	7,8	8,8	16,4	17,3	21,2	24	24,5	23,6	24,8

TABLEAU DES RESULTATS

Date : 3/2 au 21/2.1977

2ème série de mesure - Configuration B

Profil n°	Résistivité apparente $\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$ $\Omega \cdot m$							Conductivité apparente ECa m-mho-cm							Conductivité de l'extrait ECe m-mho-cm						Humidité %							
	0- 20	20 -40	40 -60	60 -80	80 -100	100 -120	120 -140	0- -20	20 -40	40 -60	60 -80	80 -100	100 -120	120 -140	0- -20	20 -40	40 -60	60 -80	80 -100	100 -120	120 -140	0- 20	20 -40	40 -60	60 -80	80 -100	100 -120	120 -140
3A ₂	13,5	13	12,2	12,4	11,7	15,4	15,3	0,74	0,77	0,82	0,81	0,86	0,65	0,65	1,54	1,08	1,12	1,08	1,08	1,08	1,08	20	20,1	22,8	21,7	23,1	24,1	25,8
7A ₄	13,2	14	13,5	12,7	12,4	14	12,9	0,76	0,71	0,74	0,79	0,81	0,71	0,78	1,51	1,30	1,01	1,24	1,39	1,39	1,61	22,9	22,3	23,3	24,2	25,5	26	26,7
1B ₁	10,8	12,9	10,1	10	9,3	10,3	9,8	0,93	0,78	0,99	1	1,08	0,97	1,02	2,49	2,49	3,32	2,91	3,32	4,15	5,24	21,2	22,9	22	24,1	24,3	24,3	26,5
5B ₃	17,1	10,7	9,9	9,5	9,3	10,8	10	0,58	0,89	1,01	1,06	1,08	0,93	1	1,85	1,76	1,76	1,97	2,23	2,73	3,15	23,7	24	23,7	23,2	22,5	26,4	27,2
4C ₂	6,8	6,2	5,4	5,2	5,2	6,6	6,5	1,47	1,54	1,87	1,94	1,92	1,52	1,53	3,19	3,28	3,7	4,6	4,7	4,96	5,18	22,2	27,2	22,6	23,4	22,6	24,2	24,7
6C ₃	11,7	9,4	7,1	6,1	6	6,2	6,2	0,85	1,07	1,41	1,65	1,66	1,62	1,62	2,32	2,49	3,32	3,32	5,15	4,98	5,26	16,4	17,5	20,6	21,2	24,4	26,1	27,8
2D ₁	12,8	11,9	6,6	5,7	5,3	5,8	5,8	0,78	0,84	1,59	1,75	1,89	1,72	1,72	3,32	4,98	5,81	6,64	7,74	8,3	8,75	21,6	22,6	21,6	22,4	23,6	23,3	24,6
3D ₄	23,2	12,9	9,7	9,6	9,7	7,1	6,6	0,43	0,78	1,03	1,04	1,03	1,42	1,53	2,57	3,32	4,98	4,98	4,98	4,98	5,35	19,4	20,5	20,9	21,3	22,8	23,5	25,5

TABLEAU DES RESULTATS

Date : 7/7 au 14/7.1977

3ème série de mesures - Configuration B

Profil n°	Résistivité apparente $\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad \Omega\text{-m}$							Conductivité apparente ECa m-mho-cm							Conductivité de l'extrait ECe m-mho-cm						Humidité %							
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
3A ₂	18,5	11,4	14,3	13,2	14,9	23,3	21,3	0,54	0,88	0,7	0,76	0,67	0,43	0,47	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	14,5	15,5	19,2	23	24,2	24	25,7
7A ₄	8,3	8,8	11,8	13,5	13,2	20	20,8	1,2	1,14	0,85	0,74	0,76	0,50	0,48	2,1	1,6	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	15,9	16,5	21,4	27	25	21,9	26,5
1B ₁	13,2	11,9	17,3	15,9	10,5	11,4	9,3	0,76	0,84	0,58	0,63	0,95	0,88	1,08	1,6	1,5	1,8	1,9	2,3	2,4	3,2	14,8	15,3	16,4	19,2	21,4	24,5	25,7
5B ₃	8	10,2	13,5	7,1	5,6	11,5	5,0	1,25	0,98	0,74	1,4	1,8	0,87	2,02	2,1	1,8	1,9	2,4	2,7	2,9	3,8	15,3	16,8	20,1	21,6	23	23,5	24,2
4C ₂	9,6	6,3	7,7	5,2	4,9	11,4	9,8	1,04	1,6	1,3	1,92	2,04	0,88	1,02	4,1	3,4	3,2	3,9	4,6	6,6	6,8	16	18,1	20,4	21,6	22,8	24,3	25,7
6C ₃	8,3	6,7	5,3	6,3	5	5,3	5,9	1,2	1,5	1,88	1,6	2	1,9	1,7	3,5	3,8	4,2	4,9	5,4	6,1	6,8	15,2	16,9	14,6	18,8	21,6	23,2	24,5
2D ₁	14,7	7,8	5,6	6,8	6,2	4,7	4,8	0,68	1,28	1,79	1,47	1,61	2,13	2,08	6,1	8,3	7,8	8,4	8,1	9,2	9,4	15,1	16,8	20,4	22,1	23,8	24,5	25,7
8D ₄	8,3	6,9	8,1	4,9	5,5	4,6	4,3	1,2	1,45	1,24	2,05	1,81	2,2	2,35	6,6	6,2	6,8	7,4	6,9	7,8	8,8	16,4	17,3	21,2	24	24,5	23,6	24,8

VALEURS EN M-MHO-CM DE ECe ET ECa DES QUATRE TRAITEMENTS

(moyenne de 4 mesures)

Profondeur cm	A ₁		B ₁		C ₁		D ₁	
	ECe	ECa	ECe	ECa	ECe	ECa	ECe	ECa
0 - 20	1	0,69	1,3	0,9	1,8	1,08	2,1	1,32
20 - 40	0,7	0,71	1,3	0,92	1,9	1,24	3,8	1,53
40 - 80	1,0	0,74	2,0	0,95	3,0	1,23	5,5	1,74
80 - 120	1,1	0,77	3,3	1,05	5,7	1,34	6,8	1,83
	A ₂		B ₂		C ₂		D ₂	
0 - 20	0,8	0,66	1,2	0,87	2,0	1,15	2,4	1,42
20 - 40	0,8	0,71	1,4	0,93	2,2	1,29	3,0	1,59
40 - 80	0,9	0,74	1,9	1,02	5,1	1,40	5,2	1,63
80 - 120	2,8	0,71	2,9	1,07	6,6	1,51	6,6	1,68
	A ₃		B ₃		C ₃		D ₃	
0 - 20	0,9	0,7	1,2	0,87	1,3	1,17	2,8	1,43
20 - 40	0,8	0,7	1,2	0,89	1,3	1,30	3,7	1,41
40 - 80	0,9	0,78	1,8	0,94	2,4	1,32	5,7	1,67
80 - 120	1,4	0,82	3,6	1	4,4	1,55	6,7	1,89
	A ₄		B ₄		C ₄		D ₄	
0 - 20	1,0	0,72	1,4	0,99	1,9	1,03		
20 - 40	0,8	0,75	1,5	1,05	3,1	1,07		
40 - 80	0,9	0,78	1,9	1,09	3,8	1,19		
80 - 120	2,1	0,82	3,0	1,1	5,0	1,25		

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH

(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 1

OA = 30

MN = 50

A
 \bar{X} = 13,96
 Me = 14
 S = 2,25
 S^2 = 5,07

B
 \bar{X} = 10,07
 Me = 9,8
 S = 1,56
 S^2 = 2,43

C
 \bar{X} = 8,06
 Me = 8,0
 S = 1,49
 S^2 = 1,49

D
 \bar{X} = 7,21
 Me = 7,4
 S = 0,92
 S^2 = 0,85

Echelle : 1/750

D	C	B	A
7,4	8,6	13,9	18
8,3	10,2	12,4	15,2
9	9,8	11	15,7
6,3	7,9	9,1	12,3
C	B	D	A
7,4	10,1	6,4	11,9
7	9,2	6,6	13,2
6,5	9,8	6	14,7
7,3	12	8,6	17,8
A	B	D	C
12,4	9,8	6,3	10
10,2	9,9	6,4	6,6
11,4	9,9	8,1	6,8
16	8,8	7,4	7,4
A	D	B	C
15,2	6,5	9,7	7,6
12,6	7,2	9	8,5
14	7,6	8,2	8
12,7	7,3	8,2	9,3

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 2

OA = 30

MN = 70

A
 \bar{X} = 13,73
 Me = 13,4
 S = 1,64
 S^2 = 2,69

B
 \bar{X} = 9,72
 Me = 9,4
 S = 1,22
 S^2 = 1,49

C
 \bar{X} = 7,72
 Me = 8,4
 S = 1,25
 S^2 = 1,56

D
 \bar{X} = 6,31
 Me = 6,8
 S = 0,99
 S^2 = 0,98

Echelle : 1/750

D	C	B	A
6,1	7,2	12,4	17,2
7	9,6	10,8	15,7
8,4	9,8	11,6	14,2
5,9	8,4	10,4	13
C	B	D	A
6,7	10,2	5,5	11,5
6,4	8,7	5,5	13,4
5,8	9,3	5,3	14,2
7,6	9,4	7	16,5
A	B	D	C
12,4	8,5	5,8	8,5
11,6	8,3	6	6,7
12,6	10,8	7,2	5,6
14,8	8,4	5,5	8,1
A	D	B	C
12,7	6,8	9,4	7,6
13,2	7	9	8,4
13,8	7,4	9,8	8,1
12,9	7,5	8,5	9,0

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH

(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 3

OA = 30

MN = 100

A
 \bar{X} = 13,19
 Me = 13,2
 S = 1,68
 S^2 = 2,82

B
 \bar{X} = 9,33
 Me = 9,2
 S = 1,12
 S^2 = 1,25

C
 \bar{X} = 7,2
 Me = 6,8
 S = 1
 S^2 = 1

D
 \bar{X} = 6
 Me = 5,9
 S = 0,6
 S^2 = 0,4

Echelle : 1/750

D	C	B	A	
5,6	6,3	11,5	16,8	
5,9	8,8	10,2	14,9	Bloc 1
6,4	9	11,6	13,1	
5,8	7,5	9,6	12	
C	B	D	A	
6,8	9,7	5,5	11	
6,5	7,3	6,1	13,6	Bloc 2
5,3	8,7	5,2	13,9	
6,5	8,7	6,8	16	
A	B	D	C	
11,8	8,3	5,6	7,3	
10,8	9,5	5,5	6,7	Bloc 3
11,4	9,9	5,9	6,8	
12,5	8,5	4,9	6,3	
A	D	B	C	
13,6	6,3	9,1	6,8	
13,2	6,3	9	8,5	Bloc 4
13,3	6,8	9,2	8,1	
13,2	6,9	8,5	7,9	

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture α° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 4

OA = 30

MN = 150

A
 \bar{X} = 12,23
 Me = 12,4
 S = 1,47
 S^2 = 2,16

B
 \bar{X} = 8,81
 Me = 8,7
 S = 0,85
 S^2 = 0,72

C
 \bar{X} = 6,73
 Me = 6,5
 S = 0,83
 S^2 = 0,69

D
 \bar{X} = 5,84
 Me = 5,6
 S = 1,41
 S^2 = 1,99

Echelle : 1/750

D	C	B	A
5,2	6,5	10,7	14,5
5,8	7,8	9,4	14,4
5,4	7,9	10,3	11,7
5,2	6,7	8,3	10,3
C	B	D	A
6,4	8,7	5,1	10,7
6	7,3	5,5	14,1
5,2	8,8	4,7	13,4
5,9	8,6	10,7	13,2
A	B	D	C
10,2	7,9	5,6	6,8
11,4	9,1	5	6,1
10	8,3	5,2	6,3
12	8,5	4,9	6,7
A	D	B	C
12,1	5,9	8,2	6,1
12,4	6,7	8,5	7,6
12,4	6,5	9,3	7,9
12,8	6,1	9	7,7

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure : n° 5

OA = 50

MN = 160

A
 \bar{X} = 12,41
 Me = 12,4
 S = 1,38
 S^2 = 1,91

B
 \bar{X} = 9,28
 Me = 9,3
 S = 1,23
 S^2 = 1,51

C
 \bar{X} = 6,83
 Me = 7,1
 S = 0,83
 S^2 = 0,69

D
 \bar{X} = 5,79
 Me = 5,7
 S = 1,48
 S^2 = 2,19

Echelle : 1/750

D	C	B	A
4,7	7,1	12,7	14,1
5,9	7,7	9,4	14,3
3,5	8,3	9,9	11,9
5,1	6,8	8,3	11,3
C	B	D	A
5,7	8,6	4,8	12,4
6,3	8,3	5,4	13,5
4,9	9,1	5,5	12,9
6,3	9,5	10,6	13,2
A	B	D	C
11,1	8,7	5,5	7,1
10,9	10,5	5,3	7,2
10,1	8	5,7	6,4
13,8	10,6	5,8	6,6
A	D	B	C
12,1	5,7	8	6,5
14,4	6,6	8,2	7,3
11,8	6,5	9,4	7,6
10,7	6	9,3	7,4

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 6

OA = 50

MN = 200

A
 \bar{X} = 11,56

Me = 11,8

S = 1,63

S² = 2,65

B
 \bar{X} = 8,53

Me = 8,7

S = 1,11

S² = 1,23

C
 \bar{X} = 6,51

Me = 6,5

S = 0,84

S² = 0,71

D
 \bar{X} = 5,46

Me = 5,2

S = 0,82

S² = 0,67

Echelle : 1/750

D	C	B	A
4,6	6,2	11,6	11,9
5,7	7,8	8,8	14,3
5,2	7,2	9,3	10,7
4,8	6,5	7,3	11,1
C	B	D	A
5,6	7,9	4,8	11,8
6	7,8	5,1	12,8
4,8	8,7	5	12,9
5,7	8,5	7,8	13,4
A	B	D	C
10,2	7,4	5	6,6
9,8	9,3	5,1	7,2
7,4	7,3	4,8	6
11,7	9,4	5,6	6,6
A	D	B	C
11,1	5,3	7,4	6
12,1	6,5	8,1	6,8
11	6	8,9	7,9
12,7	6	8,8	7,3

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 7
OA = 50
MN = 300

A
 \bar{X} = 9,19
Me = 8,7
S = 2
S² = 4

B
 \bar{X} = 7,52
Me = 7,3
S = 1,14
S² = 1,29

C
 \bar{X} = 5,94
Me = 6,2
S = 0,75
S² = 0,57

D
 \bar{X} = 4,84
Me = 4,8
S = 0,49
S² = 0,24

Echelle : 1/750

D	C	B	A
4,1	6,4	11,2	12,4
4,9	7,0	7,2	11,8
4,4	6,6	7,7	8,2
4,4	6,2	6,7	8,7
C	B	D	A
5,3	7,0	4,2	10,5
5,6	7,0	4,9	10,9
4,3	7,1	4,8	11,2
4,7	7,3	4,8	11,5
A	B	D	C
7,7	6,5	4,4	5,6
7,4	8,1	4,8	6,5
5,6	6,6	4,7	5,6
7,8	7,6	5,4	5,9
A	D	B	C
8,5	4,9	6,5	5,6
7,5	5,8	7,4	6,3
7,3	5,5	8,3	6,7
10	5,4	8,1	6,7

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 8

OA = 100

MN = 300

A
 \bar{X} = 9,52
 Me = 9,5
 S = 1,47
 S^2 = 2,16

B
 \bar{X} = 7,04
 Me = 6,8
 S = 0,85
 S^2 = 0,72

C
 \bar{X} = 5,87
 Me = 5,8
 S = 0,66
 S^2 = 0,43

D
 \bar{X} = 4,83
 Me = 4,8
 S = 0,55
 S^2 = 0,3

Echelle : 1/750

D	C	B	A
4,6	5,6	9,6	12,1
5,1	5,8	7,2	11,4
4,8	6,5	7,5	9,5
4,3	6,0	6,3	9,1
C	B	D	A
4,9	6,6	4,3	10,3
7,1	6,8	4,5	11,1
5,2	6,7	4,4	10,2
5,7	6,5	4,4	10,5
A	B	D	C
7,9	6,6	4,7	6,6
9,4	6,9	4,8	5,4
6,7	6	4,4	4,9
9	6,7	4,8	5,2
A	D	B	C
9,1	4,9	6,7	5,9
8,3	5,5	7	6,1
7,4	5,3	7,4	6,3
10,3	6,4	8,1	6,7

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHERFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars-Avril 1977

Mesure n° : 9

OA = 100

MN = 500

A
 $\bar{X} = 6,6$
 Me = 6,3
 S = 1,69
 $S^2 = 2,65$

B
 $\bar{X} = 5,38$
 Me = 5
 S = 1,22
 $S^2 = 1,48$

C
 $\bar{X} = 5,03$
 Me = 4,7
 S = 1,52
 $S^2 = 2,31$

D
 $\bar{X} = 4,43$
 Me = 4,3
 S = 0,55
 $S^2 = 0,3$

Echelle : 1/750

D	C	B	A
4,9	6,1	8,5	11,2
5	5,5	5,7	9,3
4,5	4,7	7,1	6,7
4,1	4,6	5,1	6,3
C	B	D	A
4,7	4,5	3,8	6,3
5,5	4,1	3,9	7,2
4	4,4	4	6,4
9,5	4,8	4,3	6,8
A	B	D	C
4,3	4,2	3,7	4,1
5,5	4,7	4,3	4,6
4,4	4,4	4	3,8
5,4	5	4	4,4
A	D	B	C
5,8	4,7	4,9	4,7
6,8	5,2	6,1	2,4
6,3	5,5	6,6	5,6
6,9	5	6	6,2

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4

SONDAGE ELECTRIQUE : CHEFFECH
(Méthode Schlumberger)

Couverture n° : 3

Date : Mars - Avril 1977

Mesure n° : 10

OA = 100

MN = 700

A
 $\bar{X} = 4,53$
 Me = 4,2
 S = 1,37
 $S^2 = 1,87$

B
 $\bar{X} = 4,4$
 Me = 4
 S = 1,29
 $S^2 = 1,66$

C
 $\bar{X} = 4,24$
 Me = 4
 S = 0,81
 $S^2 = 0,65$

D
 $\bar{X} = 3,95$
 Me = 3,8
 S = 0,62
 $S^2 = 0,39$

Echelle : 1/750

D	C	B	A
4,9	5,7	8,1	9,6
4,6	5,1	6,0	7,5
4,4	4,2	5,2	4,5
3,8	4,2	4,0	3,5
C	B	D	A
3,8	3,9	3,3	4,2
4,7	3,1	3,6	4,7
3,3	3,5	3,7	3,6
3,3	3,5	3,7	4,7
A	B	D	C
2,9	2,8	2,7	3,3
3,3	3,9		3,7
3,4	3,6	3,3	3,4
3,6	3,5	3,5	3,6
A	D	B	C
3,9	4,3	4,1	4,0
4,3	4,5	5,1	5,1
4,5	4,5	5,2	5,4
4,2	4,5	4,9	4,9

Bloc 1

Bloc 2

Bloc 3

Bloc 4