

R A P P O R T
=====

présenté pour l'obtention du Diplôme d'Etudes
Supérieures Techniques d'Outre - Mer par :

M. DOUALE Aboubaker

- Etude des PRINCIPALES METHODES d'ANALYSE d'un SOL SALE
=====
- APPLICATION des METHODES à un SOL SALE d'AFGHANISTAN
=====

- O R S T O M - B O N D Y -

- N o v e m b r e 1 9 7 8 -

P L A N

- Avant-Propos
- Introduction

- 1ère Partie : A - PRINCIPE DES METHODES
 - 1 - La pâte saturée
 - 2 - L'extrait 1/2
 - 3 - La capacité d'échange
 - 4 - La capacité d'échange à ph 8,2
 - 5 - Les bases échangeables
 - 6 - La granulométrie
 - 7 - L'indice d'instabilité structurale Is
 - 8 - Dosage de CO_3 et HCO_3 par acidimétrie
 - 9 - Dosage de cl par argentimétrie
 - 10 - Dosage de SO_4 par turbidimétrie
 - 11 - Dosage de Ca et Mg par complexométrie
 - 12 - Dosage de Na et k par photométrie de flamme
 - 13 - Dosage du bore par colorimétrie

B - MODES OPERATOIRES (voir annexes)

- 2ème partie :
 - I DESCRIPTION du Profil
 - II DISCUSSION des résultats obtenus
 - 1 - Définition du sol d'après le triangle des textures
 - 2 - Remarque sur le tableau du calcaire
 - 3 - Définition du sol d'après la salinité
 - 4 - Le profil salin

.../...

5 - Distribution des ions

6 - Répartitions des ions

7 - Bilan hypothétique des sels présents dans le sol

8 - Possibilité de lessivage

9 - Remarques sur le complexe absorbant.

Corrélations

10 - Problème du bore

III - GRAP^HHIQUES

IV - CONCLUSION

V - BIBLIOGRAPHIE

AVANT-PROPOS

Dans le cadre de ma scolarité à l'I.S.T.O.M. (institut Supérieur Technique d'Outre-mer), j'ai effectué un stage de 10 mois dans les laboratoires communs des services scientifiques centraux de l'office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer (O.R.S.T.O.M.) à Bondy. J'ai obtenu ce stage avec le concours de M. Cornière (directeur pédagogique à l'I.S.T.O.M.) à qui j'adresse mes plus vives salutations respectueuses.

Je remercie M. Dabin (chef du service des laboratoires de l'O.R.S.T.O.M.) à qui je témoigne ma reconnaissance ainsi qu'à M. Pelloux (responsable de la chimie à Bondy).

J'exprime ma gratitude à M. Ollat qui m'a proposé le sujet de travail et avec qui j'ai eu les discussions les plus intéressantes et instructives. Egalement, je remercie M. Pinta (chef de la section de spectrographie) qui m'a autorisé à faire les dosages du bore dans ses laboratoires.

Enfin, je suis reconnaissant à tous les techniciens avec qui j'ai travaillé et en particulier Mme Nguyen Tan Loï (responsable du laboratoire des sols salés) dont la présence et les explications ne m'ont jamais fait défaut; de même que Mme Villette (responsable du laboratoire de spectrophotométrie) dont le concours m'a permis de réaliser les dosages du bore.

INTRODUCTION

Le travail présenté ci-après constitue les principales méthodes d'analyse des sols salés et leur application pratique. Pour ce faire, nous avons travaillé sur un sol salé d'AFGHANISTAN.

Dans un premier temps, nous avons fait les analyses courantes des sols salés, à savoir la pâte saturée, l'extrait 1/2, les sels solubles, les cations échangeables, la capacité d'échange... Puis, nous avons dosé le bore total et le bore assimilable.

Ensuite, nous avons essayé de voir les corrélations qui existent entre le bore et les autres facteurs et éléments du sol. Ceci a confirmé les conclusions préalablement dégagées à propos des rôles du bore.

Ce travail, qui par ailleurs nous a beaucoup intéressé sur le plan scientifique est loin d'être complet vu le nombre extrêmement réduit des échantillons. C'est pourquoi nous signalons d'ores et déjà que les corrélations sont approximatives. En dernier lieu, nous avons tenté de déterminer les possibilités de lessivage et de mise en culture du sol.

PREMIERE PARTIE

LES METHODES D'ANALYSE

I - PRINCIPES

Pour mieux sensibiliser le lecteur aux différentes méthodes d'analyse utilisées, nous allons dans un premier temps expliquer d'une façon brève le principe de chacune d'elles.

1 - La pâte saturée

Le principe consiste à saturer un poids donné de terre avec de l'eau distillée et d'extraire la solution laquelle servira aux dosages des cations et anions. Cette méthode présente l'avantage d'opérer dans un milieu plus ou moins identique au milieu naturel. L'extrait sert également à la mesure de la conductivité. La méthode d'extrait de pâte saturée est une méthode internationale. Il existe une relation entre les valeurs de la pâte saturée et l'E.S.P. Enfin, elle dissout moins de sels que les extraits 1/2, 1/5, 1/10...

2 - L'extrait 1/2

Ici, le souci est toujours de déterminer les teneurs du sol en sels solubles. On travaille sur un poids de terre deux fois plus petit que le poids de l'eau. L'extrait 1/2

.../...

dissout moins de sels que les extraits 1/5 et 1/10. Mais il a l'avantage de ne pas provoquer d'hydrolyse du Na échangeable. On l'utilise dans les sels moyennement salés et peu gypseux pour faire le bilan : sels solubles - bases échangeables.

3 - La Capacité d'échange à ph : 8,2

Cette méthode présente l'avantage de dissoudre moins de Ca^{++} et de Mg^{++} des carbonates que celle avec de l'acétate d'ammonium à $\text{ph} = 7$ et d'opérer à un ph voisin de celui du sol.

Le principe consiste à saturer le sol avec une solution d'acétate de Na^+ . On extrait les ions Na^+ par une solution d'acétate d'ammonium normal à $\text{ph} = 7$ après avoir éliminé l'excès d'acétate par lavage à l'alcool méthylique pour analyses (ou l'alcool isopropylique). La solution finale servira au dosage des ions Na^+ mesurant la capacité d'échange. Egalement dans l'extrait à l'acétate de sodium, on peut doser les ions Ca^{++} , Mg^{++} et K^+ .

4 - La capacité d'échange

D'une manière générale, le principe consiste à saturer le complexe absorbant du sol par un ion assez efficace et assez facile à déplacer par la suite, et finalement assez facile à doser par les méthodes courantes de laboratoire.

En général, cette détermination suivant celle des cations échangeables, on calcule le rapport S/T pour avoir une idée des qualités chimiques du sol (S = Somme des cations échangeables en milli-équivalents et T la capacité d'échange).

$$\frac{100 \times S}{T} = \text{pourcentage de saturation}$$

(généralement en relation avec le ph)

5 - Les bases échangeables

Le principe consiste à extraire les cations échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) par percolation sur colonne ou par action alternante de suspension dans le liquide, suivie de filtration ou centrifugation. Nous avons utilisé la dernière méthode qui se traduit par une mise en suspension du sol dans de petites fractions successives de réactif. Ainsi, l'apport successif de quantités de réactif neuf déplace à chaque fois l'équilibre et tout le sol est bien mis en contact avec le réactif par agitation. Le réactif le plus couramment utilisé est l'acétate d'ammonium à ph 7, l'ion NH_4^+ déplaçant par échange les autres cations.

6 - Principe de la granulométrie

Le principe consiste à disperser la terre, après destruction de la matière organique et de séparer les particules selon leur diamètre en argile, limon fin, limon grossier, sables fins et sables grossiers. Cette séparation se

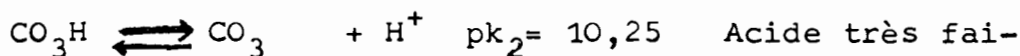
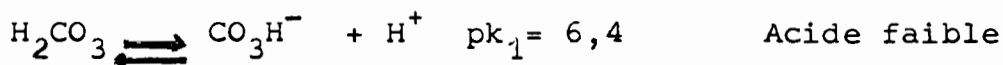
fait généralement par sédimentation; la vitesse de chute des particules étant fonction de leur diamètre. Pour les particules grossières, on opère par tamisage.

7 - L'indice d'instabilité structurale : I-8

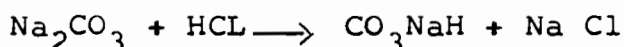
Le principe de la méthode consiste à déterminer le pourcentage d'agrégats stables dans l'eau (0,2 à 2 mm) d'une part et de l'autre, l'aptitude de la terre étudiée à se disperser. Is est compris entre 0,1 et 1 pour les sols de bonne structure et entre 1 et 100 pour les sols de mauvaise structure. Rappelons que l'alcool a un effet protecteur sur la structure contrairement au benzène dont l'effet est sensibilisateur.

8 - Dosage de $\text{CO}_3^{=}$ et HCO_3^- par acidimétrie

Rappelons que l'acide carbonique (H_2CO_3) est un diacide:



ble. Et la réaction de neutralisation se fait en 2 temps :



Pour ce faire, on utilise une solution N/10 d'acide sulfurique. On se sert d'un potentiographe qui est un titri-

mètre automatique qui donne directement le point final de la réaction sur une courbe d'enregistrement à 2 points d'inflexion correspondant respectivement aux neutralisations des carbonates et des carbonates (ph : 4 et 8).

Marque : COMBITRATEUR METROHM. AVEC ELECTRODE EA 125 x RODAGE
NS13 saturé KCl

9 - Dosage des chlorures par Argentimétrie

On travaille sur l'appareil sus-mentionné muni d'une électrode d'argent mais ici on dose les chlorures à l'aide d'une solution N/20 de nitrate d'argent (AgNO_3 N/20) selon la réaction suivante : $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \xrightarrow{\text{AgCl}} \downarrow$ avec
(Cl) (Ag) = $10^{-9,7}$

10 - Dosage des sulfates par turbidimétrie

Le principe consiste à précipiter les sulfates contenus dans la solution à doser, sous forme de sulfate de baryum en milieu acide à l'aide de chlorure de baryum. Le sulfate de baryum est maintenu en suspension par un mélange de glycérol ($\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH OH} - \text{CH}_2\text{OH}$) et d'alcool en milieu alcalin. Ce réactif étant visqueux, on est obligé de faire un double rinçage avec une solution d'acide perchlorique 1/4 et d'eau distillée afin de ne pas contaminer les cuves du technicon. Ce qui fausserait les valeurs de l'échantillon suivant.

11 - Dosage de Ca^{++} et Mg^{++}

Elle est basée sur l'utilisation d'un réactif qui par complexométrie masque certains ions (alcalino-terreux et métaux de valence > 2) de la solution en les bloquant dans un complexe non ionisé. La disparition des ions considérés est constatée par le virage d'un indicateur d'ions, qui donne lui-même avec ces ions un complexe coloré dont le produit de stabilité est inférieur à celui du complexe créé entre le complexon III et ces ions (un complexe coloré moins stable que celui qu'ils forment avec le complexon). Nous avons utilisé le complexon III E.D.T.A. (sel disodique de l'acide éthylène-diamine-tétra-acétique).

Le complexon de Titre $\frac{01}{100}$ correspond aux concentrations molaires équivalentes des cations à doser.

12 - Dosage des cations par photométrie de flamme

Le principe consiste à exciter le métal par pulvérisation dans une flamme. Il en résulte un rayonnement qui se trouvera dans une spectre caractéristique. Il existe des systèmes monochromatiques qui isoleront les raies et transmettront à un appareil de détection photoélectrique qui, à son tour, transformera le rayonnement en courant électrique mesuré par un galvanomètre. Sa déviation est fonction de la richesse de la solution en ce métal.

La photométrie de flamme se fait soit par émission directe

de l'élément pulvérisé, soit par absorption par l'élément ionisé d'une radiation de longueur d'onde identique; c'est l'absorption atomique.

13 - Principe du colorimètre enregistreur : dosage du bore

Le colorimètre mesure l'intensité de la coloration résultant de la réaction de l'échantillon avec les réactifs appropriés. Il envoie les résultats à l'enregistreur qui en donne un tracé graphique continu et permanent.

II - MODES OPERATOIRES

Les modes opératoires des différentes méthodes d'analyse sont présentés à la fin sous forme d'annexes.

DEUXIEME PARTIEI - DESCRIPTION Du PROFIL

Le Profil ci-dessous est situé près de LASKHARGAN (AFGHANISTAN méridional). La description est de M. PIAS (directeur de recherches à l'O.R.S.T.O.M.).

Pellicule blanche, saline, mêlée de limon pulvérulent beige. Elle forme une forte cristallisation blanc-beige meuble sur quelques millimètres à 1 centimètre. Légèrement humide.

- 0 - 20 cm : brun rouge, frais à humide limoneux;
- 20 - 50 cm : légèrement plus rouge et plus argileux. Un peu plus humide. Premières tâches blanches calcaires, molles, relativement peu abondantes et dispersées dans l'ensemble de l'horizon;
- 50 - 100 cm : brun-rouge à panache blanc et taches calcaires, pâteuses, de plus en plus abondantes vers le bas. Humide. Eau suintant dans le profil dès 50 cm. Brun-jaunâtre vers le bas. Poches d'arrivée d'eau très humides. Par endroits nettement plus sec et à tendance fondue. Ensemble très plastique.

A partir de 100cm : niveau conglomératique à terre interstitielle. Cailloux roulés peu abondants dans la partie supérieure. Un peu plus nombreux ensuite.

Plantes de sol salé : TAMARIX, SALSOLA

II - DISCUSSION des RESULTATS

1 - Définition du sol d'après le diagramme des textures

Pour ce faire, on divise le profil en 2 parties :
0 - 50 cm et 50- 100 cm et on fait la moyenne arithmétique
des résultats obtenus dans chaque horizon. Le tableau ci-
dessous donne le pourcentage des particules.

éléments en %	0 - 50 cm	50 - 100 cm
Argile	28,82	32,55
Limon	25,80	36,57
Sables	46,41	27,50

Les résultats montrent grosso modo que le % d'argile est croissant de haut en bas. Il en est de même pour celui des limons fins. Par contre, le pourcentage de limons grossiers décroît de haut en bas où il passe de 14,60% à 5,20%; de même que les sables fins qui passent de 37,25% à 10,90%. Le pourcentage de sables grossiers est plus ou moins constant. Il tourne autour de 13% à 15% (voir tableau 1 et graphique a Planche I) et tableau 1 page 15).

D'après le diagramme des textures du GEPPA (groupe d'étude ^{programm} de pédologie et de perspectives appliquées), nous définissons la première tranche comme un sol ayant une texture limonoargileuse (limite de la texture argilo-sableuse). Quant à la seconde tranche, nous définissons comme étant du limon argileux proprement dit. Comme le classement des structures, au point de vue fertilité, dépend largement de la texture, on dit que le sol d'AFGHANISTAN a une texture favorable tout en rappelant que les textures extrêmes sont les plus défavorables.

D'après DURAND (cité par DABIN dans Techniques Rurales en Afrique - Pédologie et Environnement), cette texture fine a une action de 100% sur la "fertilité maximum" du sol. Ce qui signifie qu'il n'y a pas de diminution de fertilité due à l'action propre de la texture.

2 - Remarque sur le tableau du calcaire

Les analyses de laboratoire, comme la description du profil, montrent que plus on descend en profondeur, plus augmentent les teneurs des échantillons en calcaire total et en calcaire actif. Le tracé graphique du calcaire total (voir graphique b - planche I) donne à peu près une courbe "renversée" de celui du sodium. Ce qui signifie que le calcium ne montre pas une tendance à la remontée comme le sodium. (voir tableau 2 pages 16)

Tableau 1 - Granulométrie

Profondeur en cm	Argile en % 0 - 2 μ	Limon fin en % 2 - 20 μ	Limon gros- sier en % 20 - 50 μ	Sables fins en % 50 - 200 μ	Sables gros- siers 200 μ - 2mm	Eau en %	Total Labo en %
0-10	21,50	10,08	14,60	37,25	12,25	1,97	97,65
10-30	26,00	12,95	10,00	34,50	13,85	2,26	99,56
30-50	30,15	17,67	6,4	28,60	12,80	2,23	97,85
50-70	34,13	27,62	5,90	16,90	11,45	2,56	98,56
80-100	30,98	34,43	5,20	10,90	15,75	2,66	99,92

Calcaire total et calcaire actif : tableau 2

Profondeur en cm	Calcaire total en %	Calcaire ac- tif en ‰
0-10	13,4	10
10-30	15,82	10
30-50	21,91	30
50-70	32,22	50
80-100	41,42	80

3 - Définition du sol d'après la salinité

(voir tableau 3 et 4 et graphiques 2 à 3 - planches I et II)

Le ph des différents horizons est présenté dans le tableau-ci-dessous :

Profondeur en cm	0-10	10-30	30-50	50-70	80-100
Ph (terre vierge)	9,1	9	9	9	9

Le sol d'AFGHANISTAN présente un rapport Na^+ / T toujours supérieur à 15%. Le ph des terres vierges est également supérieur à 8,5 avec une forte conductivité électrique de la pâte saturée. Le sol est caractérisé par la présence d'une nappe phréatique salée en profondeur. L'ion Na^+ l'emporte très fortement en concentration sur les alcalino-terreux (Ca^{++} et Mg^{++}). Le profil est peu différencié. Les sels sodiques (NaCl , $\text{Na}_2 \text{SO}_4$) s'accumulent en surface (voir reconstitution hypothétique des sels présents dans le profil) et confèrent à la pellicule superficielle sa structure poudreuse.

Ainsi, compte tenu des points sus-mentionnés nous classons le sol d'AFGHANISTAN dans les solontchaks sodiques

dans la classification proposée par SADONIKOV (1959) ou celle proposée par BAZILEVITCH et PANKOVA (1969), on se base sur la composition anionique et plus précisément sur le paramètre $r = \text{Cl}^-/\text{SO}_4$. Compte tenu de ce paramètre, on conclut que le sol d'AFGHANISTAN dont : $0,2 < r < 1$ est un solontchak sulfato-chloruré.

.../...

Extrait saturé : tableau 3

Les chiffres exprimés ci-dessous constituent des moyennes et sont exprimés en meq/l

Profondeur en cm	$\text{SO}_4^{=}$	Cl^-	$\text{CO}_3^{=}$	HCO_3^-	Σ^-	Σ^+	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	E.C.
0-10	569,37	269,06	16,87	6,44	861,74	856,25	790,94	13,12	28,44	23,75	63,92
10-30	274,92	94,92	0	3,95	373,79	401,95	358,83	0	30,70	12,42	28,62
30-50	178,91	56,36	0	3,29	238,56	255,81	219,27	0	26	10,54	17,44
50-70	171,01	49,95	0	2,19	223,15	239,54	207,41	0	22,84	9,29	17,72
80-100	141,18	49,96	0	2,69	193,83	207,06	176,33	0	23,38	7,35	15,81

.../...

- 20 -

Résultats de l'extrait 1/2 en mégl 1 : tableau 4

Profondeur en cm	$\text{SO}_4^{=}$	Cl^-	$\text{CO}_3^{=}$	HCO_3^-	Σ^-	Σ^+	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
0-10	133	51	3,3	4,6	191,9	193,6	157,5	2,55	26,55	7
10-30	68,5	22,55	0,1	3,35	94,5	103,45	79,9	0,9	18,1	4,55
30-50	40	17,2	0	3,75	60,95	77,65	65	0	9,5	3,15
50-70	68,5	18,6	0	2,75	89,85	89,45	74,3	0	11,55	3,6
80-100	85,5	21,6	0	2,45	109,55	101,3	81	0	16,5	3,8

.../...

Résultats de l'Extrait Saturé en meq/100 g sol : tableau 5

Profondeur en cm	$\text{SO}_4^{=}$	Cl^-	$\text{CO}_3^{=}$	HCO_3^-	Σ^-	Σ^+	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	még calculé d'après E.C.
0-10	18,22	8,61	0,54	0,206	27,58	27,4	25,31	0,42	0,91	0,76	29,4
10-30	11,73	4,05	0	0,16	15,94	17,15	15,31		1,31	0,53	16,2
30-50	9,84	3,1	0	0,18	13,12	14,07	12,06	0	1,43	0,58	12,1
50-70	11,23	3,28	0	0,144	14,55	15,73	13,62	0	1,50	0,61	15,1
80-100	11,53	4,08	0	0,22	15,83	16,91	14,4	0	1,91	0,60	16,6

Résultats de l'Extrait 1/2 en meq/100g de sol tableau 6

Profondeur en cm	$\text{So}_4^{=}$	cl^-	CO_3^-	HCO_3^-	Σ^-	Σ^+	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	E.C.
0-10	26,6	10,2	0,66	0,92	38,38	38,72	31,5	0,51	5,31	1,4	15,68
10-30	13,7	4,51	0,02	0,67	18,9	20,69	15,98	0,18	3,62	0,91	6,30
30-50	12,4	3,44	0	0,75	16,59	15,53	13	0	1,9	0,63	6,16
50-70	13,7	3,72	0	0,55	17,97	17,89	14,86	0	2,31	0,72	7,28
80-100	17,1	4,32	0	0,49	21,91	20,26	16,2	0	3,30	0,76	7,56

Extraction des sulfats dans un milieu très dilué : 1/25

Profondeur en	0-10	10-30	30-50	50-70	80-100
$\text{So}_4^{=}$ en meq/l	17,1	8,8	5	8	8,5
$\text{So}_4^{=}$ en meq/100g sol	44,25	22	12,5	20	21,25

4 - Le Profil salin

(voir tableau 3 et graphiques C à g - planches I et II). Le profil salin constitue une image globale de la salinité dans la tranche considérée. Sa lecture renseigne avec précision sur la distribution et sur la concentration des sels dans le profil et son interprétation agronomique est immédiate (J. SERVANT 1975). Ainsi, on a classé les principales formes de profils salins en se basant sur la courbe de la conductivité électrique de la pâte saturée en fonction de la profondeur. D'après les 4 formes principales désignées par les lettres A, B, C et D, le sol d'AFGHANISTAN est un profil salin de type A (voir graphique h, planche III) c'est-à-dire qu'il est caractérisé par une salinité augmentant de

bas en haut, le maximum de salinité se situant dans les 10 cm superficiels avec des valeurs souvent très élevées par rapport aux horizons sous-jacents. En général, les sols dont le profil salin est de type A présentent des efflorescences salines en surface et des textures moyennes (ce qui, d'ailleurs, correspond à nos résultats de salinité et de granulométrie).

5 - Distribution des ions

Nous nous basons sur les chiffres de la pâte saturée (voir tableaux 3 à 6).

Dans un premier temps, on regarde la distribution des anions dans le profil, ensuite celle des cations.

Pour ce qui est des anions, les ions $\text{SO}_4^{=}$ sont les plus importants et représentent 70% de la somme des anions (voir tableau ci-après).

.../...

- 25 -

Profondeur en cm	$\text{SO}_4^{=}$ %	Cl^- %	$\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4}$	Na^+ %	Ca %	Mg %
0-10	66	31	0,47	92	4	3
10-30	74	25	0,35	89	9	2
30-50	75	24	0,32	86	12	2
50-70	77	22	0,29	87	11	2
80-100	73	26	0,35	85	13	2

.../...

Ensuite arrivent les ions Cl^- avec 29% de la somme des anions. HCO_3^- et $\text{CO}_3^{=}$ constituent environ 1% de la somme des anions. Le rapport Cl/SO_4 et le taux de Cl exprimé en pour cent de la somme des anions augmentent en surface. Nous sommes, ici, en parfait accord avec POLYNOV (1932) qui a montré qu'au cours du phénomène de salinisation per ascensum, il se présente une augmentation en surface du rapport Cl/SO_4 se traduisant par une plus grande mobilité de l'ion Cl^- par rapport à $\text{SO}_4^{=}$.

En ce qui concerne la distribution des cations dans le profil, on note une très forte dominance de Na^+ sur les alcalino-terreux avec environ 90% de la somme des cations. Les ions alcalino-terreux qui, d'ailleurs, sont très faibles semblent augmenter en profondeur. Le calcium se trouve sous une forme moins solubilisable (ex:gypse). Le potassium est presque inexistant.

D'une manière générale, nous avons dans le profil :

sulfates > chlorures > carbonates } quasi
bicarbonates } inexistants.

6 - Répartition des ions

Nous avons défini le sol comme un profil salin de type A et la description du profil montre que le sol n'est pas couvert et qu'il présente une pellicule saline blanche en surface. Enfin on sait qu'il repose sur une nappe phréa-

tique salée. D'autre part, les résultats analytiques des échantillons au laboratoire montrent que la teneur en ions est forte en surface et décroît en profondeur (par exemple Na^+ en meq/100 g de sol : 25,31 en surface et 14,4 en profondeur). Ceci est dû à la remontée capillaire. C'est une conséquence logique du processus de salinisation par ascensum depuis la nappe jusqu'à la surface entraînant une accumulation superficielle des sels sous l'influence de l'évaporation. Les photos prises sur le terrain confirment cette hypothèse puisque la forte teneur en sels constitue un obstacle pour la végétation.

7 - Définition hypothétique des sels présents dans le sol
(voir tableau 3)

Au cours de la concentration d'une saumure marine, sous l'effet d'une évaporation isothermique, on assiste à l'apparition de différents sels. On sait aussi que les domaines de formation se chevauchent. Ainsi plusieurs auteurs (dont IVANOVA, KOVDA, BAZILEVITCH, DURAND ...) ont essayé de donner la séquence de la déposition des sels dans le sol. O. BRAITSCH (cité par SERVANT) fournit des données plus précises. A savoir que dans une saumure, la précipitation des sels, à 25°C donne dans le cas d'un équilibre stable sans réactions aux points de transition après formation de CaCO_3 et du gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$). la séquence suivante :

1 - 70% NaCl (Halite) + 30% bloedite ($\text{Na}_2, \text{Mg}(\text{SO}_4)_2, 4\text{H}_2\text{O}$)

- 2 - 20% NaCl + 80% epsomite ($\text{Mg SO}_4, 7 \text{ H}_2\text{O}$)
- 3 - 30% NaCl + 30% epsomite + 40% Kainite ($\text{KMgSO}_4 \text{ cl } \frac{11}{4} \text{ H}_2\text{O}$)
- 4 - 20% NaCl + 80% Kainite
- 5 - 10% NaCl + 20% Kieserite ($\text{Mg SO}_4, \text{ H}_2\text{O}$) + 70% Carnallite ($\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$)
- 6 - 100% bischofite ($\text{Mg Cl}_2, 6\text{H}_2\text{O}$).

Dans notre solution du sol où les cations dominants sont le sodium et le calcium, nous allons essayer de reconstituer les sels dans l'ordre suivant : Ca CO_3 , SO_4Ca , NaCl, $\text{SO}_4 \text{ Na}_2$, $\text{SO}_4 \text{ Mg}$, $\text{SO}_4 \text{ K}_2$... Dans le profil, on a : $r \text{ SO}_4^{2-} + r \text{ HCO}_3^- > r \text{ Ca}^{++}$ avec $2 \text{ Ca}^{++} > r \text{ HCO}_3^-$ (quantités d'ions exprimées en meq/l).

Dans ce cas, on commence par former Ca CO_3 et $\text{SO}_4 \text{ Ca}$. On constate que tous les ions CO_3^{2-} et Ca^{++} ont été utilisés et il reste un excès d'ions SO_4^{2-} . Ensuite on forme NaCl et $\text{SO}_4 \text{ Na}_2$. Enfin, on reconstitue les sulfates de magnésium et de potassium.

Le tableau suivant donne le bilan hypothétique des sels de chaque horizon (voir page suivante). Ces chiffres sont exprimés en meq / l.

.../...

- 29 -

Profondeur en cm	Ca CO ₃	Ca So ₄	NaCl	Na ₂ So ₄	Mg So ₄	K ₂ So ₄
0-10	23	5	269	522	24	13
10-30	4	27	95	248	traces	-
30-50	3	23	56	156	traces	-
50-70	2	21	50	150	traces	-
80-100	3	20	50	121	traces	-

.../...

D'une manière générale les sulfates de sodium représentent 66% de la somme des sels, le chlorure de sodium 25%, le calcaire 1% et le gypse 7%.

8 - Possibilité de lessivage

Certes, la mise en valeur d'un sol aussi salé que celui auquel nous avons affaire est une opération fort onéreuse. Néanmoins, on doit en premier lieu débarrasser le sol des sels solubles par apport massif d'eau douce, laquelle entraînera les sels en profondeur. On aura préalablement installé des drains. Le sodium étant le plus important des ions, on pourra intervenir également sur le complexe absorbant du sol en essayant de remplacer les ions Na^+ par le calcium échangeable en ajoutant du gypse ou du plâtre. Ensuite, il faudra maîtriser le plan d'eau pour qu'il n'y ait plus de remontée capillaire (source de salinisation per ascensum). On devra modifier la structure par apports de matière organique.

Remarques sur le complexe absorbant

- (voir tableau 8, ci-après).

Le ph est égal à 8,2. Les chiffres (ci-après) des cations échangeables et de la capacité d'échange sont exprimés en meq /100g de sol.

Profondeur en cm	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ par g	K ⁺	Na ⁺	T	Na/T en %	S.A.R.	E.S.P.	Is
0-10	0,13	4,8	7,33	12,26	60	111,5	62	1,16
10-30	1,24	3,3	6,66	11,2	59	59,21	47	2
30-50	4,31	2,5	5,99	12,8	47	41,86	37	2,14
50-70	3,27	2,2	7,33	12,8	57	42,67	38	2,44
80-100	6,47	1,4	11,32	19,2	59	36,02	34	5,04

$$\text{S.A.R.} = \text{Sodium absorption ratio} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (\text{en m\acute{e}q/l})$$

E.S.P. = Exchangeable sodium percentage

$$= \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ S.A.R.})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ S.A.R.})}$$

Ces 2 paramètres sont utilisés par l'école de Riverside (U.S. Salinity Laboratory Staff - Richards L.A); le S.A.R. donnant une idée précise de l'état de salinité des sols. Ici, nous avons affaire à un sol très fortement salé.

Les réactifs utilisés ayant dissout de fortes quantités de carbonates (de Ca^{++} et de Mg^{++}), la somme de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ échangeables est obtenue par différence c'est-à-dire : $\text{T} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+ \text{ échangeables})$. Le complexe est partiellement saturé en sodium qui fait 60% de la somme des cations échangeables.

X

Ensuite arrive K^+ avec 20% de S. Le calcium et le magnésium représentent environ 20% de S. Ceci va de pair avec la conductivité puisque le sol est un solontchak sodique. Après avoir déterminé les cations échangeables, nous avons calculé certains paramètres tels que S.A.R., E.S.P... Nous allons voir, les relations qui existent entre ces différents paramètres d'après les courbes représentatives, en y ajoutant une étude du bore qui est également fonction de ces paramètres. Vu le nombre extrêmement réduit des échantillons, nous sommes conscients que les équations sont très approxi-

matives.

10 - Etude du bore

10-1- Introduction

Le bore assimilable ou bore soluble (extractible à l'eau chaude) constitue la partie facilement utilisable par les végétaux. En ce qui concerne les manipulations, appropriées, au laboratoire, nous n'avons rencontré aucune difficulté; à savoir une extraction et un dosage faciles et rapide. Enfin, nous avons relevé une grande fidélité quant à la méthode (voir ci-dessous tableau du bore).

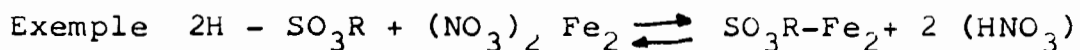
Tableau 9 : bore total et bore assimilable

Profondeur cm	Bore total en ppm	Bore assimilable en ppm
0-10	247,5	31,25
10-30	265	14,13
30-50	285	12,19
50-70	185	12,06
80-100	155	8,47

Tableau 10 : Dosage du fer

Profondeur en cm	1er dosage en $\mu\text{g/ml}$	2ème dosage en $\mu\text{g/ml}$	Moyenne en $\mu\text{g/ml}$
0-10	212,5	206,25	209,37
10-30	230	230	230
30-50	241,25	241,25	241,25
50-70	218,75	218,50	218,62
80-100	193,75	196,25	195

Le sol d'AFGHANISTAN est riche en fer (voir tableau 10) et cette richesse en fer est constatée lors du dosage du bore total au colorimètre enregistreur. Dans nos dosages, nous nous sommes rendus compte que l'azométhine (réactif approprié au dosage du bore) agit également sur le fer et l'aluminium. Face à ce problème, nous avons essayé la méthode qui consiste à faire des ajouts après avoir déterminé la teneur des échantillons en fer. Mais en vain! Enfin, nous avons tenté de fixer le fer par une résine cationsulfonique DOWEX 50 : $\text{H} - \text{SO}_3\text{R}$ qui est un produit fortement acide. Cette méthode s'est révélée très satisfaisante, dans ce cas, l'interférence de l'aluminium sur le bore est nulle.



Nous rappelons que chez les végétaux le besoin en bore est essentiel et que cet élément peut devenir rapidement toxique à des concentrations restant néanmoins extrêmement faibles. M PINTA a constaté qu'en zones tempérée et boréale, il y a environ 1,3 à 4,3 ppm de bore dans les sols limono-argileux sans sable, en région aride et semi-aride 160 ppm dans les sols salés à alcali et en région tropicale 0,4 à 3,3 ppm environ. Une fraction de 0,1 à quelques ppm, extractible à l'eau est assimilable par les végétaux. Nos échantillons sont très riches en bore total et bore assimilable.

10-2 - Bore assimilable - Conductivité

(voir graphique i - planche III)

Nous avons trouvé une corrélation positive entre le bore assimilable et la conductivité électrique de la pâte saturée. Autrement dit, le bore est en relation avec la salure. L'équation de la courbe est la suivante :

$B_A = 0,43\text{EC} + 3,28$

B_A en ppm

avec $r = 0,98$

EC en mmhos/cm

10-3 - Bore assimilable - SAR

(voir graphique j - planche III)

Ici aussi, nous avons trouvé une corrélation positive

entre le bore assimilable et le SAR de la pâte saturée.
Ceci confirme la conclusion dégagée dans le cas précédent.
L'équation de la courbe est :

$$B_A = 0,29 \text{ SAR} - 1,08 \quad B_A \text{ en ppm.}$$

avec $r = 0,99$

10-4 - E.S.P. - Conductivité

(voir graphique k - planche IV).

On trouve entre l'E.S.P. et la conductivité électrique de la pâte saturée une corrélation positive se traduisant par l'équation suivante :

$$\text{ESP} = 0,55 \text{ EC} + 27,81 \quad \begin{array}{l} \text{EC en mmhos/cm} \\ \text{ESP en \%} \end{array}$$

avec $r = 0,98$

10-5 - ESP - Instabilité structurale

(voir graphique l - planche IV)

Nous avons trouvé une corrélation négative entre l'ESP et I_s . Cela revient à dire que l'ion Na^+ détruit la structure, ci-dessous l'équation de la courbe :

$$\text{ESP} = - 5,75 I_s + 58,32 \quad \text{ESP en \%}$$

avec $r = -0,72$

10-6 - Bore assimilable - Argile

(voir graphique m - planche IV)

Nous avons trouvé une corrélation négative entre le bore assimilable et l'argile. Cette corrélation se traduit par l'équation suivante :

$$B_A = - 1,56 \text{ Argile} + 60,16$$

avec $r = - 0,85$

B_A en ppm
Argile en %

10-7- Bore assimilable - (Argile + Limons)
(voir graphique n - planche IV)

Ici aussi, nous trouvons une corrélation négative entre (Argile + Limons) et le bore assimilable (facilement utilisable par les végétaux). Voici l'équation de la courbe:

$$B_A = - 0,58 (A+L) + 48,98$$

avec $r = - 0,71$

(A+L) en %
 B_A en ppm

10-8 - Bore assimilable - Sables
(voir graphique p - planche IV)

Dans ce cas, nous trouvons une corrélation positive entre le bore assimilable et le pourcentage de sables. Ci-dessous l'équation de la courbe :

$$B_A = 0,57 \text{ Sables} - 6,57$$

avec $r = 0,69$

B_A en ppm
Sables en %

Il existe un parallélisme entre argile et (Argile + Limons) et teneur en calcaire qui augmente en profondeur.

10-9 - Bore assimilable - calcaire total

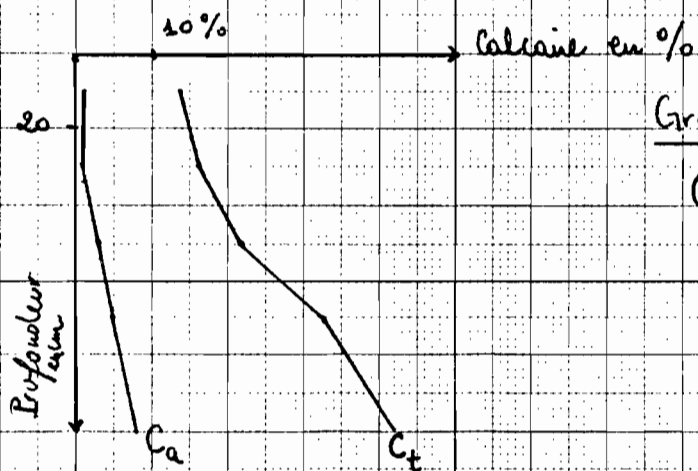
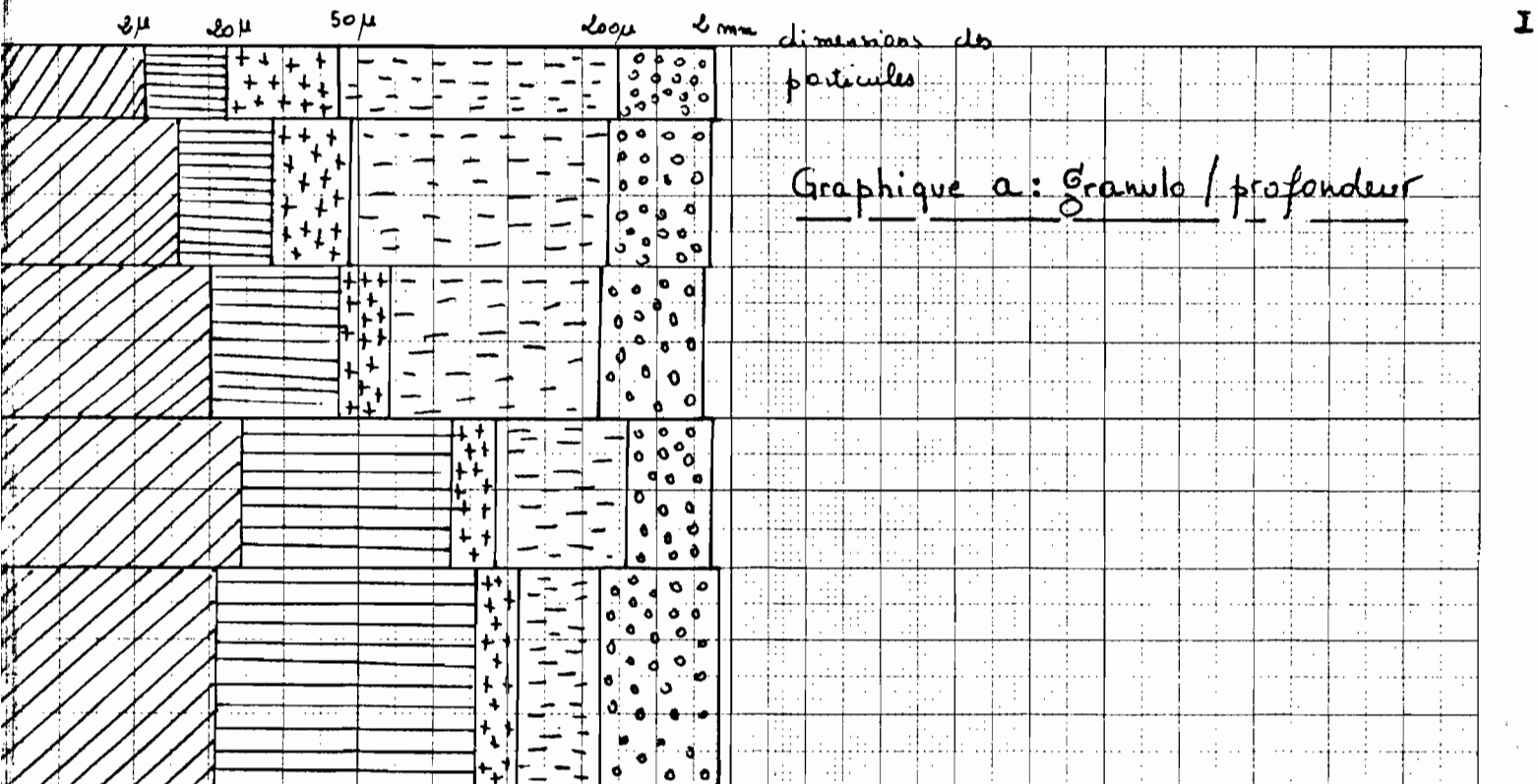
(voir graphique q - planche IV)

Il y a une corrélation négative entre le bore assimilable et le calcaire total. Cette corrélation se traduit par l'équation suivante :

$$B_A = - 0,54 \frac{\text{CaCo}_3}{\text{Total}} + 29,23$$

 B_A en ppm CaCo_3 en %
Totalavec $r = - 0,71$

On conclut que l'excès de calcaire bloque l'assimilabilité du bore. Les corrélations avec la texture sont en fait indirectement des corrélations avec le calcaire qui varie dans le même sens que le taux d'argile et en sens inverse du taux de sables.

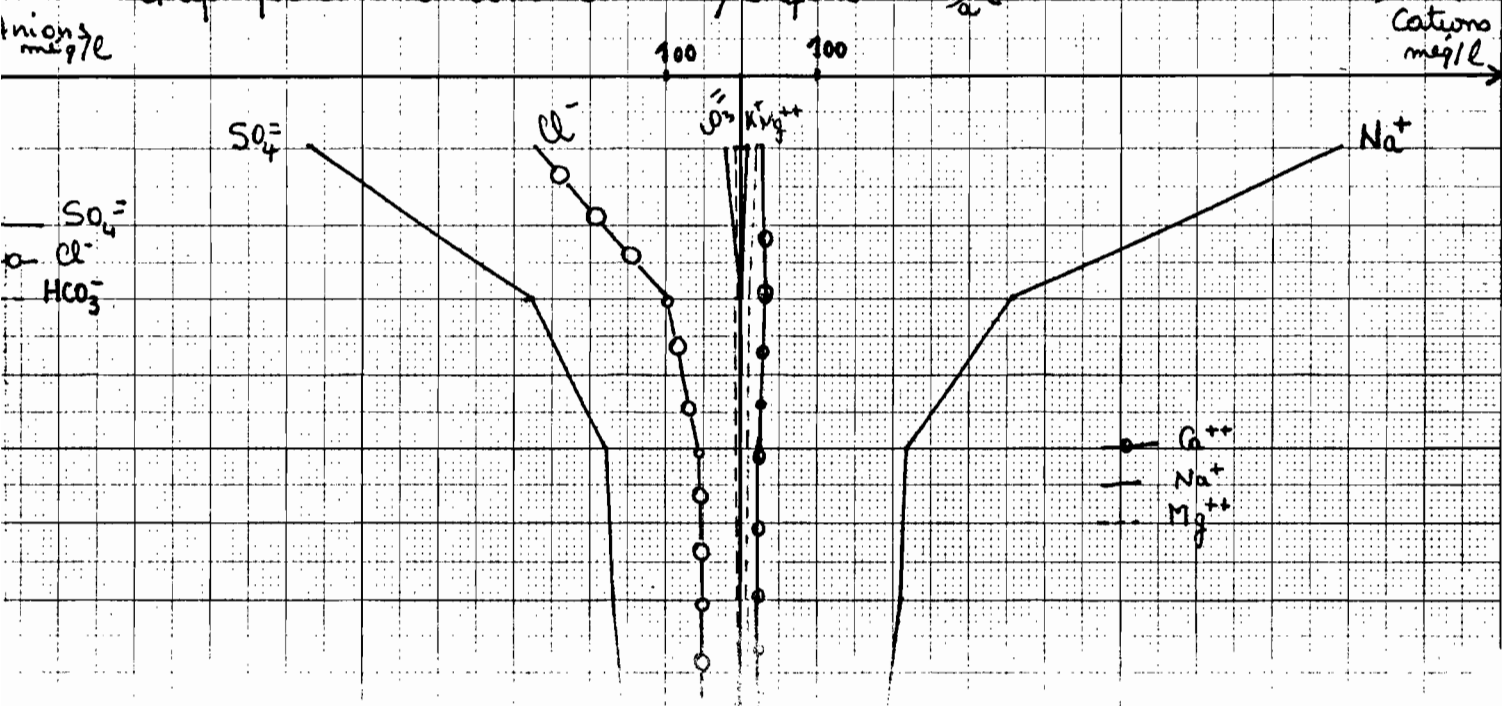


Graphique b: Calcaire / profondeur

C_t = Calcaire total.

C_a = Calcaire actif.

Graphique c: distribution des ions / Profondeur: 1/2 (Extrait Saturé)



meq/100 sol
anions

SO_4^{2-}

Cl^-

HCO_3^-

5

5

meq/100 sol
cations

Na^+

Ca^{++}

Mg^{++}

1b. Extrait Saturé
ions (meq/100 sol) / Profondeur

Na^+

Ca^{++}

Mg^{++}

Graphique d

Profondeur (cm)

Graphique e: distribution des ions / profondeur. 2a) Extrait 1/2

Anions
meq/l

SO_4^{2-}

Cl^-

HCO_3^-

20

20

Cations
meq/l

Na^+

Ca^{++}

Mg^{++}

Profondeur (cm)

Graphique f

meq/100 sol

SO_4^{2-}

Cl^-

HCO_3^-

5

5

meq/100 sol

Na^+

Ca^{++}

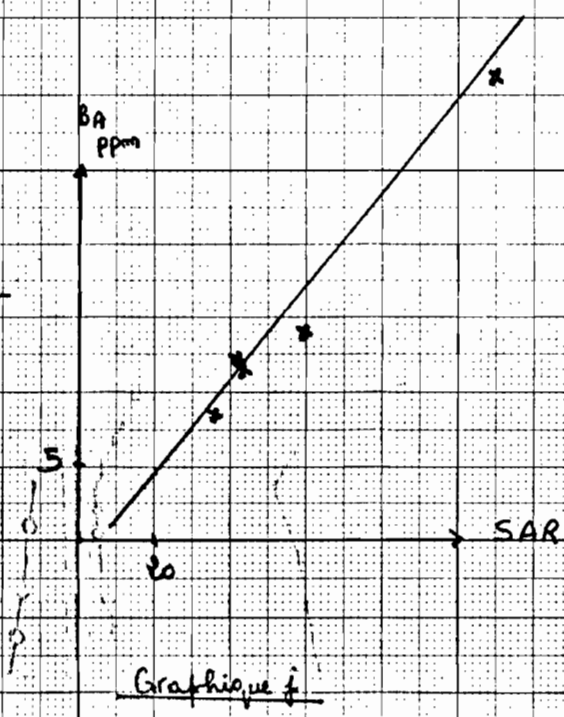
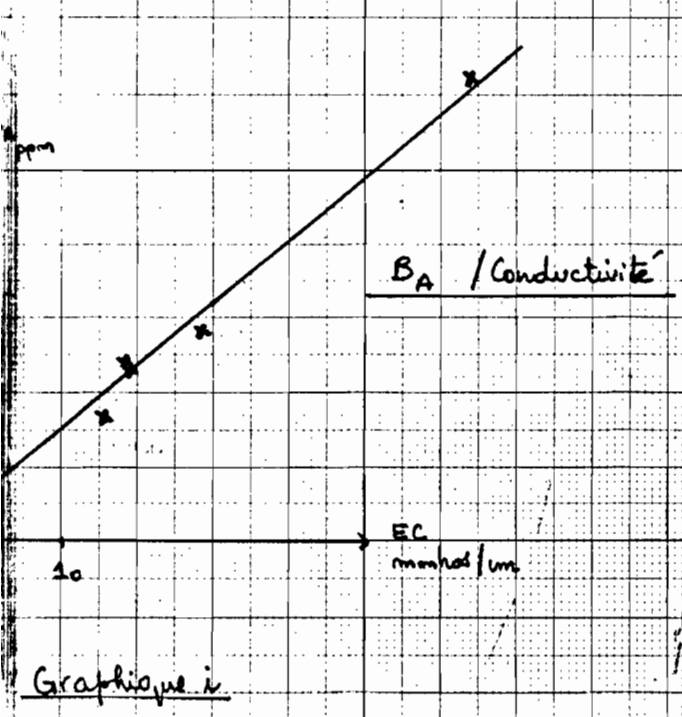
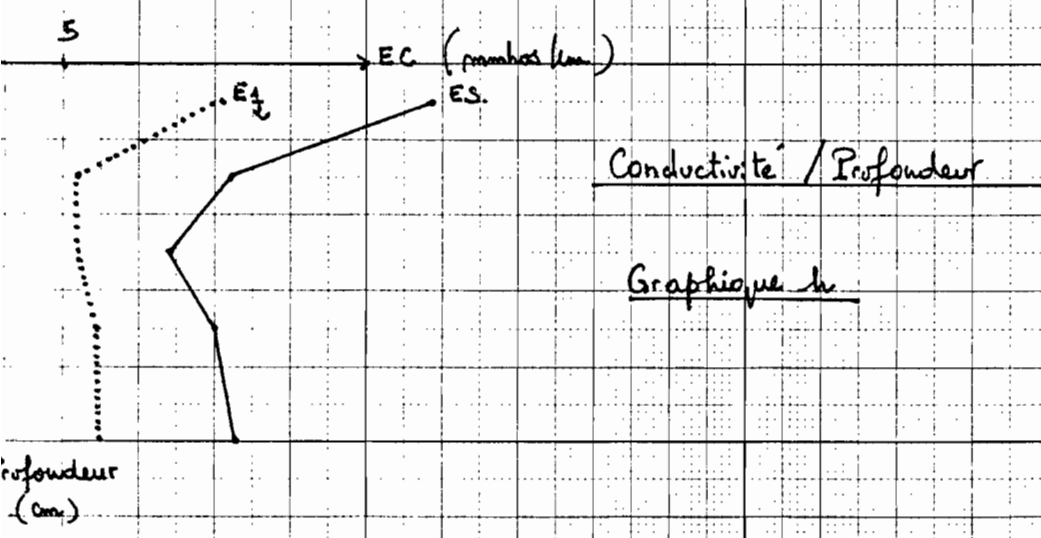
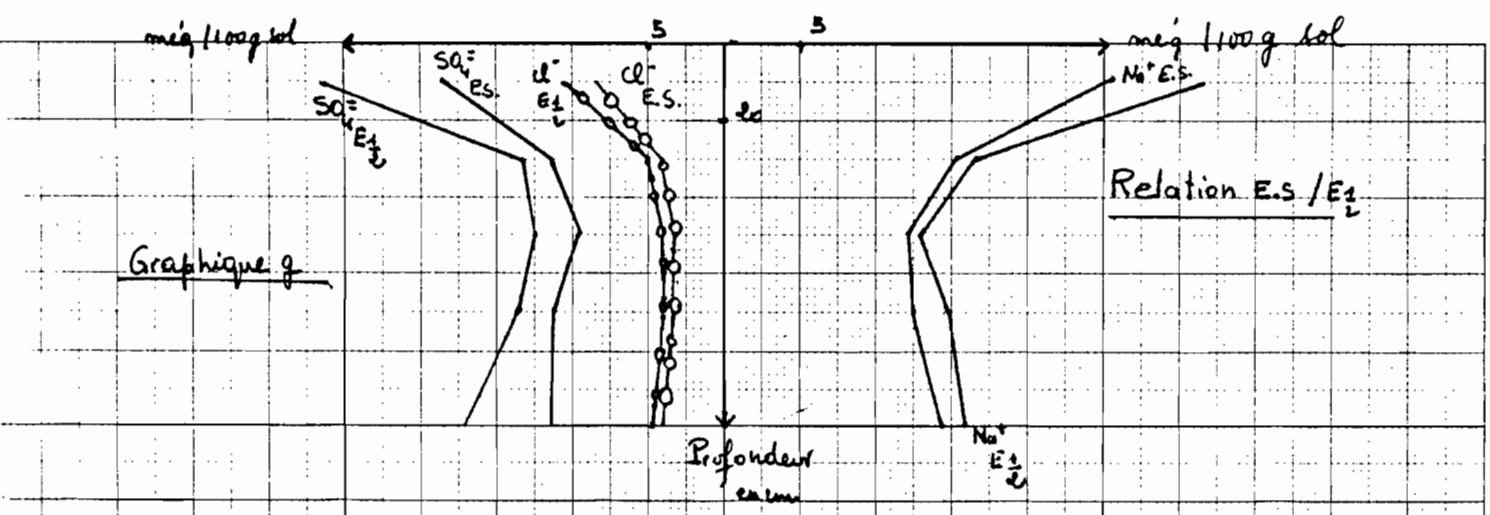
Mg^{++}

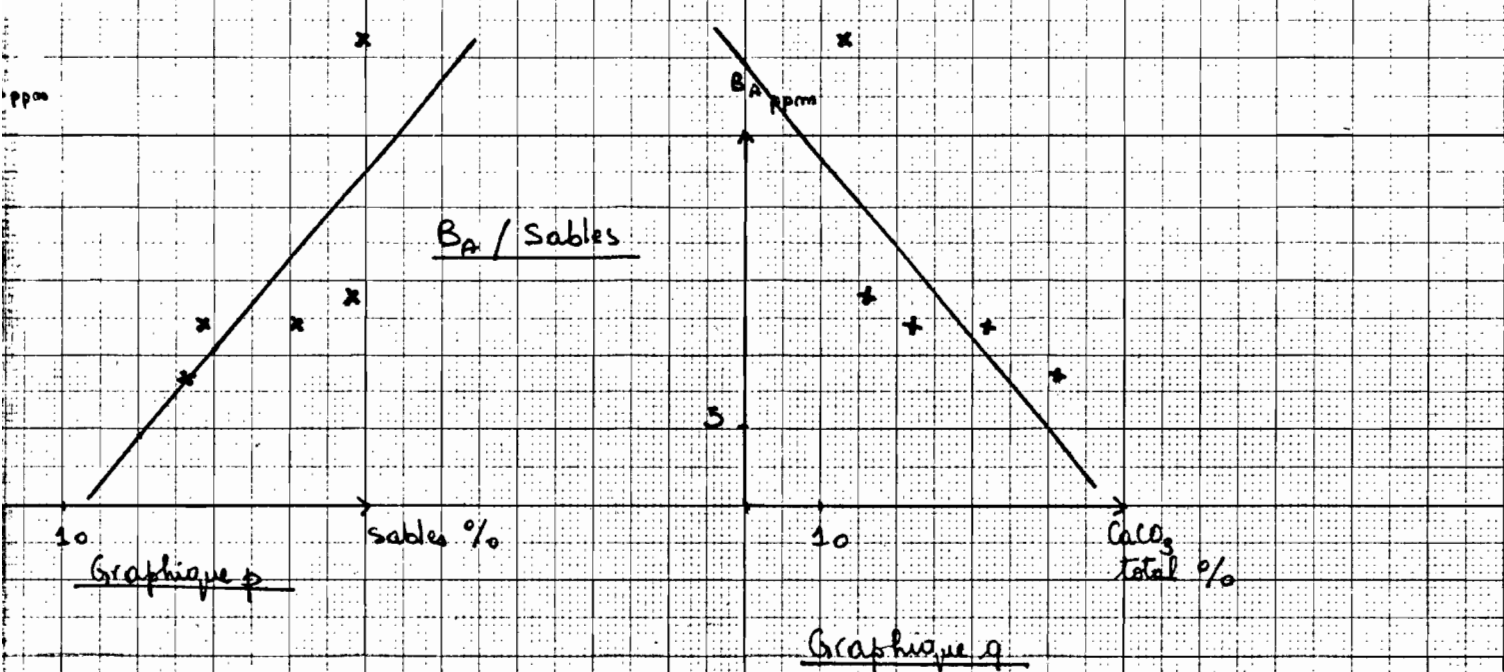
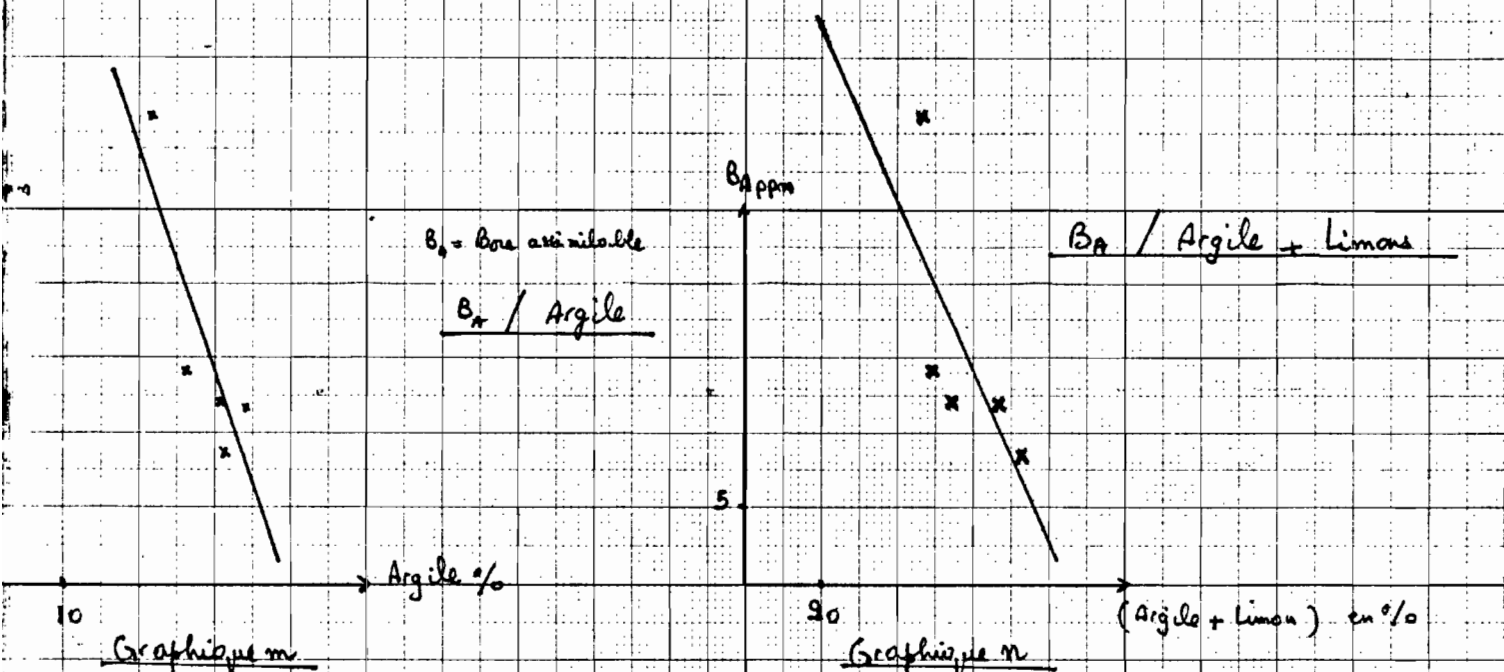
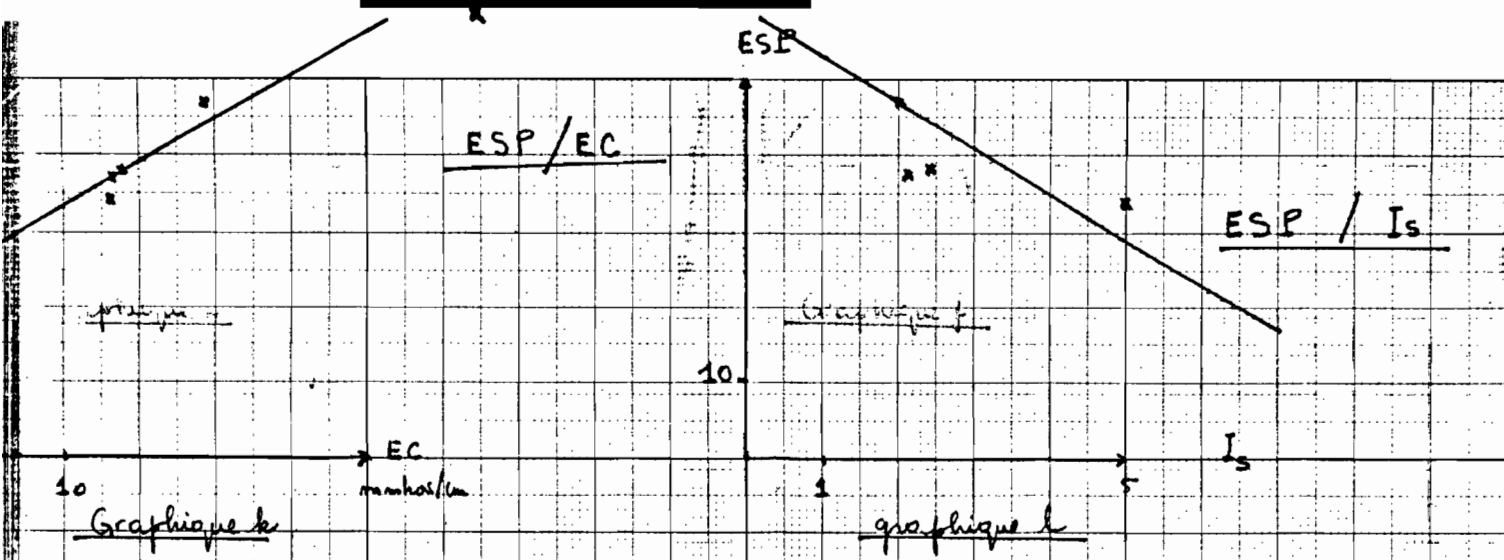
2b. Extrait 1/2
ions (meq/100 sol) / Profondeur

Na^+

Ca^{++}

Mg^{++}





IV - CONCLUSION


D'une manière générale, nous n'avons rencontré aucune difficulté avec les dosages car nous avons affaire à des appareils assez fidèles. Néanmoins, il est difficile de doser le calcium et le magnésium échangeables si les échantillons proviennent d'un sol calcaire car l'acétate d'ammonium et l'acétate de sodium dissolvent de fortes quantités de carbonates et constituent deux sources d'erreurs à éviter. C'est pourquoi nous disons qu'il est préférable d'obtenir la somme $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ échangeables par différence. Pour ce qui est des sels solubles, les méthodes de l'extrait saturé et de l'extrait 1/2 présentent des avantages et des inconvénients. La première demande une préparation manuelle importante et constitue une perte de temps et de terre si l'échantillon a une texture fine mais donne une bonne estimation des sels solubles présents dans la solution du sol et leur action sur la fertilité. La méthode de l'extrait 1/2 est rapide, fidèle et donne un meilleur renseignement sur l'équilibre des ions solubles et échangeables dans le sol. Elle présente l'inconvénient de donner une estimation trop élevée des sels contenus dans la solution du sol.

Le sol d'AFGHANISTAN qui est un profil salin de type "A" est fortement salé. Il est riche en sulfates et chlorures. Le complexe étant fortement saturé en Na^+ , on dit

.../...

qu'il est très difficile de le mettre en valeur. Ce sol de texture limono-argileuse présente de fortes teneurs d'ions en surface.

Bref, c'est un solontchak sulfato-chloruré dû à une remontée de nappe salée.



Le profil d'Afghanistan est très riche en bore total, bore assimilable et fer et cette richesse en fer rend difficile le dosage du bore total. Dans ce cas, il est conseillé d'utiliser une résine catio-sulfonique pour fixer le fer ; nous avons appliqué cette méthode qui a donné des résultats satisfaisants.

En ce qui concerne les corrélations, nous constatons que le bore assimilable est en corrélation positive avec la conductivité électrique de la pâte saturée, ainsi que le S.A.R. et l'E.S.P. ; autrement dit, ces corrélations confirment que le bore soluble est fonction de la salure.

Enfin, puisque le bore assimilable est en corrélation négative avec le calcaire total et compte tenu du parallélisme qui existe entre les taux d'argile et d'argile + limons et le calcaire total, nous concluons que les corrélations avec la texture sont indirectement des corrélations avec le calcaire.

Comme conclusion finale on peut dire que la présence du bore renforce la toxicité due à l'excès de sel.

Cette toxicité peut être combattue par l'accroissement du calcaire mais ce dernier agit en profondeur, alors que la salure tend à augmenter en surface du sol ; un apport de calcaire dans la partie supérieure du sol en même temps que des irrigations de dessalage, permettraient de diminuer cette toxicité.

ANNEXES

DETERMINATION de L'Indice d'Instabilité

Structurale Is

1 - A. Détermination du pourcentage d'agrégats stables

On introduit la terre (10g) dans des béchers de 250 ml. On ajoute de l'eau distillée (1/2 du bécher). Au bout d'une demi-heure on verse le contenu dans un erlen de 750 ml. On l'agite 20 fois. On le passe dans un tamis reposant dans une grande capsule. On tamise avec 20 rotations de 120° chacune. On rince bien le tamis et le contenu est mis dans une petite capsule. On le décante dans la grande capsule. On laisse séjourner la petite capsule dans l'étuve à 105°C pendant une nuit. Le lendemain on fait la pesée et par différence on a le poids des agrégats qui, multiplié par 10 donnera le pourcentage d'agrégats stables à l'eau. On refait les mêmes opérations avec de l'alcool et du benzène. La moyenne arithmétique des 3 traitements donne le pourcentage d'agrégats stables.

B. Détermination de (A + L) maximum

On ne jette pas le contenu de la grande capsule. On le passe dans une allonge et on complète le volume à 1 litre avec H₂O distillée. On extrait à 10 cm de profondeur

.../...

à l'aide de la pipette de ROBINSON. On verse l'extrait dans un cristalliseur et le met à l'étuve à 105°C. Le lendemain on fait la pesée. Parmi les 3 résultats obtenus à l'eau, à l'alcool et au benzène, on prend le plus fort. En principe c'est celui obtenu à l'alcool, ce dernier ayant un effet protecteur de la texture contrairement au benzène qui la détruit.

C. Détermination du pourcentage de sables grossiers

On verse la terre contenue dans la petite capsule dans un bécher. A l'aide d'un jet de pissette on essuie bien le fond. On ajoute un peu d'eau oxygénée et on le pose sur une plaque chauffante (50 - 60°C).

Au bout de 2 heures, on enlève le bécher et le laisse refroidir. On disperse les argiles. Lorsque toutes les particules fines seront passées à travers le tamis, on passe le reste dans une petite capsule qui séjournera dans l'étuve à 105°C pendant une nuit. Le lendemain on fait la pesée après un dernier tamisage.

On calcule l'indice d'instabilité structurale (Is) d'après la formule suivante :

$$Is = \frac{(A+L) \text{ maximum}}{\text{moyenne agrégats \%} - 0,9 \text{ S.G.\%}}$$

Dosage du Calcaire actifMéthode de DROUINEAU modifiée par GALET

2 - Le calcaire actif correspond au calcaire fin, facilement solubilisé.

Réactifs : - oxalate d'ammonium N/5 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, H_2O
- Permanganate de potassium N/10 KMnO_4
- Acide sulfurique concentré H_2SO_4

On pèse 2,5 g de terre et les introduit dans un erlen de 500 ml. On ajoute 250 ml d'oxalate d'ammonium et agite pendant 2 heures sur un chariot mécanique.

On filtre en rejetant les premiers ml.

On ajoute 100 ml d' H_2O distillée et 5 ml de H_2SO_4 concentré dans un bécher contenant 10 ml du filtrat.

On chauffe vers $60 - 70^\circ \text{C}$.

On titre par KMnO_4 N/10. Au virage on obtient une teinte rose (soit n ml de KMnO_4 N/10).

Dans les mêmes conditions, on titre 10 ml d'acétate (soit n' ml de KMnO_4 N/10).

La différence entre les 2 titrages correspond pour la partie aliquote à la quantité de calcium du carbonate ayant réagi sur l'oxalate d'ammonium.

$\text{Ca CO}_3 \text{ actif } \% = (n - n') 50$
--

Dosage du Calcaire total au
calcimètre BERNARD

3 - On travaille sur des sols vierges finement broyés.

On introduit la terre dans une fiole à doigt et l'humidifie avec un peu d'eau.

On verse 10 ml de HCl 1/2 dans l'appendice de la fiole.

On bouche avec le bouchon de caoutchouc portant le tube de dégagement et rétablit la pression atmosphérique. On règle l'appareil à zéro.

La communication étant fermée avec l'extérieur on fait couler petit à petit l'acide sur la terre.

Tout en agitant, on fait descendre la boule de façon à ce que l'eau reste au même niveau et dans la boule et dans le tube.

Quand le niveau ne bouge plus dans le tube, on lit le volume de gaz dégagé. Afin d'éviter les corrections de température et de pression, on étalonne l'appareil avant chaque série de mesures avec 0,300 g de Ca CO₃ pur et sec, par le même procédé que les mesures proprement dites; soit v le volume de CO₃ obtenu.

$$\text{Ca CO}_3 \% = \frac{0,3 \times V \times 100}{v \times P}$$

P = prise d'essai en g

V = volume de CO₂ dégagé par la prise de terre P

v = volume de CO₂ dégagé par 0,300 g de CaCO₃

4 - La pâte saturée : préparation

On pèse un poids déterminé de sol (250-300g) dans une capsule en porcelaine.

On verse goutte à goutte l'eau distillée contenue dans une burette. On écrase la terre à l'aide d'une spatule jusqu'à ce que la pâte devienne brillante, onctueuse et glisse sur la paroi de la capsule lorsqu'on l'incline. Si au bout d'une heure, il n'y a plus d'eau au fond du trou qu'on aura préalablement fait dans la pâte avant de la couvrir, on passe à l'extraction soit par centrifugation, soit sous vide si on constate la moindre floculation dans les tubes de centrifugation. Sinon on laisse s'évaporer l'eau et on retravaille la pâte. En général le point de saturation est atteint si la pâte glisse, sur la spatule légèrement inclinée "sans hésitation". (voir tableau page suivante).

Profondeur en cm	Volume H ₂ O en ml	Volume du filtrat	PH	Température en °C	CE à 25°C en mmhos/ cm	még/l calculé d'après EC	még/100g so calculé d'après EC
0-10	96	27	8,3	20°5	63,92	920	29,4
10-30	128	35	8	"	28,62	380	16,2
30-50	165	46	7,7	"	17,44	220	12,1
50-70	197	56	7,7	"	17,72	230	15,1
80-100	245	96	7,7	"	15,81	203	16,6

5 - Extrait 1/2

- Pour 100 g de sol, on prend 200 ml d'eau distillée
- On agite environ 1 heure sur l'agitateur mécanique
("va et vient")
- On centrifuge.

.../...

Profondeur en cm	Volume H ₂ O en ml	Volume filtrat en ml	PH	Température en °C	EC à 25°C mmhos/cm	még/l calculé d'après EC	még/100g sol calculé d'après EC
0-10	200	160	8,5	19°3	15,68	202	40,4
10-30	"	151	8,2	"	6,30	74	14,8
30-50	"	133	8,1	"	6,16	72	14,5
50-70	"	126	8	"	7,28	87	17,4
80-100	"	116	7,8	"	7,56	90	18

6 - Conductivité

Il existe une relation entre la conductivité exprimée en mmhos et la concentration de la solution (cations + anions en méq/l). La conductivité donne une idée précise de la salinité des sols et son interprétation est immédiate. La conductivité est l'inverse de la résistivité.

$$x \text{ } \Omega = \frac{1}{1000 x} \text{ mmhos}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} EC_{25^{\circ}C} = EC_t \times f_t \times \text{Constante de la cellule} \\ f_t : \text{facteur de température au temps } t \quad (\text{tables}) \\ EC_t : \text{conductivité de la solution au temps } t \\ C^{\text{te}} \varphi : \text{dépend de l'appareil (conductimètre)} \end{array} \right.$$

Pour déterminer la constante de la φ d'un appareil, on mesure la résistivité d'une solution de KCl (N/10, N/50 ou N/100) et on fait le rapport $\frac{\text{résistivité théorique}}{\text{résistivité lue}}$ compte tenu de la température.

Solution et normalité	°C	Résistivité théorique Ω/cm	Résistivité lue Ω/cm	K constante de la φ	Moyenne
Kcl N/10	21°4	83,59	67	1,23	
Kcl N/50	21°4	392	310	1,26	1,24
Kcl N/100	21°4	766	610	1,25	

Si EC compris entre 0 et 2	:	sol non salé
" " " " 2 et 4	:	sol faiblement salé. Les plantes se comportent bien sauf les plantes très sensibles.
" " " " 4 et 8	:	salure modérée. Effet sur de nombreuses plantes.
" " " " 8 et 16	:	salure forte. Agriculture hasardeuse sauf quelques plantes tolérantes.
" " supérieur à 16	:	Salure très forte. Végétation caractéristique : plantes grasses, sueda Arthrocnemon, salicornia...

7 - Les sels solubles

Pour chaque échantillon on prend 10 ml de filtrat dans 2 béchers. On ajoute 2 ml de H_2O_2 et laisse reposer une journée pour attaquer la matière organique à froid. Ensuite on verse 1 ml de H_2SO_4 dans chaque bécher et on chauffe faiblement (6 heures environ). Quant tout s'évapore, on ajoute environ 30 ml de Hcl (1/100) dans la moitié des béchers et environ le même volume de lantane (1/100) dans l'autre moitié) Après dissolution des sels, on laisse refroidir et on filtre dans des fioles. Le lantane sert à éliminer (du moins partiellement) l'interférence de Ca^{++} sur Na^+ . Ensuite on dose. Na^+

et K^+ par émission de flamme dans les solutions à l'acide chlorhydrique et Ca^{++} et Mg^{++} par absorption atomique dans les solutions au lantane.

Les chlorures, les carbonates, les bicarbonates et les sulfates sont dosés directement dans les filtrats obtenus à partir de la pâte saturée ou de l'extrait 1/2.

.../...

La capacité d'échange à ph = 8,2

8 - Méthode avec l'acétate de sodium à ph 8,2

Cette méthode est utilisée pour les sols calcaires et alcalins.

A - Saturation du sol

- Dans un tube de centrifugeuse de 50 ml, on introduit 5 g de sol fin. On additionne 25 ml d'acétate de Na^+ normal à ph 8,2. On agite quelques secondes. On centrifuge de 5 à 10 mn à 4000 tour/mn; on recommence 3 fois les mêmes opérations. On décante dans une fiole de 100 ml.

Cette solution servira au dosage de K^+ par photométrie de flamme et de Ca^{++} et Mg^{++} par complexométrie.

B - Lavage

La terre n'étant pas jetée, on la lave 3 fois par agitation et centrifugation avec du méthanol comme en "A".

C - Déplacement des ions

On opère comme en "A" par 4 déplacements avec 100 ml d'acétate d'ammonium normal à ph 7 avec agitation et centrifugation à chaque coup. On recueille et filtre les décantats. Dans cette solution, on fait le dosage ^{de} Na^+ qui va constituer

la capacité d'échange et de Ca^{++} pour le calcul de l'interférence uniquement.

$T = \text{Na}^+$ échangé par l'acétate d'ammonium N
--

9 - Les Cations échangeables à ph = 7

On travaille sur les culots finement broyés.

Les prises d'essai sont de 20 g dans 100 ml ou 10g dans 250 ml si on a affaire à un sol calcaire. Le matériel (rampe, fioles, entonnoirs, béchers, filtres) étant préalablement installé, on met la terre dans des béchers de 100 ml ou 250 ml selon le cas. On ajoute 60 à 80 ml d'acétate d'ammonium normal à ph 7. On agite par intermittence avec des baguettes de verre en laissant reposer chaque fois 1/4 heure. Au bout d'une demi-heure, la décantation est en principe terminée et on filtre. On reprend deux fois de suite les mêmes opérations. Enfin on amène le filtrat à volume c'est-à-dire 250 ml pour les sols calcaires et 100 ml pour les sols non calcaires.

a. Dosage du calcium seul

On pèse 200 mg de calcone qui est un colorant pour le titrage des métaux. On le met dans une fiole de 100 ml et on ajoute 25 ml de triethanolamine. On complète à volume avec du méthanol. On agite et filtre pour ne pas avoir des particules de calcone en suspension dans la solution. Dans le tube d'essai, on verse 1 ml du filtrat. On ajoute 8 ml de CNK 1% après rajout d'étalon de Ca^{++} si besoin est. On y met 2 petits aimants pour homogénéiser. On additionne de l'eau distillée pour relever le niveau et 0,25 ml de calcone après avoir versé quelques gouttes de NaOH (20 N).

b. Dosage de la somme $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ $\text{Mg}^{++}\text{N}/50$ 0,9364 mg de MgCO_3

(étuve 130°C) \rightarrow litre. Tampon : 140 g de chlorure d'ammonium + 20 g de CNK + 40 g de chlorhydrate d'Hydroxylamine + 100 ml de triethanolamine + 720 ml d'ammoniaque.

Colorant : noir erochrome : 200 mg + 100 mg de chlorhydrate d'Hydroxylamine dans 50 ml d'alcool méthylique.

.../...

DOSAGE DU BORE TOTAL10 - A. Préparation des solutions à doser

On broie finement la terre et la passe dans un tamis dont les trous ont 0,2 mm de diamètre. On pèse 1g et l'introduit dans une capsule en platine (on n'utilise pas le matériel ordinaire de laboratoire tel que PYREX puisque l'on retrouve plus ou moins de borosilicates dans leur composition et ceux-ci nous contamineraient les solutions).

On verse 10 ml d'acide fluorhydrique et environ 5 ml d'acide perchlorique. On laisse l'attaque se faire à froid pendant 48 heures. L'acide fluorhydrique sert à former des fluorosilicates. Ces derniers sont volatils et ainsi éliminés. Quant à l'acide perchlorique, il sert à former des perchlorates. A partir de là, on peut faire une analyse totale. Tout d'abord, on chauffe à 50°C pour faire partir l'acide fluorhydrique et les fluorosilicates. Ensuite on augmente la température pour faire partir l'acide perchlorique en excès et mieux attaquer certains éléments difficiles tels que l'aluminium et le fer. Enfin, on ajoute de l'acide chlorhydrique pour tout transformer en chlorures (10 ml d'HCl 4/2). Quand tout redevient sec, on enlève les capsules de la plaque chauffante et les laisse refroidir. On ajoute 4 ml d'HCl 1/2 et 10 ml d'eau chaude. On passe la solution dans une fiole et complète le volume à 100 ml.

Réactifs : Solution d'azométhine

Dans un bécher on introduit 1,25 g d'azométhine sec et 5g d'acide ascorbique. On y verse environ 350 ml d'eau distillée et on l'agite puis on complète à 500 ml.

Tampon

Dans un autre bécher, on introduit 100 g d'acétate d'ammonium et 5g d'EDTA et y verse 50 ml d'acide acétique. On ajoute 350 ml d'eau distillée. On l'agite puis on complète à 500 ml.

On confectionne une solution mère de $1000 \mu\text{g}$ de bore par ml à partir de l'acide borique. On prépare une gamme de 10 g/l - 7,5 - 5 - 2,5 - 1 - 0,5 - 0,25 et 0,1.

Pour éliminer l'interférence du fer, on prend 10 ml d'échantillon dans un tube ne contaminant pas la solution. On y introduit environ 3 g de résine. On l'agite énergiquement pendant 1 mn. On laisse la résine fixer le fer (ainsi que les autres ions positifs). Au bout d'une heure, on prélève une partie aliquote de la solution sur laquelle on fait le dosage du bore au technicon.

DOSAGE du BORE ASSIMILABLE

11 - Il s'agit, ici, de déterminer la fraction assimilable
les
par les végétaux.

I - Préparation des solutions

Comme dans le cas précédent, le matériel de travail est approprié. C'est pourquoi, il est constitué de quartz ou de téflon.

Dans un grand récipient en quartz de préférence, on fait bouillir de l'eau distillée. Dans des erlens en quartz on introduit 20 g de terre vierge (ceci pour éviter toute contamination). On y verse 50 ml d'eau bouillante et on note le niveau sur l'erlen. Pendant 1 heure, on laisse les erlens sur un bain-marie après les avoir bien couverts. Au bout de ce temps, on les laisse refroidir. Puis on complète à 50 ml avec de l'eau distillée. On laisse décanter. On prélève la partie limpide qui surnage pour y faire le dosage au technicon par colorimétrie et sans filtration pour éviter les contaminations.

II - Réactif et tampon

(voir BORE total)

N.B. L'azométhine se conservant très mal, on refait une nouvelle solution.

V - BIBLIOGRAPHIE

- Méthode de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange (P. PELLOUX).
- U.S. Salinity Laboratory Staff (RICHARDS L.A.)
Diagnosis and improvement of saline and alkali soils
Agriculture handbook n°6 1^{re} édition 1954.
- Recherche et dosage des éléments traces (M. PINTA)
- Techniques rurales en Afrique
10. Pédologie et développement.
- Pédogenèse et classification (Ph. DUCHAUFOR)
- The Geochemistry of Soda soils (N.I. BAZILEVITCH)
- Les Résines échangeuses d'ions et leur application à l'analyse des sols. J.O. JOB
- Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes
(thèse de Jean SERVANT)
- Communications in soil science and plant analysis
(vol 9 N°3, 1978)
- New Zealand Journal of science (sept 1977 vol. 20. N°3).

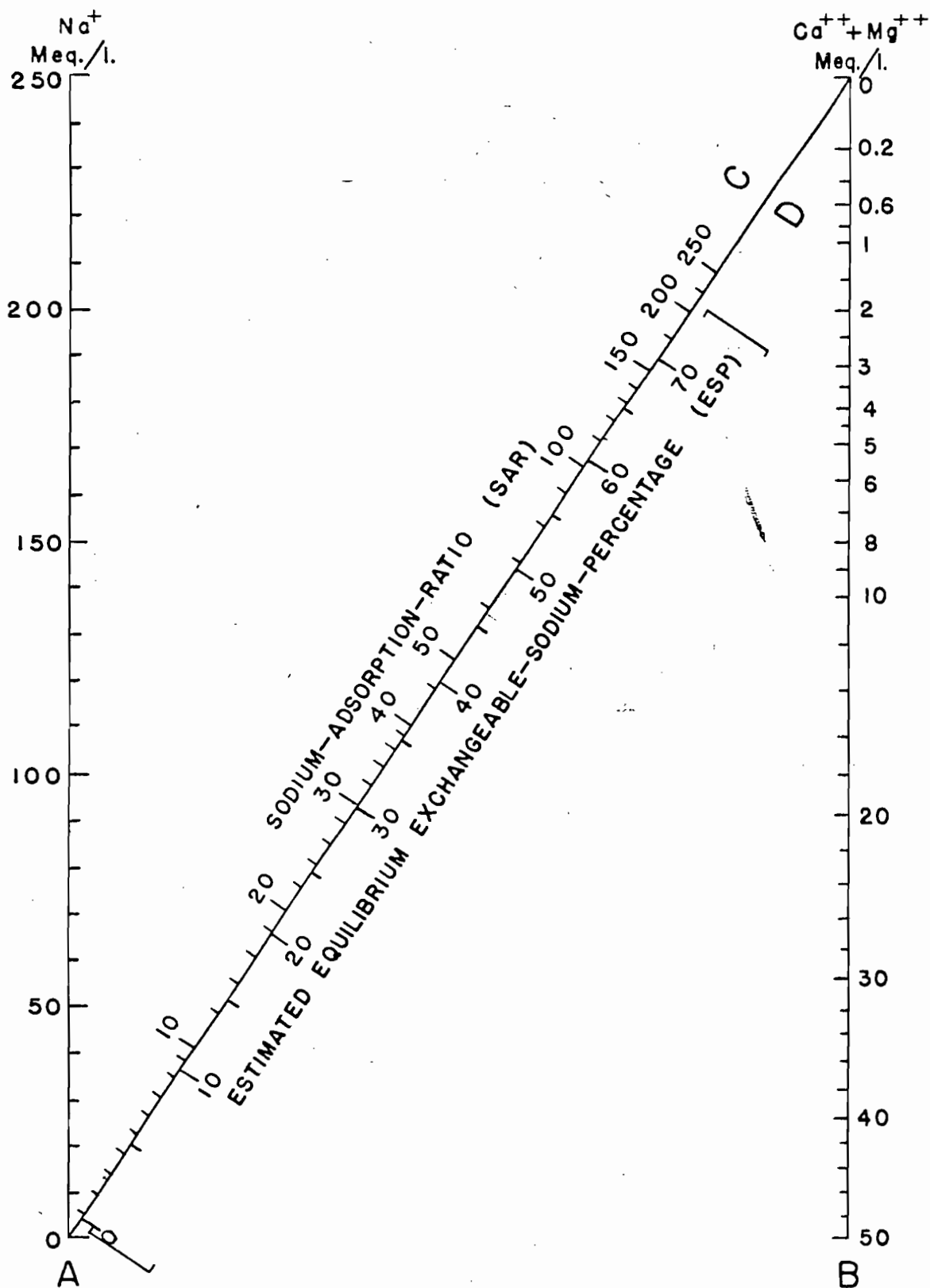


FIGURE 27.—Nomogram for determining the SAR value of a saturation extract and for estimating the corresponding ESP value of soil at equilibrium with the extract.

$\frac{P}{H}$	20.0
$\frac{H}{G}$	20.0
$\frac{G}{B}$	m-mho/cm

Département d'Agriculture - Handbook n°60 (RICHARDS) page 12
Graphique "dilaté"

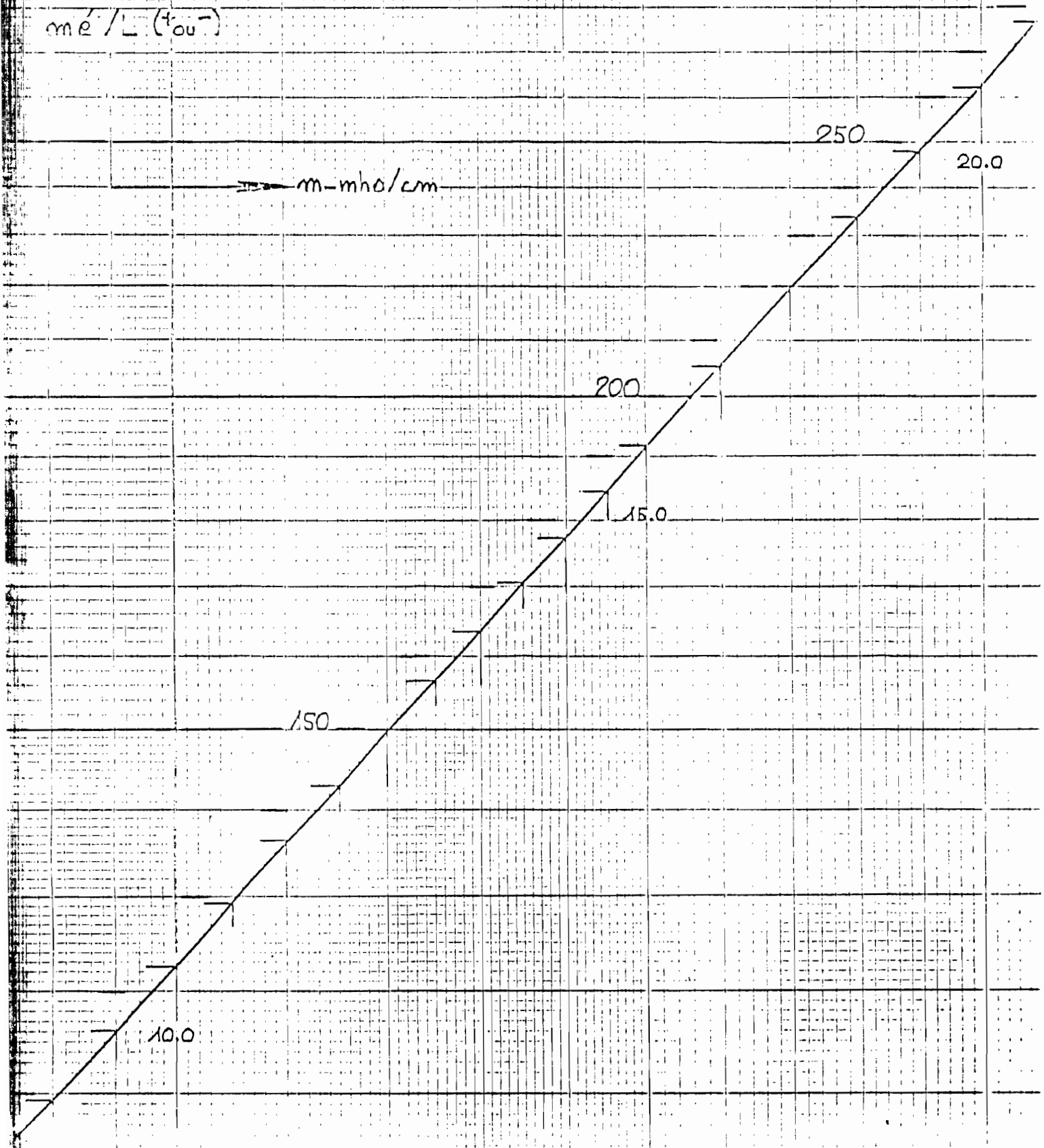


TABLE 15.—Temperature factors (f_t) for correcting resistance and conductivity data on soil extracts to the standard temperature of 25° C.

$$EC_{25} = EC_t \times f_t \quad EC_{25} = (k/R_t) \times f_t; R_{25} = R_t/f_t$$

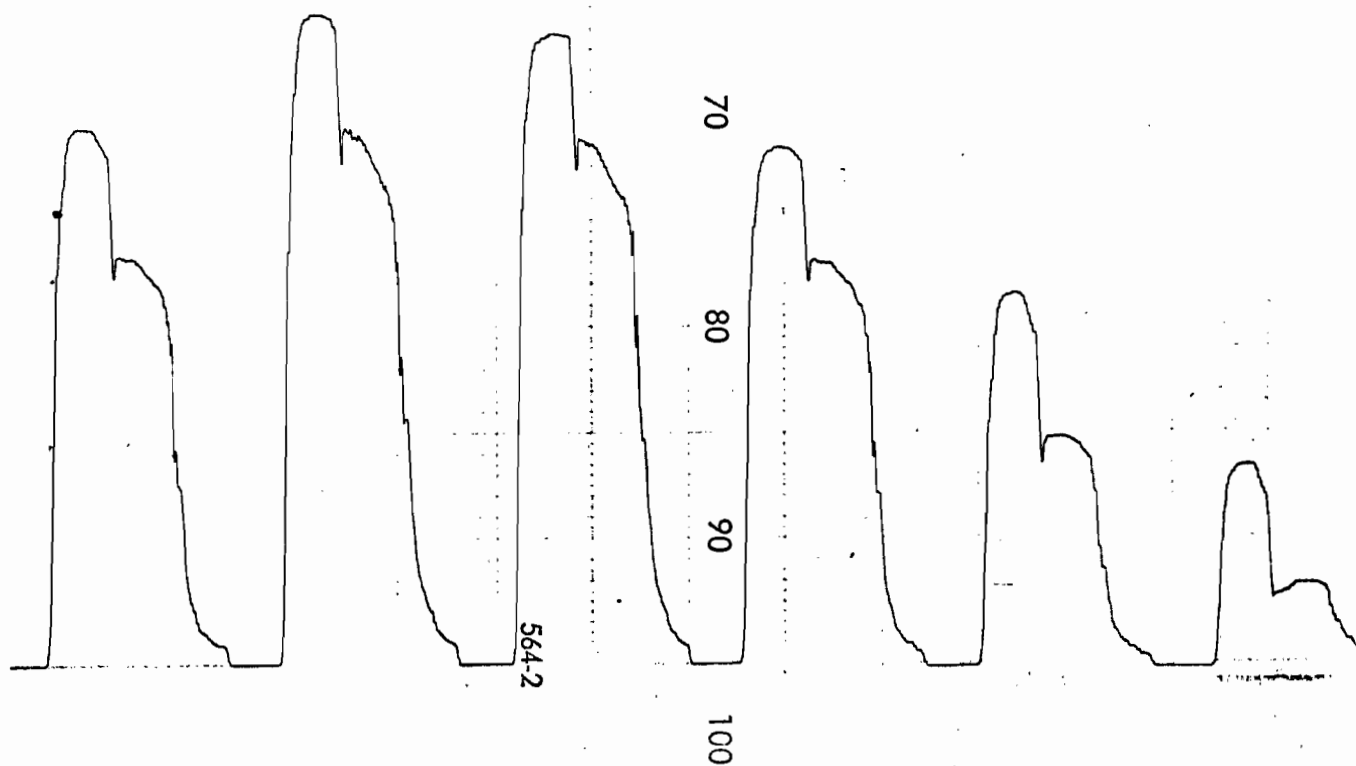
° C.	° F.	f_t	° C.	° F.	f_t	° C.	° F.	f_t
3.0	37.4	1.709	22.0	71.6	1.064	29.0	84.2	0.925
4.0	39.2	1.660	22.2	72.0	1.060	29.2	84.6	.921
5.0	41.0	1.613	22.4	72.3	1.055	29.4	84.9	.918
6.0	42.8	1.569	22.6	72.7	1.051	29.6	85.3	.914
7.0	44.6	1.528	22.8	73.0	1.047	29.8	85.6	.911
8.0	46.4	1.488	23.0	73.4	1.043	30.0	86.0	.907
9.0	48.2	1.448	23.2	73.8	1.038	30.2	86.4	.904
10.0	50.0	1.411	23.4	74.1	1.034	30.4	86.7	.901
11.0	51.8	1.375	23.6	74.5	1.029	30.6	87.1	.897
12.0	53.6	1.341	23.8	74.8	1.025	30.8	87.4	.894
13.0	55.4	1.309	24.0	75.2	1.020	31.0	87.8	.890
14.0	57.2	1.277	24.2	75.6	1.016	31.2	88.2	.887
15.0	59.0	1.247	24.4	75.9	1.012	31.4	88.5	.884
16.0	60.8	1.218	24.6	76.3	1.008	31.6	88.9	.880
17.0	62.6	1.189	24.8	76.6	1.004	31.8	89.2	.877
18.0	64.4	1.163	25.0	77.0	1.000	32.0	89.6	.873
18.2	64.8	1.157	25.2	77.4	.996	32.2	90.0	.870
18.4	65.1	1.152	25.4	77.7	.992	32.4	90.3	.867
18.6	65.5	1.147	25.6	78.1	.988	32.6	90.7	.864
18.8	65.8	1.142	25.8	78.5	.983	32.8	91.0	.861
19.0	66.2	1.136	26.0	78.8	.979	33.0	91.4	.858
19.2	66.6	1.131	26.2	79.2	.975	34.0	93.2	.843
19.4	66.9	1.127	26.4	79.5	.971	35.0	95.0	.829
19.6	67.3	1.122	26.6	79.9	.967	36.0	96.8	.815
19.8	67.6	1.117	26.8	80.2	.964	37.0	98.6	.801
20.0	68.0	1.112	27.0	80.6	.960	38.0	100.2	.788
20.2	68.4	1.107	27.2	81.0	.956	39.0	102.2	.775
20.4	68.7	1.102	27.4	81.3	.953	40.0	104.0	.763
20.6	69.1	1.097	27.6	81.7	.950	41.0	105.8	.750
20.8	69.4	1.092	27.8	82.0	.947	42.0	107.6	.739
21.0	69.8	1.087	28.0	82.4	.943	43.0	109.4	.727
21.2	70.2	1.082	28.2	82.8	.940	44.0	111.2	.716
21.4	70.5	1.078	28.4	83.1	.936	45.0	113.0	.705
21.6	70.9	1.073	28.6	83.5	.932	46.0	114.8	.694
21.8	71.2	1.068	28.8	83.8	.929	47.0	116.6	.683

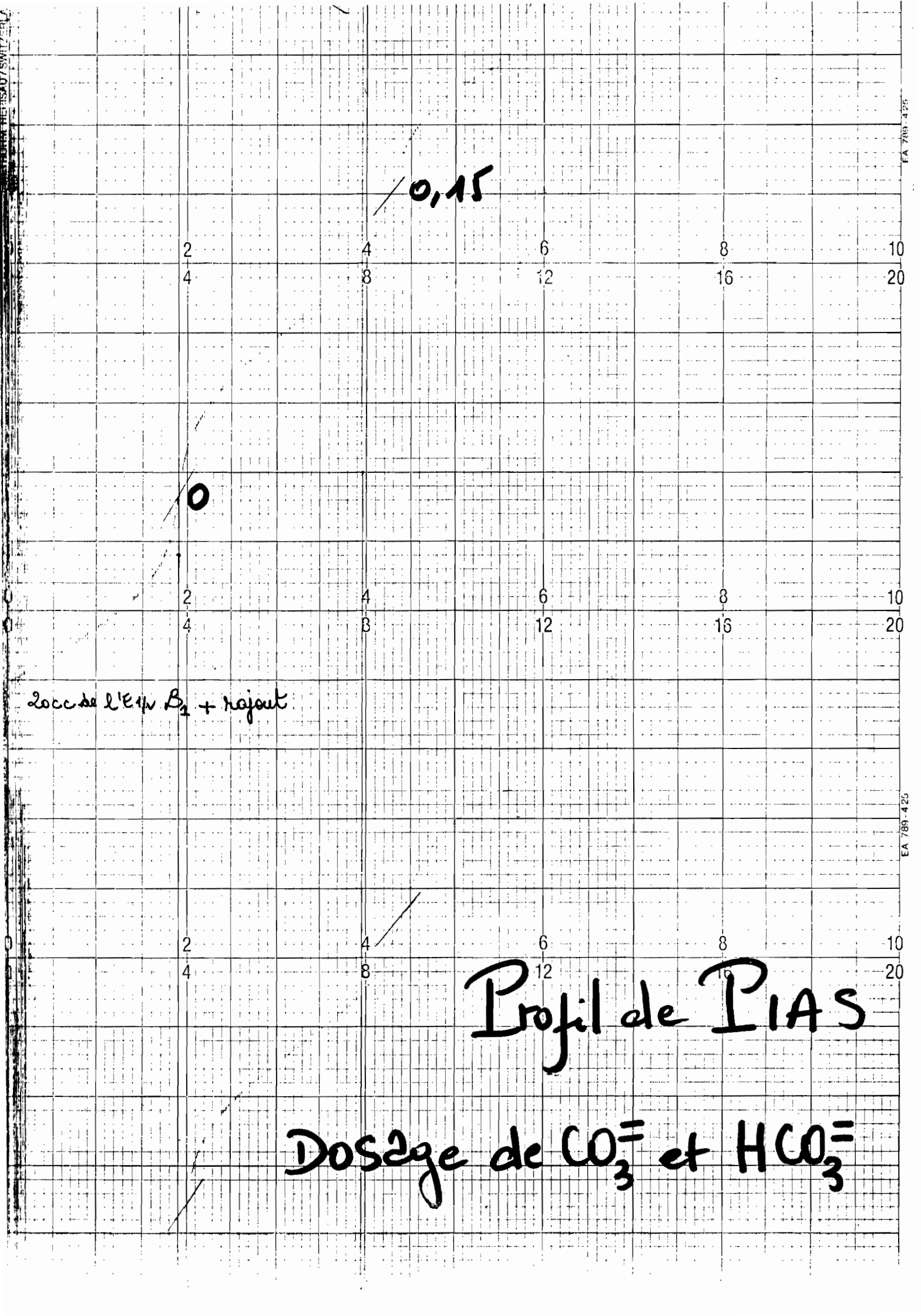
Profil de PIAS

Dosage de $\text{SO}_4^{=}$

Extrait Saturé
(Profil de PIAS)

①





Profil de PIAS

Dosage de CO_3^{2-} et HCO_3^-

2cc E.S. O.P.₂ 1/10 bons

$$1,275 \times 0,05 \times \frac{100 \times 96 \times 100}{2 \times 10 \times 300}$$

encore 1,5 mètre

2cc E.S. O.P.₁ 1/10 bons

non 1,5 Meter

sol KCl n/20

Dosage de Cl^-
D 1247

Le 25/10/78