

11046

**MÉTHODES D'ANALYSES UTILISABLES
POUR LES SOLS SALÉS, CALCAIRES ET GYPSEUX**
Analyses d'Eaux

par

M^{me} S. COUTINET

Chef du Laboratoire de Physique des Sols

(Division des Sols, IRAT)

MÉTHODES D'ANALYSES UTILISABLES POUR LES SOLS SALÉS, CALCAIRES ET GYPSEUX

Analyses d'Eaux

par

M^{me} S. COUTINET

Chef du Laboratoire de Physique des Sols

(Division des Sols, IRAT)

Par définition :

Un sol est salé lorsque la végétation climacique est remplacée par une végétation spécialisée halophile. Pour le laboratoire, cela apparaît lorsque les sels solubles exprimés en conductibilité électrique spécifique de l'extrait saturé dépassent quatre millimhos à 25°C, ou encore, et ce sera notre critère de laboratoire, lorsque la conductibilité électrique spécifique de l'extrait au dixième est supérieure à deux cent cinquante micromhos.

Un sol est calcaire lorsque le taux de CO_2Ca est d'environ 10 %.

Un sol est considéré au laboratoire comme gypseux dès qu'il contient du gypse ; en effet, si la présence en faibles quantités de gypse ne gêne pas la majorité des cultures, par contre elle provoque des perturbations dans le cours de certaines analyses.

Ainsi, ces trois groupes de sols rendent nécessaires des modifications dans les méthodes analytiques habituellement utilisées (granulométrie, bases échangeables) ou des déterminations supplémentaires (bilan ionique, bore). Pour la granulométrie, la difficulté réside dans la mise en suspension en raison de la floculation de l'argile due à des phénomènes électrolytiques dans le cas des sols salés, à une trop grande quantité de calcium soluble dans le cas des sols calcaires ou gypseux.

L'existence de sels solubles dans le sol peut entraîner des modifications de ses propriétés physiques si le sodium est présent en quantités suffisantes pour être adsorbé. Cette adsorption peut être prévue par l'équation de GAPON, mais en pratique elle n'intervient que si la teneur en Na est égale ou supérieure à 50 % du total des cations. Il faut donc connaître le bilan ionique des sels présents, qui permettra d'autre part d'en déterminer l'origine probable. La mise en valeur des sols salés n'est concevable que par l'élimination des sels solubles grâce à l'irrigation.

L'eau d'irrigation par sa composition peut avoir une influence sur le sol, il faut donc connaître cette composition.

Les analyses d'eaux et l'établissement des bilans ioniques comportent les mêmes opérations, une seule technique sera donc proposée, l'analyse du bilan ionique étant précédée par l'extraction des sels solubles.

Enfin, les méthodes habituelles de détermination des bases échangeables et de la capacité d'échange n'étant pas adaptées aux sols salés, calcaires et gypseux ; les solutions de déplacement habituellement utilisées dissolvant des quantités non négligeables de calcaire, de gypse ou de sels solubles, il faut utiliser une autre technique. La méthode de HISSINK et de SIGMUND est proposée faute d'une méthode plus satisfaisante. Les résultats qu'elle donne sont valables avec une approximation de 5 à 10 %, ce qui est suffisant pour les prospections pédologiques courantes.

1) GRANULOMÉTRIE

Seule la technique de mise en suspension sera décrite puisque c'est le seul vrai problème se rapportant aux sols salés, calcaires ou gypseux; une fois la suspension réalisée, elle peut être réintégrée dans une série et la granulométrie faite par la méthode utilisée couramment par le laboratoire.

Quarante grammes de terre fine sont placés dans un erlenmeyer de 750 ml avec environ 300 ml d'eau distillée. Avec un pinceau, enlever les matières organiques qui surnagent puis ajouter de l'eau oxygénée à trente volumes et porter à ébullition pour éliminer les matières organiques restantes, l'élimination est totale quand le mélange ne mousse plus. L'ébullition peut durer quatre à cinq heures. La suspension n'est pas stable, chercher la cause : sel, gypse ou calcaire.

1.1) SI LE SOL EST SALÉ, ce qui qualitativement se vérifie avec quelques gouttes de la solution surnageante et du nitrate d'argent, siphonner et laver la terre à l'eau distillée jusqu'à disparition des ions chlore.

1.2) SI LE SOL EST GYPSEUX, vérifier en recherchant qualitativement dans la solution surnageante les ions SO_4^{--} au chlorure de baryum et Ca^{++} à l'oxalate d'ammonium. Siphonner le liquide surnageant, ajouter de l'eau et suivant la teneur en gypse 1 à 5 g d'oxalate d'ammonium. Porter une heure à ébullition, laisser déposer. S'il y a à nouveau floculation, vérifier la présence de calcium dans le liquide surnageant, s'il y en a encore, ajouter une nouvelle portion d'oxalate d'ammonium. Porter à nouveau à ébullition. Recommencer, s'il le faut, l'opération jusqu'à disparition des ions Ca en solution.

Pendant ce traitement à l'oxalate, des matières organiques peuvent réapparaître si le traitement à l'eau oxygénée a été insuffisant, la solution brunit, il suffit de faire bouillir à nouveau avec l'eau oxygénée jusqu'à ce que la solution surnageante redevienne claire. Lorsque les matières organiques ont été éliminées et qu'il n'y a plus d'ions Ca dans la solution surnageante, siphonner et rincer à l'eau distillée.

Lorsque gypse ou chlore sont éliminés, on ajoute 20 ml d'une solution d'hexamétaphosphate de sodium à 40 g/l et on fait bouillir pendant trois heures. Les suspensions sont, après refroidissement, transvasées dans des allonges; ajuster à un litre à l'aide d'eau distillée.

Il est possible de faire passer le mélange en allonge avant d'ajouter l'hexamétaphosphate, de l'ajouter dans l'allonge, d'ajuster à un litre et de remplacer l'ébullition de trois heures par une agitation mécanique de deux heures. Ce procédé à peine plus rapide que l'autre donne en général de moins bonnes suspensions du fait de l'emprisonnement de bulles d'air au sein des agrégats insuffisamment détruits. L'ébullition prolongée permet, à coup sûr, de chasser totalement l'air et d'éliminer cette source d'erreur.

En procédant de cette manière, on a pu obtenir en Afrique du Nord d'excellents résultats pour les granulométries de sols ayant des teneurs en gypse atteignant 25 %.

Il est plus avantageux, lorsque l'on sait être en présence d'un sol gypseux, d'effectuer d'abord le dosage du gypse. Suivant la teneur trouvée, il est facile d'évaluer la quantité d'oxalate à ajouter et d'éviter ainsi des traitements répétés; ou, si cette teneur excède 25 %, de choisir une autre technique basée sur le fait que la solubilité du gypse est maximum dans une solution de chlorure de sodium à 131,6 g par litre (cette solution dissout 7 g de gypse/l de solution à 20°).

L'échantillon est alors placé dans un erlenmeyer avec environ 300 ml de solution de chlorure de sodium, agiter à la main trois à quatre fois dans la journée, laisser reposer pendant la nuit et siphonner le lendemain le liquide surnageant. Renouveler l'opération jusqu'à élimination des ions Ca^{++} . Si un peu d'argile se met en suspension avant la fin de l'opération, l'addition de chlorure de sodium pur la flocule à nouveau. Après élimination des ions Ca^{++} , l'échantillon est traité comme un sol salé. Dans l'expression des résultats, il faudra tenir compte de la teneur en gypse de l'échantillon.

Il est impossible d'obtenir une bonne suspension pour une teneur en gypse dépassant 65 %, mais on est alors en présence d'un matériau gypseux impur, la granulométrie ne présente pas d'intérêt.

DOSAGE DU GYPSE.

Le dosage se fait sur la terre passée au tamis 100. Peser 5 g dans un erlenmeyer de 300 ml; ajouter 100 ml d'une solution de carbonate d'ammonium à 5 % et chauffer quinze minutes à ébullition.

Filtrer. Laver le filtre à l'eau bouillante. Acidifier le filtrat par l'acide chlorhydrique et, à ébullition, précipiter par une solution bouillante de chlorure de baryum à 10 %. Laisser reposer. Filtrer sur filtre à bandes bleues, laver à l'eau bouillante jusqu'à élimination des ions Cl, sécher et calciner à 900°C,

Soit p le poids en milligrammes de SO_4Ba . La teneur en % de gypse est calculée :
 $t = p \times 0,1476$.

1.3) Si LE SOL EST CALCAIRE, on procède comme pour les autres sols mais en remplaçant l'hexamétaphosphate de sodium par une solution de silicate de sodium du commerce dont on ajoute 5 ml. Dans ce cas, l'agitation mécanique est à proscrire, l'ébullition prolongée donnant seule de bons résultats.

Il est impossible de mettre en suspension un échantillon contenant plus de 60 % de calcaire mais on est alors en présence d'un matériau calcaire impur dont il est inutile de faire la granulométrie.

2) SALINITÉ ET BILAN IONIQUE DES SOLS ET DES EAUX

2.1) EXTRACTION DES SELS SOLUBLES DU SOL.

Divers extraits ont été proposés : extrait saturé difficile à obtenir en pratique courante et extraits aqueux dans des rapports sol/eau variés. Le rapport sol/eau 1/10 a été adopté pour faciliter les manipulations et permettre la solubilisation de tous les sels contenus dans l'échantillon.

Cinquante grammes de terre fine sèche sont placés dans une bouteille à lait de un litre ou dans un erlenmeyer de 750 ml pouvant s'adapter à un agitateur mécanique. Ajouter 50 ml d'eau distillée et agiter à la main toutes les dix minutes pendant deux heures. Agiter ensuite trente minutes à l'agitateur mécanique. Laisser déposer douze heures et filtrer sur filtre plissé sans laver.

2.2) ANALYSE PROPREMENT DITE.

Une fois l'extraction des sels réalisée, analyse du filtrat et analyse d'eau se conduisent exactement de la même manière, les méthodes sont communes, seuls les calculs diffèrent.

2.2.1) Mesure de la salinité totale.

S'exprime en résistivité à 18°C ou en conductibilité spécifique à 25°C. La mesure elle-même se fait à l'aide du pont de mesure PHILIPS en prenant certaines précautions :

Rincer la cellule à l'eau distillée, bien la sécher puis rincer avec la solution à analyser ; enfin, plonger la cellule dans un béccher de 50 ml contenant cette solution.

Mesurer la résistance R , noter aussitôt la température.

Soit :

K le coefficient de la cellule,

R la résistance mesurée.

T la température.

A T correspond un coefficient A de correction donné par les tables permettant de calculer la résistivité à 18°, celle-ci est égale au produit :

$$\rho = \frac{K \times R}{A}$$

Pour plus de commodité, le tableau de correction est donné pour $\frac{1}{A}$.

TABEAU DES VALEURS DE $\frac{1}{A}$

Degrés	Dixièmes de degré									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	0,885	0,887	0,890	0,892	0,895	0,897	0,899	0,902	0,904	0,906
14	0,908	0,911	0,913	0,915	0,917	0,919	0,922	0,924	0,926	0,928
15	0,931	0,934	0,936	0,938	0,941	0,943	0,945	0,948	0,950	0,952
16	0,954	0,957	0,959	0,962	0,963	0,965	0,968	0,970	0,973	0,975
17	0,977	0,979	0,981	0,984	0,986	0,988	0,991	0,993	0,996	0,998
18	1,000	1,002	1,004	1,007	1,009	1,011	1,013	1,016	1,018	1,020
19	1,022	1,024	1,027	1,030	1,032	1,034	1,036	1,038	1,042	1,044
20	1,046	1,048	1,051	1,053	1,055	1,057	1,059	1,062	1,064	1,066
21	1,069	1,071	1,073	1,075	1,078	1,080	1,082	1,084	1,087	1,089
22	1,092	1,094	1,097	1,099	1,101	1,104	1,106	1,109	1,111	1,112
23	1,115	1,117	1,120	1,121	1,124	1,126	1,129	1,130	1,133	1,135
24	1,138	1,140	1,142	1,144	1,147	1,149	1,152	1,153	1,156	1,159
25	1,161	1,164	1,166	1,168	1,171	1,174	1,176	1,178	1,181	1,182
26	1,184	1,187	1,189	1,192	1,194	1,196	1,198	1,201	1,203	1,205
27	1,208	1,210	1,212	1,214	1,217	1,219	1,221	1,224	1,226	1,228
28	1,231	1,233	1,235	1,237	1,240	1,242	1,245	1,247	1,249	1,252
29	1,254	1,256	1,258	1,261	1,263	1,266	1,268	1,270	1,273	1,276
30	1,277	1,280	1,283	1,285	1,288	1,290	1,292	1,295	1,297	1,300
31	1,302	1,304	1,307	1,309	1,312	1,314	1,316	1,319	1,321	1,323
32	1,326	1,328	1,330	1,333	1,335	1,338	1,340	1,343	1,345	1,347
33	1,350	1,352	1,354	1,357	1,359	1,362	1,364	1,366	1,369	1,371

DÉTERMINATION DE K.

Avant de commencer une série de mesure, il est bon de vérifier la valeur de K indiquée sur la cellule. On mesure la résistance d'une solution de KCl à 0,5 g/l dont la résistivité à 18° est de 1.210 ohm/cm. K est alors égal à :

$$K = A \frac{1.210}{R}$$

A partir de la résistivité, on peut calculer la conductibilité spécifique :

$$CE = \frac{1}{\rho}$$

$$\text{et à } 25^\circ \text{ CE } 25^\circ = \frac{1}{\rho_{18} \times 1,163}$$

1,163 étant le terme correctif dû à la température.

Ou, directement, à partir de la résistance R :

$$CE \text{ } 25^\circ \text{C} = \frac{f t}{K R}$$

f t étant donné par un tableau.

VALEURS DE f t

t°	f t	t°	f t	t°	f t
13	1,309	21	1,087	25,0	1,000
14	1,277	21,2	1,082	25,2	0,996
15	1,247	21,4	1,078	25,4	0,992
16	1,218	21,6	1,073	25,6	0,988
17	1,189	21,8	1,068	25,8	0,983
18	1,163	22,0	1,064	26,0	0,979
18,2	1,157	22,2	1,060	26,5	0,969
18,4	1,152	22,4	1,055	27,0	0,960
18,6	1,147	22,6	1,050	27,5	0,951
18,8	1,142	22,8	1,047	28,0	0,943
19,0	1,136	23,0	1,043	28,5	0,934
19,2	1,131	23,2	1,038	29,0	0,925
19,4	1,127	23,4	1,034	29,5	0,915
19,6	1,122	23,6	1,029	30,0	0,907
19,8	1,117	23,8	1,025	30,5	0,899
20,0	1,112	24,0	1,020	31,0	0,890
20,2	1,107	24,2	1,016	31,5	0,882
20,4	1,102	24,4	1,012	32,0	0,873
20,6	1,097	24,6	1,008	32,5	0,865
20,8	1,092	24,8	1,004	33,0	0,858

2.2.2) Bilan ionique.

Extrait aqueux : le dosage n'est fait que lorsque la conductibilité à 25°C est supérieure à 250 micromhos. Les résultats sont donnés en milliéquivalents pour 100 g de sol, ou pour 1.000.

ANALYSES D'EAUX.

Les résultats sont donnés en mé/l ou en mg/l.

2.2.2.1) Cations.

Ca et Mg dosés par complexométrie, d'abord la somme Ca + Mg, puis Ca, Mg est obtenu par différence.

Ca + Mg

Réactifs.

Complexon 0,02 N :

4 g d'EDTA,
0,5 g de chlorure de magnésium.
100 mg de chlorure de magnésium.

Amener à 1.000 ml par l'eau distillée.

Le complexon sera étalonné par une solution à 0,02 N de calcium.

Solution à 0,02 N Ca⁺⁺.

Peser 1 g de CO₃Ca avec beaucoup de soins. Attaquer dans une fiole jaugée de 1.000 ml par quelques gouttes d'acide chlorhydrique dilué. Quand l'attaque est terminée, amener à 1.000 ml par l'eau distillée.

Solution tampon PH 10,1 :

67,5 g de chlorure d'ammonium,
370 ml d'ammoniaque concentré.

Amener à 1.000 ml par l'eau distillée.

Noir eriochrome T en poudre.

Dosage.

Prise d'essai : 50 ml.

Les valeurs choisies pour les prises d'essai sont des valeurs moyennes; elles pourront être diminuées ou augmentées suivant la salinité de l'extrait aqueux ou de l'eau.

Placer dans un erlenmeyer, ajouter 5 ml de solution tampon, quelques grains de noir eriochrome T et titrer jusqu'à virage au bleu de la solution initialement lie de vin. Toute trace de rose doit avoir disparue.

Soit n' le nombre de ml de complexon à titre t' versés.

Les calculs sont donnés à la suite du dosage du calcium.

Ca

Réactifs.

Complexon 0,02 N :

4 g d'EDTA,
0,5 g de NaOH.

Amener à 1.000 ml par l'eau distillée.

Titrer par la solution de Ca 0,02 N.

Solution de soude 5 N (200 g/l).

Indicateur coloré :

0,2 g de calcéine,
0,1 g de thymolphtaléine.

Amener à 100 ml par la soude N/60.

Dosage.

Prise d'essai : 100 ml.

Placer dans un erlenmeyer, ajouter 5 ml de soude et deux à trois gouttes d'indicateur. Titrer par le complexon, au virage la fluorescence disparaît brutalement.

Soit n le nombre de ml de complexon de titre t versé.

Calculs.

Extrait aqueux :

$$\text{Ca me/100 g} = n \times t \times 10.$$

$$\text{Ca \% de terre} = \text{Ca me/100 g} \times \frac{20}{100}.$$

Eaux :

$$\text{Ca me/l} = n \times t \times 10.$$

$$\text{Ca mg/l} = \text{Ca me/l} \times 20.$$

Mg

Extrait aqueux :

$$(\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ me/100 g} = n' \times t' \times 20.$$

$$\text{Mg me/100 g} = (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ me/100 g} - \text{Ca me/100 g}.$$

$$\text{Mg \% de terre} = \text{Mg me/100 g} \times \frac{12}{100}.$$

Eaux :

$$(\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ me/l} = n' \times t' \times 20.$$

$$\text{Mg me/l} = (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ me/l} - \text{Ca me/l}.$$

$$\text{Mg mg/l} = \text{Mg me/l} \times 12.$$

Na et K

Ces deux éléments sont dosés au spectrophotomètre de flamme par comparaison avec des courbes d'étalonnage préalablement tracées. Les courbes se préparent à partir de solutions mère à 100 mg/l.

α) Solution mère pour le sodium.

Peser exactement 254,13 mg de chlorure de sodium pur préalablement séché à l'étuve, dissoudre et ajuster à 1.000 ml avec l'eau distillée.

1 ml de cette solution contient 100 γ de Na.

β) Solution mère pour le potassium.

Peser très exactement 190,70 mg de KCl pur et préalablement séché à l'étuve, dissoudre et ajuster à 1.000 ml par l'eau distillée.

1 ml de cette solution contient 100 γ de K.

Pour les extraits aqueux comme pour les eaux, il pourra être parfois nécessaire de diluer, en tenant compte de cette dilution et après lecture sur les courbes d'étalonnage on obtiendra les résultats en mg/l.

Calculs.

Sodium.

Extrait aqueux :

$$\text{Na me/100 g de sol} = \frac{n \text{ mg/l}}{23}$$

$$\text{Na \% de terre} = \text{Na me/100 g} \times \frac{23}{100}.$$

Eaux :

Na mg/l = obtenu directement.

$$\text{Na me/l} = \frac{\text{Na mg/l}}{23}$$

Potassium.

Extrait aqueux :

$$\text{K me/100 g de sol} = \frac{n' \text{ mg/l}}{39}$$

$$\text{K \% de terre} = \text{K me/100 g de sol} \times \frac{39}{100}$$

Eaux :

K mg/l = obtenu directement.

$$\text{K me/l} = \frac{\text{K mg/l}}{39}$$

Si l'analyse a été bien conduite, on doit avoir :

$$\text{Somme des milliéquivalents} = \frac{\text{CE } 25^{\circ}\text{C}}{100}$$

Ceci est vrai pour des teneurs en calcium allant jusqu'à 10 me/100 g de sol. Si la quantité de calcium augmente, les écarts deviennent importants, les résultats obtenus par la résistivité étant plus faibles que par l'analyse.

2.2.2.2) Anions.

Carbonates et bicarbonates

Réactifs.

Acide sulfurique 0,05 N titré.

Phénolphtaleine à 1 % dans l'alcool.

Vert de bromocresol à 0,1 % dans l'alcool à 50 %.

Carbonates.

Prise d'essai : 100 ml.

Ajouter à la prise d'essai dans un erlenmeyer deux à trois gouttes de phénolphtaleine. Si la solution reste incolore, il n'y a pas de carbonates ; si la solution vire au rose, titrer par SO_4H_2 jusqu'à ce que la coloration disparaisse. Noter : y ml de SO_4H_2 de titre t versé.

Bicarbonates.

S'il n'y a pas ou peu de carbonates, le dosage des bicarbonates se fait sur le même prélèvement. S'il y a des carbonates, faire un nouveau prélèvement de 100 ml. Ajouter cinq à six gouttes de vert de bromocresol et titrer jusqu'à virage au jaune par l'acide sulfurique. Noter : z ml de SO_4H_2 de titre t versé.

Calculs.

Carbonates.

Extrait aqueux :

$$\text{CO}_3 \text{ me/100 g de sol} = 2 y t \times 10.$$

$$\text{CO}_3 \% \text{ de terre} = \text{CO}_3 \text{ me/100 g} \times \frac{30}{100}$$

Eaux :

$$\text{CO}_3 \text{ me/l} = 2 y t \times 10.$$

$$\text{CO}_3 \text{ mg/l} = \text{CO}_3 \text{ me/l} \times 30.$$

Bicarbonates.

Extrait aqueux :

$$\text{CO}_3\text{H me}/100 \text{ g} = z \ t \times 10$$

ou si un nouveau prélèvement a été fait :

$$\text{CO}_3\text{H me}/100 \text{ g} = (z - 2y) \ t \times 10.$$

$$\text{CO}_3\text{H } \% \text{ de terre} = \text{CO}_3\text{H me}/100 \text{ g} \times \frac{61}{100}.$$

Eaux :

CO₃H me/l, le calcul est le même que pour l'extrait aqueux.

$$\text{CO}_3\text{H mg/l} = \text{CO}_3\text{H me/l} \times 61.$$

(Cette détermination n'est pas valable dans le cas où il y a très peu de CO₃ avec beaucoup de CO₃H. Titrer alors directement la somme CO₃ + CO₃H.)

Chlorures

Réactifs.

Chromate de potassium à 100 g/l.

Nitrate d'argent à 48 g/l (1 ml — 10 mg Cl).

Nitrate d'argent à 4,8 g/l (1 ml — 1 mg Cl).

Ces deux solutions sont titrées par une solution de chlorure de sodium. Peser 5,845 g de chlorure de sodium préalablement séché à l'étuve et dissoudre dans un litre d'eau distillée.

Dosage de NO₃Ag concentré.

Prélever 20 ml de solution de ClNa, ajouter cinq gouttes de chromate et titrer par NO₃Ag. Soit x ml versés :

$$t = \frac{20 \times 3,55}{x}$$

Dosage de NO₃Ag dilué.

Prélever 5 ml de solution de ClNa, ajouter cinq gouttes de chromate et titrer. Soit y ml versés :

$$t' = \frac{5 \times 3,55}{y}$$

Dosage.

Prise d'essai : 50 ml.

Ajouter à la prise d'essai dans un erlenmeyer cinq gouttes de chromate et titre jusqu'au virage au rouge brique. Soit x ml de NO₃Ag de titre t et y ml de NO₃Ag de titre t' versés.

Calculs.

Extrait aqueux :

$$\text{Cl en me}/100 \text{ g de sol} = \frac{xt + yt' \times 20}{35,5}$$

$$\text{Cl } \% \text{ de terre} = \frac{xt + yt'}{5}$$

Eaux :

$$\text{Cl me/l} = \frac{xt + yt' \times 20}{35,5}$$

$$\text{Cl mg/l} = xt + yt' \times 20.$$

Sulfates

Réactif.

Chlorure de baryum en solution à 10 %.

Dosage.

Prise d'essai : 100 ml.

Dans un bêcher de 250 ml ajouter à la prise d'essai un excès d'acide chlorhydrique. Porter à ébullition et verser goutte à goutte la solution bouillante de chlorure de baryum. Laisser déposer une nuit et filtrer sur filtre à bandes bleues. Laver le précipité à l'eau bouillante jusqu'à élimination des chlorures (contrôle au nitrate d'argent). Sécher le précipité à l'étuve. Calciner au moufle à 900°C.

Soit p le poids en mg de ce précipité.

Calculs.

Extrait aqueux :

$$\text{SO}_4 \text{ ‰ de terre} = \frac{p \times 0,4115}{10}$$

$$\text{SO}_4 \text{ me/100 mg} = \frac{p \times 0,4115 \times 10}{48}$$

Eaux :

$$\text{SO}_4 \text{ me/l} = \frac{p \times 0,4115 \times 10}{48}$$

$$\text{SO}_4 \text{ mg/l} = p \times 41,15.$$

2.2.2.3) Extrait sec.

Prise d'essai : 50 ml.

Prélever dans des bêchers de 50 ml, préalablement tarés, l'eau ou l'extrait que l'on aura eu soin de filtrer s'ils étaient troubles.

Porter à l'étuve, à 150°C, pendant une nuit.

Soit p en milligrammes le poids du résidu.

Calculs.

Extrait aqueux :

$$\text{ES ‰ de terre} = \frac{p}{5}$$

Eaux :

$$\text{ES mg/l} = p \times 20.$$

Le chiffre trouvé pour l'extrait sec doit être égal au total des valeurs trouvées en ‰ (extrait aqueux) ou en mg/l (eaux) pour les différents ions.

2.3) LE TABLEAU SUIVANT RÉSUME LE CLASSEMENT DES SOLS ET DES EAUX EN FONCTION DE LEUR SALINITÉ TOTALE.

TABLEAU

CLASSEMENT DES EAUX ET DES SOLS EN FONCTION DE LEUR SALINITÉ TOTALE						
Eaux						
CE 25°C Micromhos	250	750		2.250		5.000
Salinité	faible	moyenne	forte	très forte		excessive
Sols						
CE 25°C Micromhos	250	500		1.000		2.000
Extrait 1/10	non salin	légèrement salin	salin	très salin		excessivement salin

3) EXTRACTION DES BASES ÉCHANGEABLES. CAPACITÉ D'ÉCHANGE

Le problème du dosage des différents cations ne se pose pas, puisque la présence de calcaire, de sel ou de gypse ne gêne pas; la méthode de dosage de Na, K, Ca et Mg donnée pour la détermination du bilan ionique reste valable pour le dosage des cations absorbés.

3.1) SOLS SALÉS ET CALCAIRES.

On détermine les cations absorbés Na, K, Ca et Mg et S, leur somme. Ca et Mg sont extraits en lessivant successivement par deux litres de chlorure de sodium normal et en retranchant Ca et Mg du deuxième litre des valeurs trouvées pour le premier. Na et K sont extraits en lessivant par une solution normale de chlorure d'ammonium. On obtient sodium et potassium échangeables et solubles; en lessivant un autre prélèvement par la même quantité d'eau, on obtient Na et K solubles et en soustrayant ces valeurs des premières on obtient Na et K absorbés.

Réactifs.

Solution normale de chlorure d'ammonium, soit 53,5 g/l.

Solution normale de chlorure de sodium, soit 58,5 g/l.

3.1.1) Extraction du sodium et du potassium.

3.1.1.1) Peser 25 g de terre fine, les mettre dans un bêcher d'un litre et ajouter 500 ml de chlorure d'ammonium, agiter plusieurs fois dans la journée, laisser reposer une nuit et filtrer sur filtre plissé par décantation.

3.1.1.2) Peser à nouveau 25 g de terre fine, les mettre dans un bêcher d'un litre et ajouter 500 ml d'eau distillée. Opérer comme précédemment.

3.1.2) Extraction du calcium et du magnésium.

3.1.2.1) Peser 25 g de terre fine, les mettre dans un bêcher d'un litre, ajouter 1 litre de chlorure de sodium, opérer comme précédemment.

Quand la filtration est terminée :

3.1.2.2) Remettre le filtre contenant la terre dans un bêcher et ajouter un nouveau litre de chlorure de sodium. Opérer comme précédemment.

3.2) SOLS GYPSEUX.

Seule l'extraction du calcium et du magnésium est différente. En effet, les résultats sont faussés du fait que la solution de chlorure de sodium N dissout du gypse (environ 7 g/l). Si la quantité de gypse contenue dans la prise d'essai est inférieure à 14 g, le premier litre de ClNa déplacera beaucoup plus de gypse que le second et, finalement, les résultats en calcium seront bien supérieurs à ce qu'ils devraient être. Pour remédier à cela, on ajoute à la prise d'essai un grand excès de gypse, environ 30 g avant le traitement par la solution de chlorure de sodium. Ainsi, chacun des litres de ClNa déplace autant de gypse et les résultats sont corrects.

3.3) CAPACITÉ D'ÉCHANGE.

3.3.1) Sols salés.

Principe. Le principe de la méthode actuellement employée est le suivant :

Les sels solubles sont lessivés par une solution d'acétate d'ammonium normal pH 7, puis le complexe absorbant est saturé de calcium à l'aide d'une solution de Cl_2Ca à pH 7. Ensuite, sans lavage préalable, on lessive avec une solution de NO_3K . Le percolat obtenu contient le calcium provenant du complexe, plus celui provenant de l'excès de chlorure de calcium. Si l'on dose d'une part Ca et d'autre part Cl, on aura par différence le calcium réellement fixé qui représente la capacité d'échange.

Technique. Mélanger 10 g de terre à 20 g de sable préalablement lavé successivement à l'acide nitrique 20 % et à l'eau distillée et séché à l'étuve. Introduire dans un tube à percolation :

- un tampon de coton tassé sur une hauteur de 2 cm ;
- 10 g de sable ;
- le mélange sable + terre ;
- 10 g de sable,

mouiller la terre à l'eau distillée puis lessiver par la solution d'acétate d'ammonium jusqu'à disparition des chlorures (contrôle au nitrate d'argent). Percoler ensuite lentement avec la solution de Cl_2Ca (500 ml) puis par petites fractions avec 150 ml de Cl_2Ca N/10. Enfin, percoler avec 500 ml de solution de NO_3K et recueillir le percolat dans une fiole de 500 ml.

Solutions.

Acétate d'ammonium N pH 7.

Pour 1.000 ml de solution : 58,5 ml d'acide acétique, 70,8 ml d'ammoniaque.

Vérifier la neutralité et ajuster à un litre avec l'eau distillée.

Chlorure de calcium N pH 7.

Pour six litres de solution :

a) Verser 90 ml de triethanolamine dans 2.800 ml d'eau distillée, ajouter 30 ml d'acide nitrique ($d = 1,33$) et ajuster à 3.000 ml.

b) Dissoudre 441 g de $\text{Cl}_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$ dans 3.000 ml d'eau distillée. Mélanger les deux solutions et vérifier la neutralité au pH mètre.

Solution chlorure de calcium N/10.

Peser 36,75 g de Cl_2Ca . Amener à 5.000 ml par l'eau distillée.

Solution NO_3K N.

Peser 101 g de NO_3K . Dissoudre dans 1 litre d'eau distillée.

Dosage de Cl.

Prélever 50 ml du percolat et procéder comme pour le dosage des sels solubles.

Dosage de Ca.

Prélever 50 ml du percolat et procéder comme lors du dosage des sels solubles (2.2.2.1).

T en mé/100 g de sol = $(\text{mé Ca}^{++} - \text{mé Cl}^-) \times 100$ *.

3.3.2) Sols calcaires.

La même méthode est employée mais en faisant en plus un dosage des carbonates par acidimétrie (2.2.2.2), ce qui permettra de retrancher la quantité de calcium dosée correspondant aux carbonates.

T mé/100 g = $[\text{mé Ca} - (\text{mé Cl} + \text{mé CO}_3)] \times 100$.

3.3.3) Sols gypseux.

La même méthode est applicable en dosant l'ion SO_4 (2.2.2.2) pour retrancher le calcium correspondant au sulfate de calcium.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBIER (G.), TYSZKIEWICZ (M^{lle} E.). Etude par échange isotopique du calcium diffusible des sols calcaires. *C.R. Acad. des Sciences* (Paris), 1953, t. 236, p. 2105-6.
- DURAND (J.-H.). Analyse mécanique des terres gypseuses d'Algérie. *C.A. Acad. Agric. de France*, 1949, p. 671-2. — Les sols d'Algérie. Birmandreis, Gouvernement Général de l'Algérie, 1954, 144 p., fig., tabl.
- DUVAL (C.), 1954. Colorimétrie minérale. Monog. de l'Un. int. de chimie pure et appliquée. SEDES, Paris, 1 vol., 252 p., B-p 9-12.
- JACKSON (M.L.), 1960. Soil chemical analysis, 1 vol., 498 p. Prentice Hall N.J. (Etats-Unis), p. 370-87.
- NIJENSOHN (L.). A method for the determination of cation exchange values in saline, calcareous, gypseous soils. Internat. (7th) Congress of soil Science (Madison), 1960, vol. II, Comm. II, p. 36-44, 3 tabl., bibl., 14 réf. (résumé français).
- RICHARDS (L.A.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook, n° 60, USDA, Washington DC.
- VANLANDE (C.). Méthodes d'analyses utilisées par la section de Pédologie de la Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement rural. Travaux des Sections Pédologie et Agrolologie (Birmandreis), Bull. n° 1, 1955, 26 p., fig., tabl. (expérimentation et divers, n° 2).

* NB. Faire un témoin avec une quantité de sable équivalente à celle utilisée avec le sol.

RÉSUMÉ. — *Il a déjà été publié de nombreux protocoles d'analyses des sols tropicaux, qui ne sont malheureusement pas toujours adaptés aux problèmes posés par les sols salés, calcaires ou gypseux. La présente publication a pour but d'indiquer les modifications actuellement apportées aux méthodes classiques pour qu'elles soient utilisables.*

SUMMARY.—*Many analysis procedures for tropical soils, unfortunately not always adapted to the problems of saline, calcareous, or gypseous soils, have already been published. The aim of this paper is to indicate the present modifications applied to the classical methods so that they can be used.*

RESUMEN. — *Muchos procesos de análisis de los suelos tropicales han sido objeto de publicaciones, pero no se adaptan siempre a los problemas que se plantean en el estudio de los suelos salinos, calcáreos o yesosos. La presente publicación trata de indicar las modificaciones necesarias actualmente para que sea posible el empleo de los métodos clásicos.*

