

NOTES TECHNIQUES
SCIENCES DE LA TERRE

PEDOLOGIE

N° 2

1988

**Expression des sels solubles et des
bases échangeables sur un vertisol
calcimagnésique à gypse et à carbonates
(La Tamoá, Nouvelle-Calédonie)**

Pascal PODWOJEWSKI

Jean PETARD

NOTES TECHNIQUES
SCIENCES DE LA TERRE

PEDOLOGIE

N° 2

1988

**Expression des sels solubles et des
bases échangeables sur un vertisol
calcimagnésique à gypse et à carbonates
(La Tamoia, Nouvelle-Calédonie)**

Pascal PODWOJEWSKI

Jean PETARD

**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**



CENTRE DE NOUMEA

RESUME

Ce rapport est une étude de comportement d'un vertisol calcimagnésique à gypse de la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie. Ce sol a été soumis à différents agents d'extraction des sels solubles et à deux méthodologies comparatives pour la détermination des bases échangeables.

Cette étude a permis de dégager les solutions méthodologiques les plus satisfaisantes pour ce type de sol. Elle a également permis d'établir avec certitude que les horizons de profondeur à gypse sont des horizons fossiles qui ne sont plus en équilibre chimique avec les conditions physico-chimiques régnant actuellement dans les horizons de surface.

Mots-clés : PEDOLOGIE, VERTISOL, GYPSE, COMPLEXE ABSORBANT, METHODOLOGIE, ANALYSE CHIMIQUE, NOUVELLE CALEDONIE

ABSTRACT

This paper is a study of the behaviour of a calcimagnesian and gypsic vertisol on the west coast of New Caledonia. This soil has been subject to various soluble salts extractive agents and to comparative methodologies in the determination of exchangeable bases.

This study enables us to establish the most effective methodological techniques for this type of soil. It allows us to establish with certainty that the gypsic depth horizons are fossilized horizons which are no longer in chemical balance within the physical and chemical conditions currently existing in the surface horizons.

Key-words : PEDOLOGY, VERTISOL, GYPSUM, ABSORBING COMPLEX, METHODOLOGY, CHEMICAL ANALYSIS, NEW CALEDONIA

SOMMAIRE

	PAGE
AVANT PROPOS	5
<u>I - CARACTERES DU PROFIL ETUDIE</u>	11
11 - SITUATION GEOGRAPHIQUE	11
12 - GEOLOGIE - GEOMORPHOLOGIE	11
13 - DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES	11
<u>II - LE DOSAGE DES SELS SOLUBLES</u>	
21 - EXTRACTION EN MILIEU AQUEUX	13
22 - EXTRACTION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFERENTES SOLUTIONS	15
22.1 - Présentation de la méthode et des résultats	15
22.2 - Conclusion	17
Conséquences	19
<u>III - EXTRACTION DES BASES ECHANGEABLES</u>	
31 - COMPARAISONS ENTRE DEUX METHODOLOGIES POUR L'EXTRACTION DES BASES ECHANGEABLES	
31.1 - Présentation des méthodes	21
31.2 - Résultats et interprétation	
31.21 Résultats à l'acétate d'ammonium	21
31.22 Résultats au chlorure d'ammonium	22
31.3 - Comparaisons des résultats	25
32 - EXPRESSION DES RESULTATS DE BASES ECHANGEABLES EXTRAITES PAR LE CHLORURE D'AMMONIUM (TUCKER) APRES ELIMINATION DES SELS SOLUBLES EN MILIEU AQUEUX	
32.1 - Conditions préalables	27
32.2 - Résultats et interprétations	29
32.3 - Conclusion pédologique	30

33 - EXPRESSION DES RESULTATS DE BASES ECHANGEABLES EXTRAITES PAR LE CHLORURE D'AMMONIUM (TUCKER) APRES ELIMINATION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFERENTES SOLUTIONS	
33.1 - Résultats bruts	31
33.2 - Conclusion	34
 <u>IV - CONCLUSION GENERALE</u>	35
 <u>V - BIBLIOGRAPHIE</u>	37
 <u>ANNEXE I</u>	
Description morphologique et analytique du profil	41
 <u>ANNEXE II</u>	
Méthodologie analytique utilisée par le laboratoire	47
 <u>ANNEXE III</u>	
Résultats expérimentaux détaillés	55
Première partie : Les sels solubles	56
Deuxième partie : Les bases échangeables	65

AVANT PROPOS

Les vertisols de Nouvelle Calédonie occupent une superficie d'environ 90 000 ha, principalement localisés sur la côte Ouest du territoire. Ils font actuellement l'objet de nombreuses études tant pédologiques (P. PODWOJEWSKI, 1984, 1986, 1988) qu'agronomiques (B. BONZON et al.), en raison de leur intérêt grandissant pour les projets de développement d'une agriculture mécanisée.

Les méthodes traditionnelles d'analyses utilisées pour la caractérisation chimique des sols sont inadaptées à l'étude des vertisols à gypse et ou à carbonates. Elles ne permettent pas de mettre en évidence les propriétés du complexe échangeable et de ses relations d'équilibre avec les sels solubles ni de suivre les expérimentations (amendements gypseux et carbonatés) sur les vertisols hypermagnésiens.

Différents agents d'extraction ont été testés par le laboratoire de chimie de Nouméa à la fois pour la détermination des sels solubles et des bases échangeables. Cet essai a permis de dégager la méthodologie la plus efficace pour ce type de sols et d'appréhender une meilleure compréhension des phénomènes d'échanges ioniques sans toutefois apporter de réponse quant à la répartition rigoureuse des ions calcium et magnésium dans les horizons carbonatés.

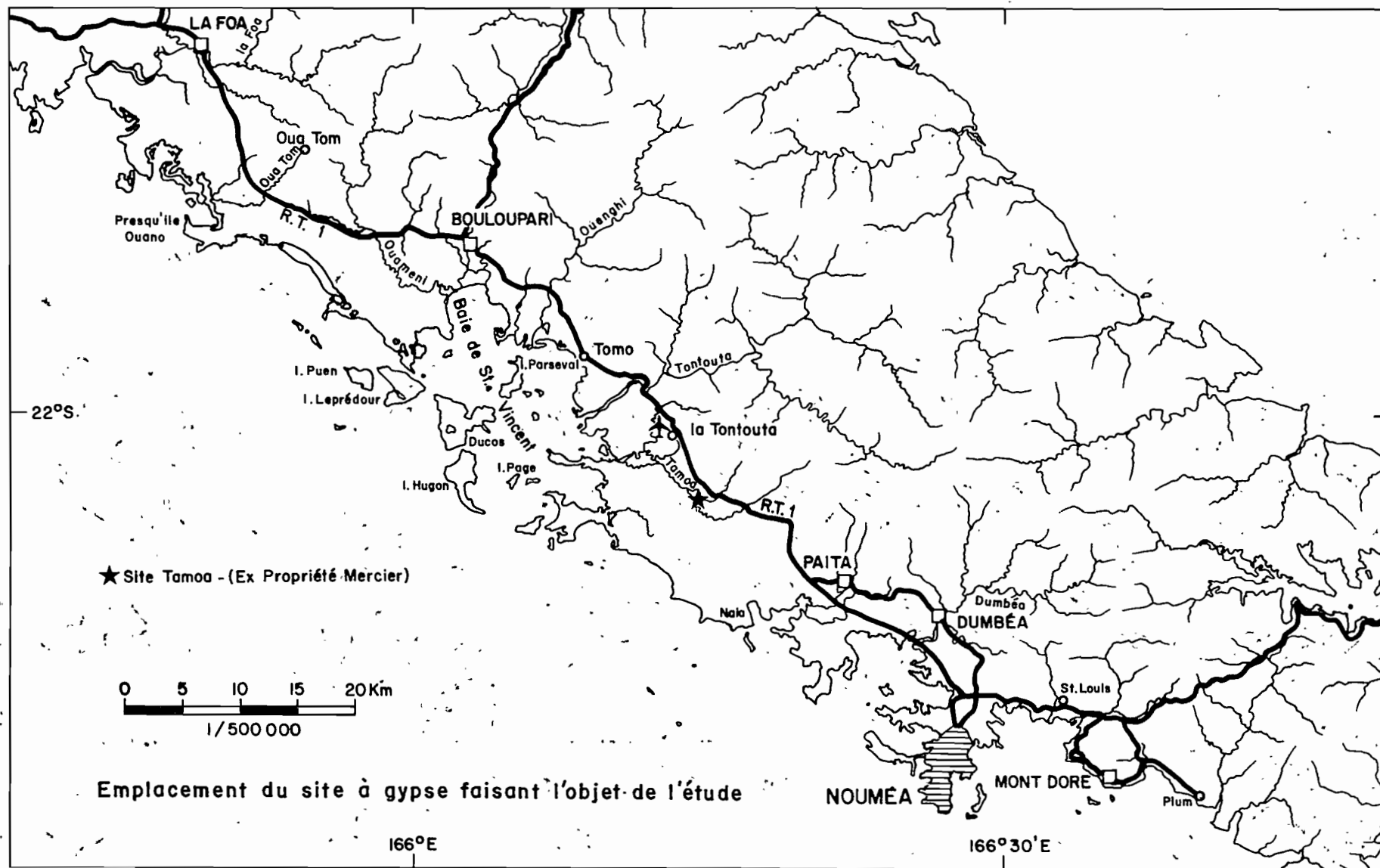


Fig. 1

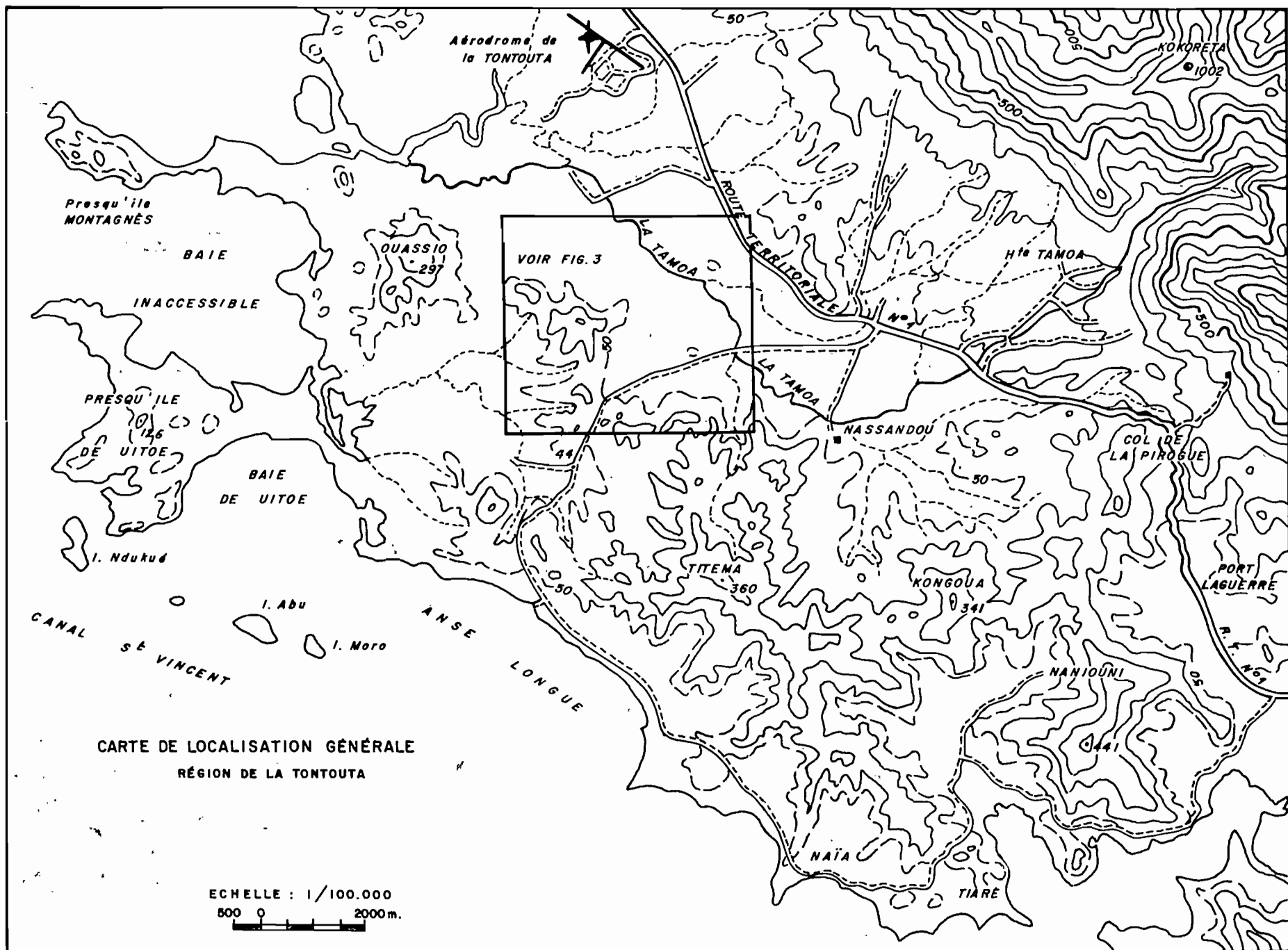


Fig. 2

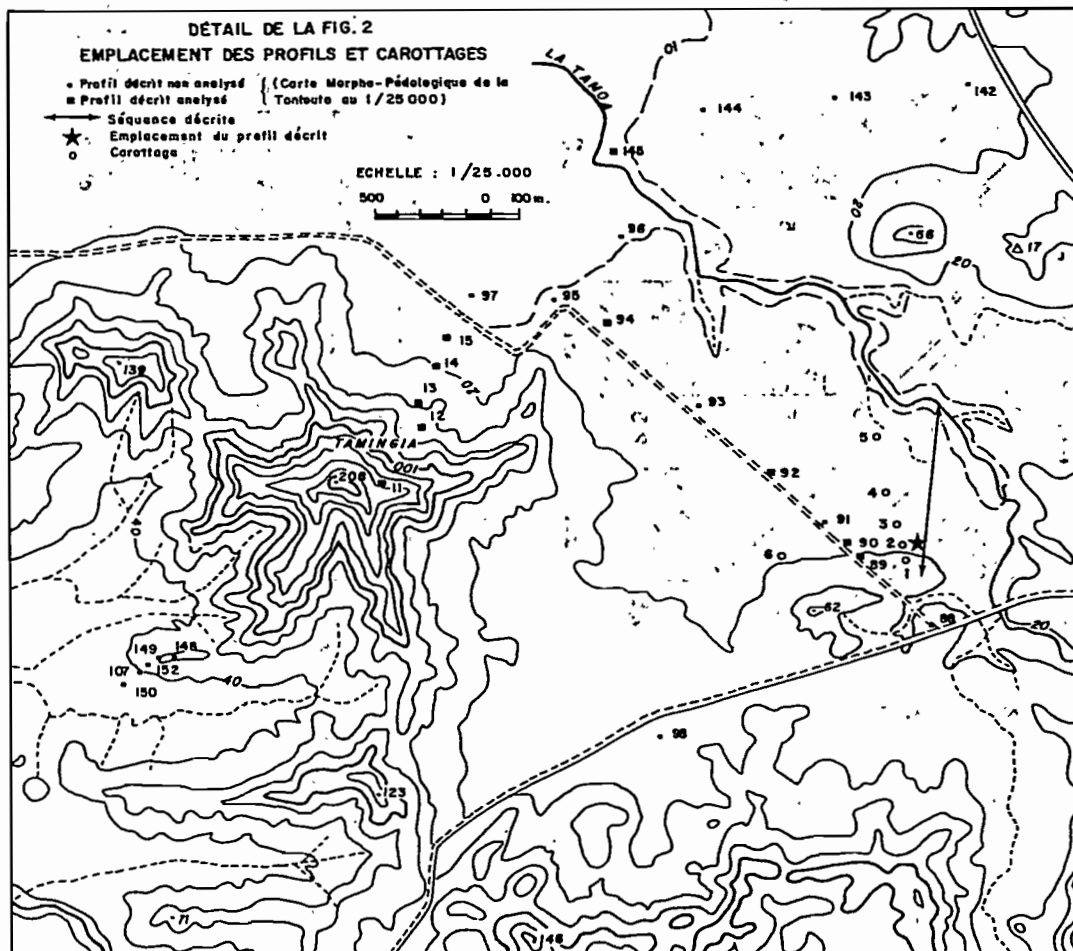


Fig. 3

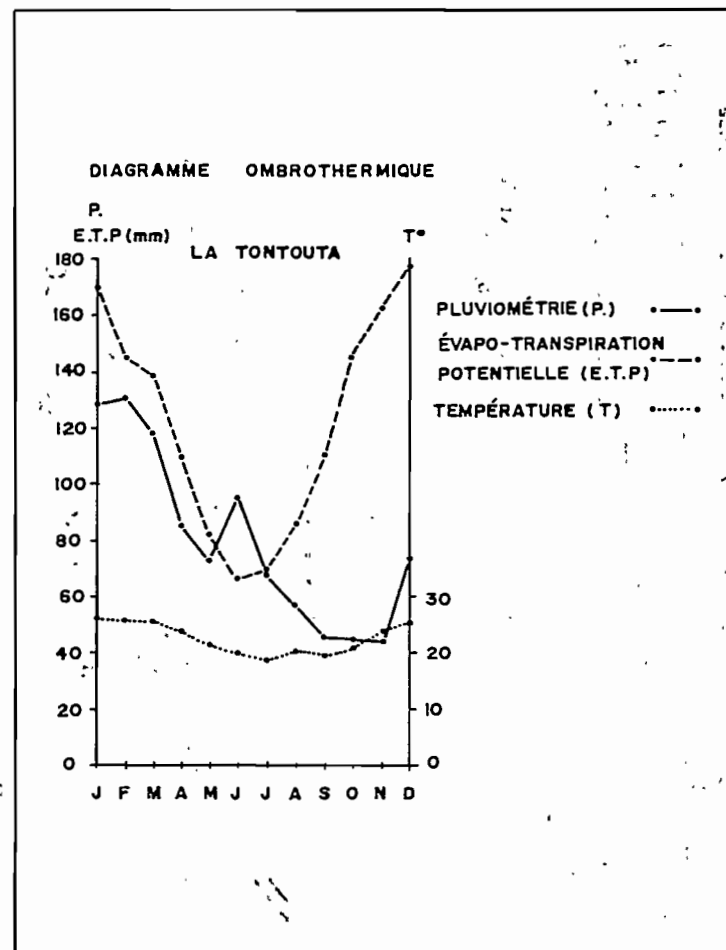


Fig. 4

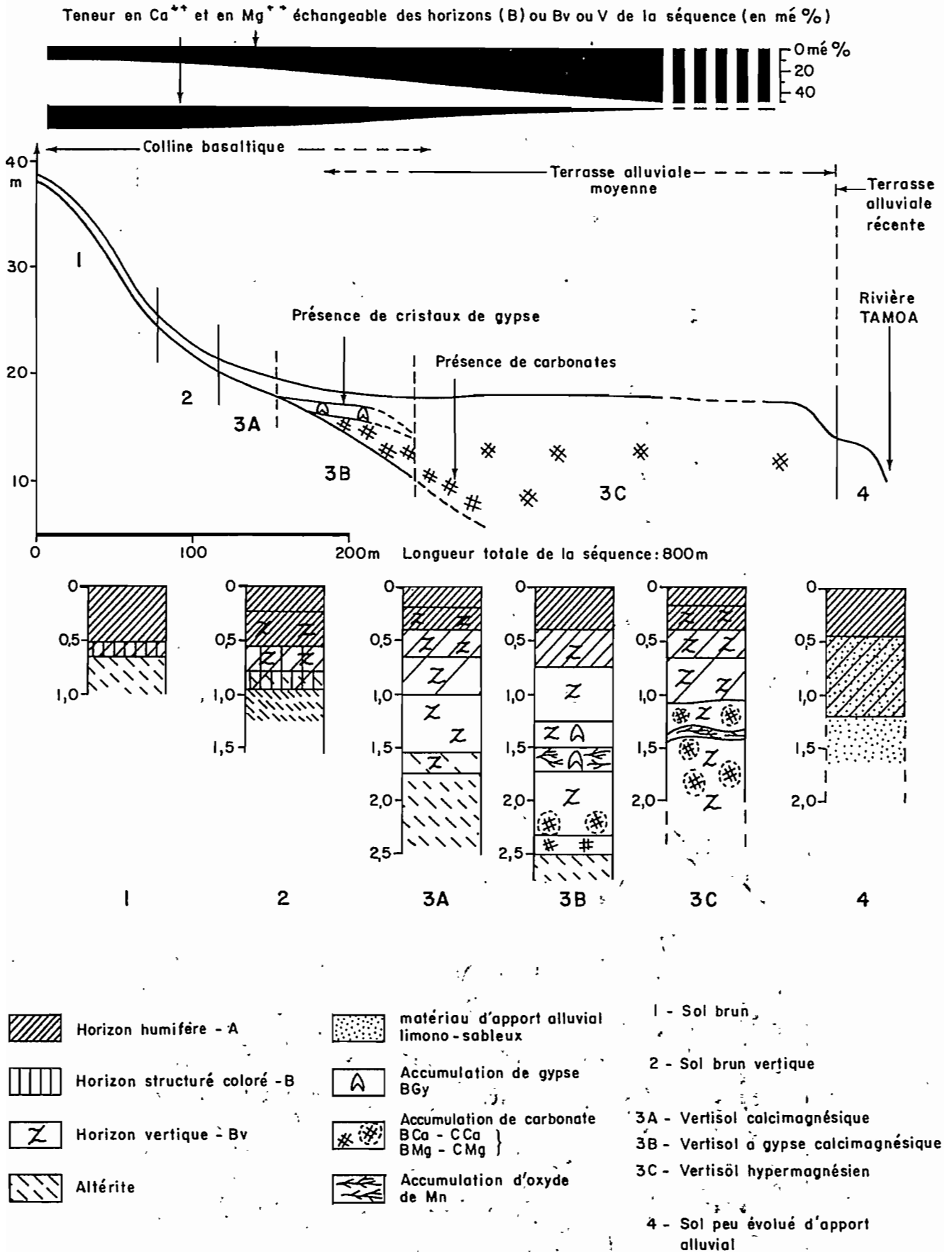


Fig.5 - SÉQUENCE TAMOA - Type de profil étudié : 3B

I - CARACTERES DU PROFIL ETUDIE :

11 - SITUATION GEOGRAPHIQUE - CLIMAT :

Le profil choisi pour cette analyse de comportement se situe par 22°4'S et 166°14'E, sur la côte Ouest de la Nouvelle Calédonie, à proximité de l'aéroport international de La Tontouta, à 40 km au nord-ouest de Nouméa (Cf: Fig 1, 2 et 3).

De par sa situation sur la côte sous-le-vent, le profil se caractérise par l'environnement climatique suivant :

- une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à 1000 mm.
- une répartition annuelle très variable des pluies, mais leur intensité est généralement plus forte de décembre à avril et contraste avec les mois secs de septembre à novembre. Durant ces mois, le déficit hydrique (P - ETP) est particulièrement important (Cf: Fig 4).

12 - GEOLOGIE - GEOMORPHOLOGIE :

Le profil étudié est un vertisol à gypse et à carbonates. Il se situe à l'aval d'une séquence de sols sur roche basique de la "série des basaltes" (Cf: Fig 5). L'environnement pédologique en amont varie depuis les sols bruns peu développés au sommet de la colline, aux sols bruns vertiques, aux vertisols et en contrebas aux vertisols calcimagnésiques à gypse et carbonates plutôt localisés à la rupture de pente. Le glacis se prolonge ensuite par la terrasse alluviale moyenne de la rivière Tamoa, caractérisée par des vertisols hypermagnésiens car les matériaux alluviaux proviennent des massifs de péridotites situés en amont du cours d'eau.

13 - DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES

(Pour une description détaillée : Cf : Annexe I)

Le profil décrit comporte 12 horizons ; 8 d'entre eux ont fait l'objet d'une analyse méthodologique.

Ce sont les horizons 1, 3, 5, 6, 7, 9, 11 et 12.

- 1 0 - 15 cm : Horizon humifère de surface : A₁₁
- 3 35 - 50 cm : Horizon humifère, mélange avec horizon moins humifère : A₃₁(B)
- 5 65 - 90 cm : Horizon vertique minéral : (B)₁ ou V₁
- 6 90 - 125 cm : Horizon vertique minéral : (B)₂ ou V₂
- 7 125 - 140 cm : Horizon vertique minéral, à concentration de gypse : B₁ _{gv}
- 9 150 - 175 cm : Horizon vertique minéral, à concentration de gypse, de teinte noire due à MnO₂ : B₁ _{Mn gv}
- 11 195 - 240 cm : Horizon vertique minéral, petits amas pulvérulents carbonatés : B_{ca}
- 12 240 - 250 cm : Horizon vertique à croûte calcaire BC_{ca}

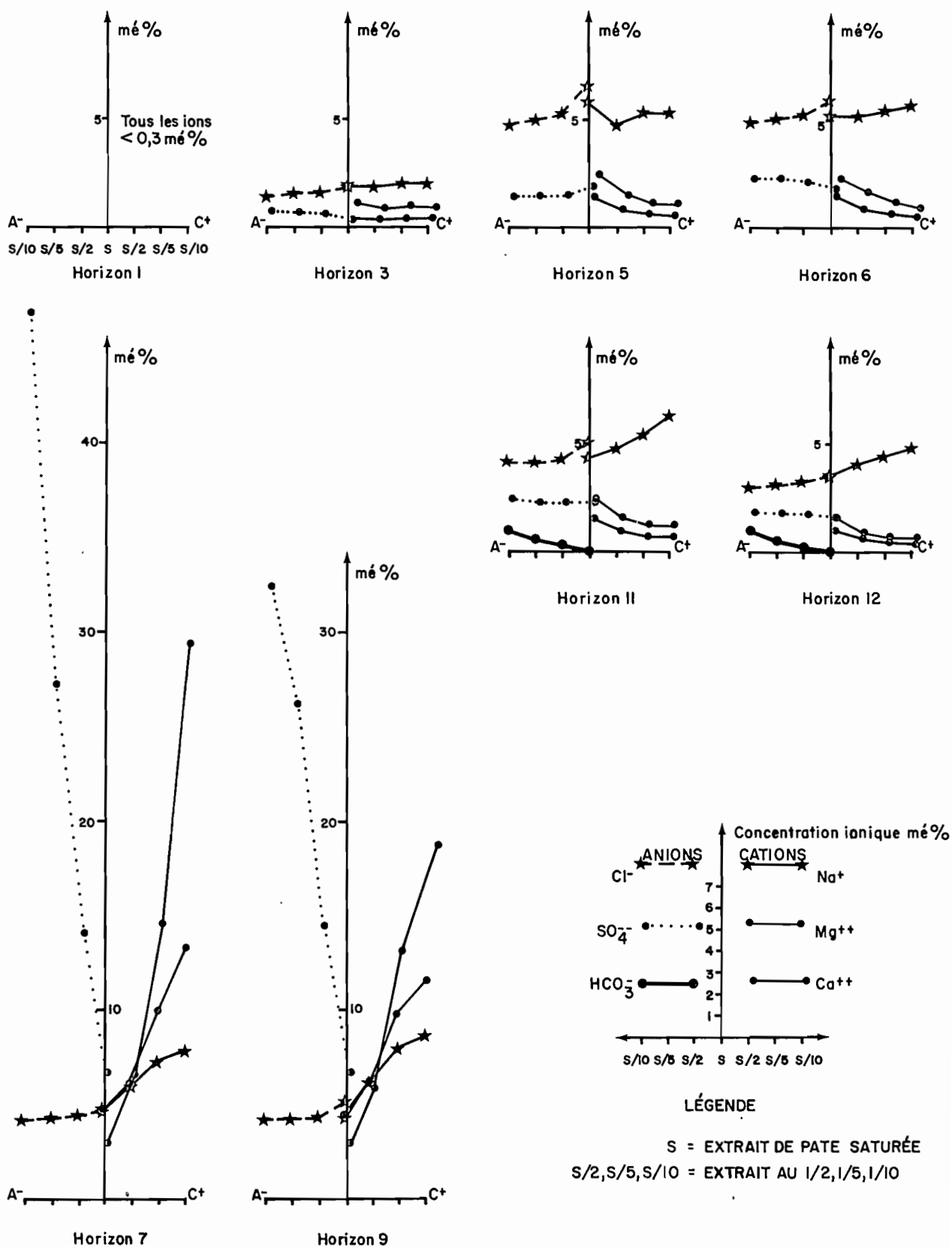


Fig.6-CONCENTRATION EN SELS D'UN PROFIL DE VERTISOL MAGNÉSIEIEN A GYPSE

II - LE DOSAGE DES SELS SOLUBLES :

21 - EXTRACTION EN MILIEU AQUEUX : Fig. 6

Les sels solubles ont été dosés sur l'extrait de pâte saturée et sur les extraits au 1/2, au 1/5 et au 1/10^e.

- Expression et interprétation des résultats :

horizons 1 à 3 :

- les sels sont très peu abondants dans les horizons de surface.

horizons 5 et 6 :

- les concentrations en sels augmentent
- les équilibres ioniques font apparaître une prédominance des ions Na⁺ et Cl⁻ en concentrations identiques. La totalité des sels sont extraits dans l'extrait de pâte saturée.

horizons 7 à 9 :

- Les concentrations en sels sont maximales dans ces horizons.
- Les teneurs en chlorures sont constantes. Cet anion est extrait en totalité dans l'extrait de pâte saturée.
- Les teneurs en sulfates sont croissantes en fonction de la dilution de l'extrait. Elles atteignent une valeur importante (> 30 mé dans l'extrait 1/10^e).
- Les teneurs en cations croissent également régulièrement.

La pente est faible pour l'ion Na⁺

La pente est moyenne pour l'ion Mg⁺⁺

La pente est forte pour l'ion Ca⁺⁺

horizons 11 et 12 :

- Les teneurs en sels ont très fortement diminué.
- Les concentrations ioniques sont voisines de celles observées dans les horizons 5 et 6.
- On note l'apparition de carbonates en faibles quantités.

En conclusion :

- Les teneurs en chlorures ne dépassent pas 5 mé.

L'extrait de pâte saturée contient la totalité des chlorures.

- Les sulfates apparaissent brutalement dans les horizons 7 à 9. Les concentrations ioniques augmentent rapidement en fonction de la dilution de l'extrait. Cela confirme la présence de gypse.

- Ces horizons à gypse sont parfaitement délimités au milieu du profil car les horizons inférieurs sont faiblement pourvus en sulfates. On y note l'apparition de carbonates faiblement solubles.

TABLEAU I: SOLUBILITE DE DIFFERENTS SELS (g/100 cc.) DANS L'EAU

ANIONS	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	CO ₃ ⁻⁻	
CATIONS				
<u>Na⁺</u>				
Anhydre	35,7°	4,7°	7,1°	
H ₂ O			33	
7H ₂ O		19,5°	16,9	
10H ₂ O		11°	21,52°	
<u>Mg⁺⁺</u>				
Anhydre	54,25 ²⁰	26°	0,0106	Magnésite
H ₂ O		68,4 ¹⁰⁰		Kieserite
3H ₂ O			0,178 ¹⁶	
5H ₂ O			0,176 ⁷	
6H ₂ O	167			
7H ₂ O		71 ²⁰		Epsomite
3MgCO ₃ Mg(OH) ₂ 3H ₂ O			0,04	Hydromagnésite
(Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺)			0,032 ¹⁹	Dolomite
<u>Ca⁺⁺</u>				
Anhydre	74,5 ²⁰	0,209 ³⁰	0,00153 ²⁵	Aragonite
			0,0014 ²⁵	Calcite
0,5H ₂ O		0,3 ²⁰		Plâtre
H ₂ O	76,8°			
2H ₂ O	97,7°	0,241		Gypse
6H ₂ O	279°			

Les mesures de solubilité sont généralement effectuées dans l'eau froide; la température de l'eau est précisée en exposant.

Ref : WEAST, R.C. - 1976-1977. Handbook of chemistry and physics, 57th Edition, Cleveland : CRC PRESS.

Discussion :

Ce type d'extrait laisse entrevoir la possibilité d'existence de sels de sulfate de magnésium et de sulfate de sodium pour rétablir la balance ionique. Or, l'extrême solubilité de ces sels (cf. : TABLEAU 1) rend probable leur extraction totale dans l'extrait de pâte saturée et nous oriente donc vers un autre type de solution.

22 - EXTRACTION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFERENTES SOLUTIONS :

22.1 - Présentation de la méthode et des résultats : (Fig : 7)

EN THEORIE, selon Tucker, les différents solvants agissent de la manière suivante :

- le mélange Glycol-Ethanol extrait tous les chlorures libres dans les mesures de rétention du sol.
- le mélange Ethanol-Eau extrait tous les chlorures et quelques sulfates.
- le mélange Glycérol-Eau extrait tous les sels libres.

DANS LES FAITS, sur les extraits effectués pour le vertisol, nous obtenons des valeurs conformes aux investigations de Tucker :

- Le mélange Glycol-Ethanol 1/9 extrait la majeure partie des chlorures corrélativement avec le sodium. Les taux de sulfates extraits sont voisins de 0. Corrélativement, les teneurs en Ca^{++} et Mg^{++} sont faibles.

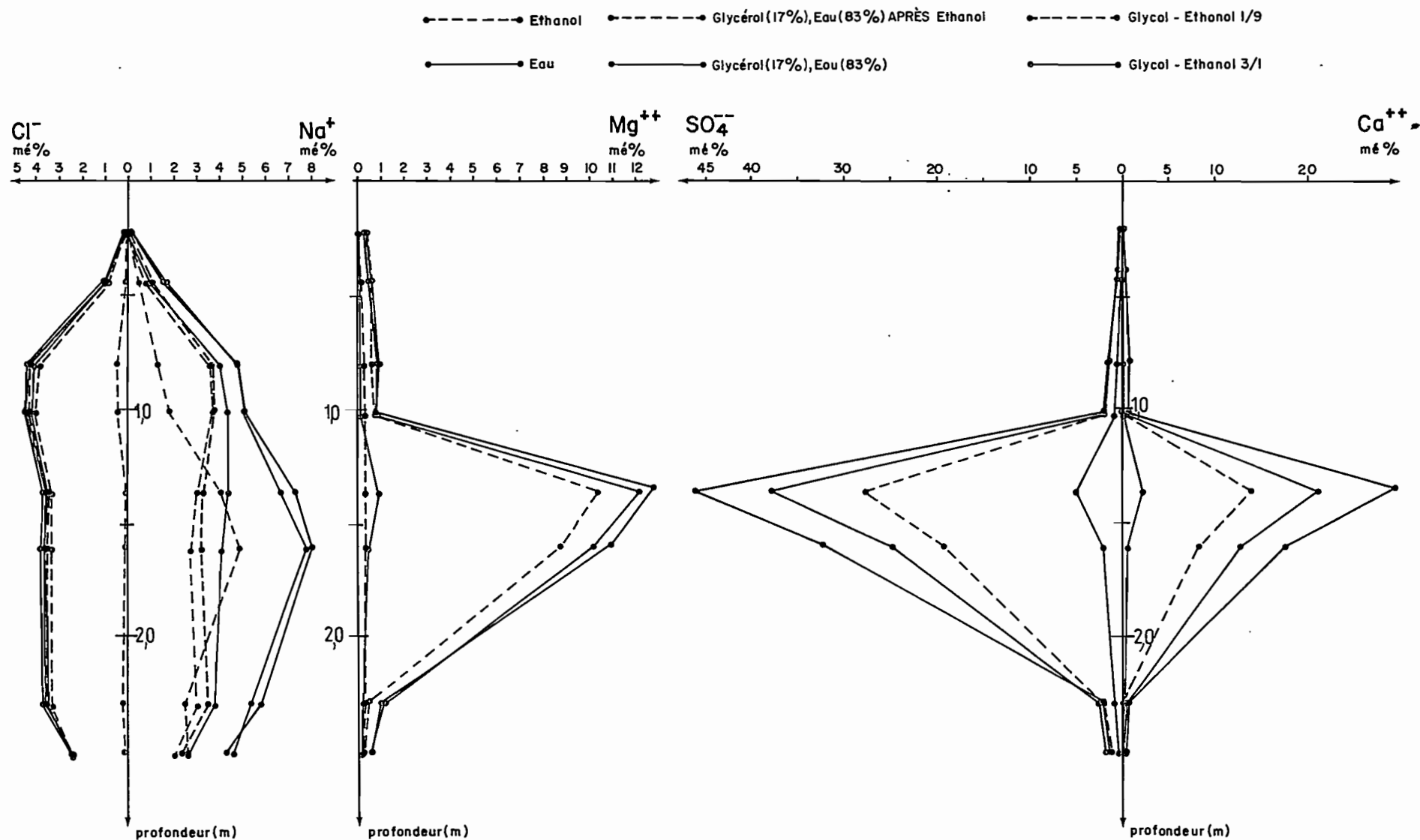
- Par contre, le mélange Glycol-Ethanol 3/1 extrait de faibles quantités de sulfates corrélativement avec du calcium et du magnésium en concentrations équivalentes dans les horizons à gypse.

- Le mélange Ethanol-Eau extrait l'ensemble des chlorures corrélativement avec le sodium. Les taux de chlorures ainsi que ceux de sodium extraits sont légèrement supérieurs (au maximum de 10%) à ceux extraits par la solution Glycol- Ethanol 1/9. Cela semble confirmer une meilleure extraction de ce sel par le mélange Ethanol-Eau.

Les taux de sulfates extraits sont très faibles, les taux d'extraction du calcium, et surtout du magnésium correspondant, apparaissent à l'état de traces. [Ces faits traduisent peut-être la présence en très faibles quantités de chlorure de calcium et de magnésium, ainsi qu'une fraction de sulfate de magnésium en faibles quantités dans les équilibres ioniques et qui sont faiblement extraits d'après les tests Tucker.]

Fig. 7

EXTRACTION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFÉRENTES SOLUTIONS RAPPORT SOL/SOLUTION : 1/10



- Le mélange Glycérol-Eau, d'après Tucker, extrait l'ensemble des sels solubles. Son comportement est par ailleurs très voisin de celui de l'eau pure.

La courbe d'extraction des chlorures se superpose à celle des autres extraits (Ethanol ou Glycol). Par contre celle des cations, sodium, magnésium ou calcium diffère de façon fondamentale.

Elle montre un pic au niveau des horizons à gypse (à partir de 1,30 m de profondeur) pour tous ces cations.

Pour le sodium, ce pic est supérieur au taux de chlorures correspondants et se trouve en total déphasage.

Pour le calcium et le magnésium, ils correspondent à un pic très important du sulfate au niveau des horizons à gypse.

- Quant à l'extraction Glycérol-Eau après Ethanol, elle est complémentaire à celle de l'Ethanol seul qui n'extrait que la totalité des chlorures, mais pas les sulfates. Aussi est-il logique de ne pas retrouver dans ces extraits les chlorures, et de trouver les cations correspondant à la différence entre les extraits glycérolés et les extraits au glycol ou à l'éthanol.

22.2 - Conclusion :

Les résultats bruts par horizon sont à rapprocher des résultats déjà obtenus par les extractions à l'eau.

Tous les chlorures sont extraits par toutes les solutions. Leurs courbes sont confondues.

Pour l'ion Na⁺ :

Deux groupes d'agents d'extraction se distinguent : (Fig. 8)

- L'éthanol, le glycol-éthanol 1/9, le glycol-éthanol 3/1 offrent une courbe d'extraction du sodium symétrique à celle des chlorures.

L'extrait à l'éthanol offre la plus faible différence entre le sodium et les chlorures avec un léger excès de chlorures. L'extrait glycol-éthanol 3/1 montre un excès de sodium surtout pour les horizons 5 à 6.

- L'eau, le glycérol, l'éthanol suivi du glycol, montrent une courbe d'extraction en déphasage avec celle des chlorures avec une teneur maximale en sodium pour les horizons 7 et 9 qui correspondent aux horizons d'accumulation de gypse.

Les taux de sodium sont largement supérieurs à ceux de chlorures. Pour les extraits aqueux, ces taux augmentent en fonction de la dilution.

Fig. 8

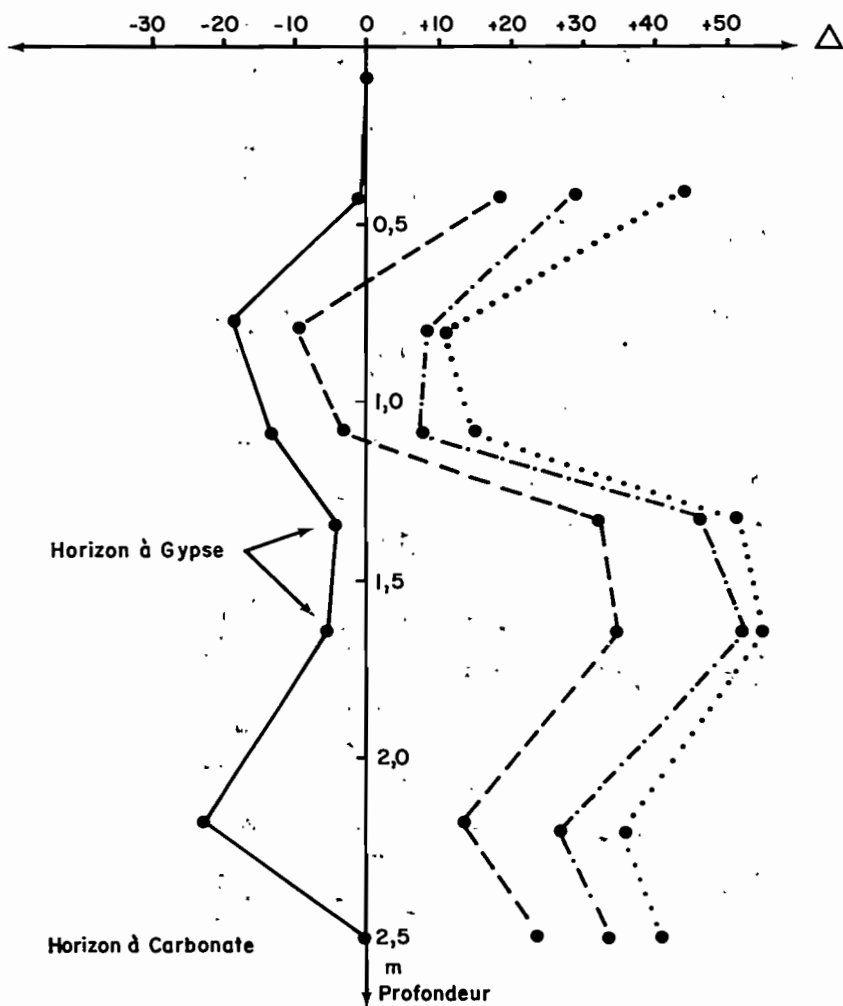
SELS SOLUBLES

Rapport entre Na^+ et Cl^- dans les extraits

$$\Delta = \frac{\text{Na} - \text{Cl}}{\text{Na}} \%$$

EXTRACTION PAR L'EAU

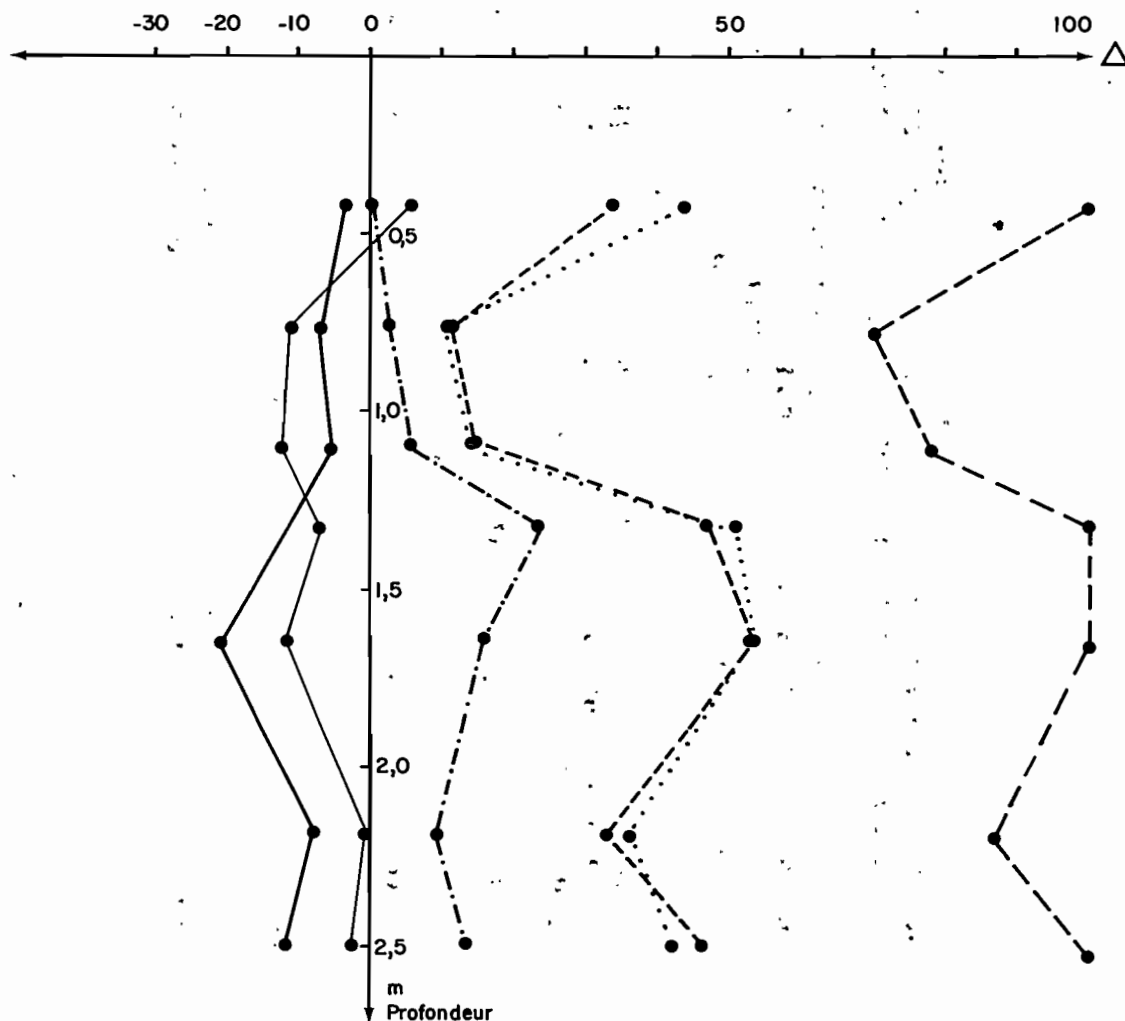
- Extraction par la pâte saturée
- - -●- - - Extraction au 1/2 (rapport sol/eau)
- · - · - Extraction au 1/5
- Extraction au 1/10



Rapport sol/solution : 1/10

EXTRACTION PAR DIFFÉRENTES SOLUTIONS

- Ethanol
- - -●- - - Glycérol (17%), eau (83%) APRÈS Ethanol
- · - · - Glycérol (17%), eau (83%)
- Glycol - Ethanol : 1/9
- · - · - Glycol - Ethanol : 3/1
- Eau



Les sulfates ne sont extraits que par l'eau et la solution glycérolée. L'eau semble être un solvant plus efficace, mais elle est sans doute responsable d'un début d'hydrolyse. Le composé glycérolé est bien loin d'avoir extrait la totalité des sulfates dans les horizons gypseux pour lesquels un extrait au 1/20^{ème} voire au 1/50^{ème} à l'eau est nécessaire.

Le calcium et le magnésium sont extraits en compagnie des sulfates par l'eau ou la solution glycérolée. Ils sont peu abondants dans le profil, sauf dans les horizons à gypse. Les faibles quantités de magnésium extraites par l'éthanol ou la solution glycol-éthanol 1/9 pourraient correspondre à des faibles teneurs en sulfate de magnésium fortement soluble, mais tout de même présent dans les équilibres ioniques.

En conséquence :

Il semblerait que :

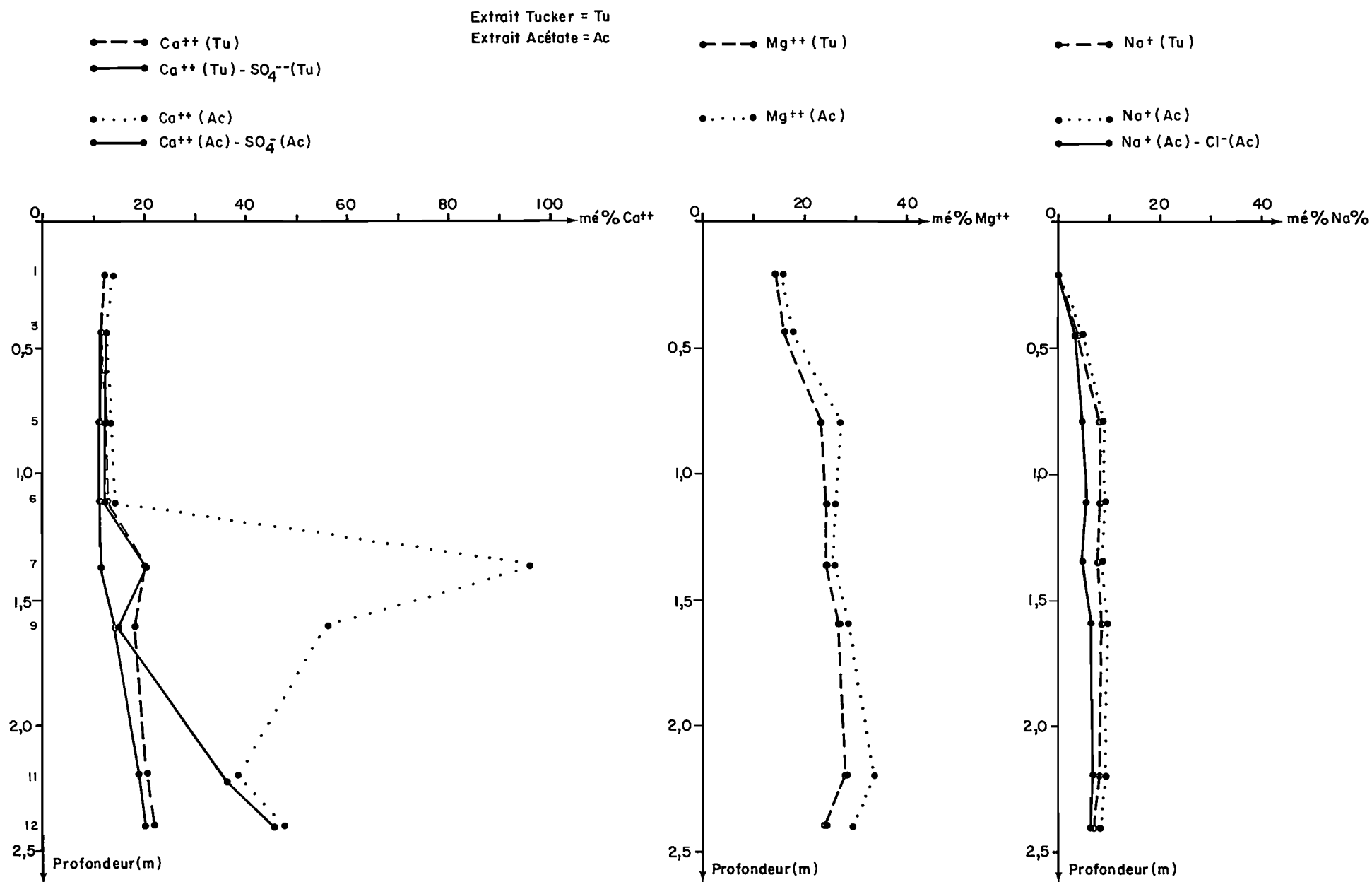
Tous les solvants extraient les chlorures en proportions équivalentes

- l'éthanol est le seul solvant où la balance sodium-chlorure soit à peu près équilibrée. De plus l'éthanol ne perturbe pas les équilibres ioniques car il n'extrait pratiquement aucun sulfate.

- la solution glycol-éthanol 1/9 offre des résultats assez voisins.

Pour extraire les sulfates, seule une solution aqueuse très diluée est efficace (1/20, voire 1/50), mais sera sans doute responsable d'un début d'hydrolyse.

Fig. 9 — $\text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}, \text{Na}^{+}$, ECHANGEABLES - EXTRACTIONS SUR SOL BRUT



III - EXTRACTION DES BASES ECHANGEABLES :

31 - COMPARAISONS ENTRE DEUX METHODOLOGIES POUR L'EXTRACTION DES BASES ECHANGEABLES :

31.1 - Présentation des méthodes :

Toute la méthodologie analytique est développée dans la deuxième partie des annexes.

Les 2 méthodes sont les suivantes :

- Extraction des bases échangeables par une solution d'acétate d'ammonium molaire (1M) à pH 7,0 (méthode classique : en abrégiation : Ac).

- Extraction des bases échangeables par une solution alcoolique (éthanol) à 60% de chlorure d'ammonium molaire (1M) à pH 7,0. Il s'agit de la méthode "Tucker" (en abrégiation : T), modifiée car le pH est ramené de 8,2 à 7,0.

31.2 - Résultats et interprétation : (Fig. 9, Tableau II)

31.21 - Résultats à l'acétate d'ammonium :

Résultats bruts :

K⁺ n'est important que dans les horizons de surface dans lesquels on peut le trouver jusqu'à des concentrations 1 mé %. Dans les autres horizons, sa teneur est toujours inférieure à 0,1 mé %. A cause de ces faibles teneurs, ce cation n'entre pas dans les critères d'un choix de méthodologie.

Horizon 1 à 6 : les teneurs en bases échangeables augmentent régulièrement depuis l'horizon 5. Elles se stabilisent dans l'horizon 6 où Mg⁺⁺ est le cation dominant (26 mé) suivi de Ca⁺⁺ (14 mé) et de Na⁺ (8 mé).

Horizon 7 et 9 : on note une très forte augmentation des teneurs en calcium dans l'horizon 7 (96 mé qui décroît à 56 mé dans l'horizon 9. Ca⁺⁺ devient la cation dominant ; les teneurs en Mg⁺⁺ et Na⁺ demeurent stables.

Horizon 11 à 12 : les concentrations en Ca⁺⁺ diminuent par rapport aux horizons 7 à 9. Elles demeurent néanmoins élevées (40 mé). Les variations des teneurs en Na⁺ et Mg⁺ sont faibles. Les valeurs semblent croître quelque peu dans la partie basse du profil.

Conclusion :

- Les très fortes teneurs en Ca^{++} correspondent aux horizons 7 et 9 riches en gypse.

Les teneurs en Ca^{++} sont plus élevées dans l'horizon 7 où le gypse apparaît sous forme de nombreuses lentilles centimétriques individualisées, que dans l'horizon 9 où il est aggloméré sous forme de sphéroïdes plus grosses, mais moins nombreuses que les lentilles : la surface de contact gypse/réactif y est donc plus faible.

- Les taux élevés de Ca^{++} dans les horizons 11 et 12 correspondent à des horizons riches en carbonates.

- Les teneurs en Mg^{++} et Na^+ varient peu au sein du profil.

En conséquence :

Il faut retrancher aux cations dosés la valeur équivalente anionique présente dans l'extrait correspondant à la fraction sels solubles distincte de la fraction basés échangeables au sens strict.

Ainsi : à l'ion Ca^{++} il faut retrancher l'équivalent SO_4^{--}

à l'ion Na^+ il faut retrancher l'équivalent Cl^-

Les différents cations et anions étant associés de la sorte comme il l'a été démontré dans les extraits des sels solubles.

Ainsi, les teneurs en Na^+ diminuent de façon très significative de plus du tiers de leur valeur.

De la même façon, les teneurs en calcium diminuent elles singulièrement, dans les horizons gypseux en particulier, où elles sont ramenées à une valeur plus proche des horizons non gypseux.

31.22 - Résultats au chlorure d'ammonium :

Résultats bruts :

Horizon 1 à 6 : les concentrations en Mg^{++} et en Na^+ augmentent progressivement depuis l'horizon 1 à 5 et se stabilisent ensuite à environ 25 mé % pour Mg et 8,5 % pour Na^+ .

Les concentrations en Ca^{++} sont stables à 12 mé % environ.

Horizon 7 à 12 : on pourra noter dans ces horizons à gypse une remontée sensible des teneurs en calcium à 20 mé % correspondant aux horizons gypseux et carbonatés alors que les teneurs en Ca^{++} et Mg^{++} sont stables.

Résultats corrigés :

En retranchant pour les teneurs en calcium la quantité équivalente de sulfate extraits, les résultats sont transformés.

On s'aperçoit ainsi que les teneurs en Ca^{++} sont stables dans toute la partie supérieure du profil. Les concentrations se maintiennent à 11,5 mé % environ, y compris dans l'horizon à cristaux de gypse lenticulaire. En profondeur, les teneurs croissent progressivement et atteignent 19 mé % dans les horizons carbonatés.

Les valeurs de Ca^{++} sont supérieures dans l'horizon 11 à celles de l'horizon 12 car le carbonate y est plus diffus, en amas pulvérulents avec des surfaces de contact plus importantes que dans l'horizon 12 où il est plus massif.

L'extraction étant effectuée au chlorure d'ammonium, on ne pourra malheureusement pas soustraire aux teneurs en Na^+ dosé les quantités de chlorures équivalentes correspondant aux sels solubles sous la forme de chlorure de sodium.

TABLEAU II. : RECAPITULATIF DES RESULTATS DES BASES ECHANGEABLES
Comparaison entre deux méthodologies d'extraction

HORIZON	Ca++			Ca++ - SO4--		
	TUCKER	ACETATE	δ %	TUCKER	ACETATE	δ %
1	12,00	13,70	14	11,69	13,57	16
3	11,93	12,60	6	11,16	11,80	6
5	12,98	13,58	5	11,43	12,23	7
6	13,07	14,10	8	11,29	12,07	7
7	20,10	96,00	378	11,87	20,65	74
9	18,33	56,05	206	14,75	15,32	4
11	21,40	38,50	80	19,46	35,93	85
12	20,80	49,40	138	19,09	47,62	149

HORIZON	Mg++		
	TUCKER	ACETATE	δ %
1	14,70	15,50	5
3	16,30	17,15	5
5	23,53	26,98	15
6	24,51	26,00	6
7	24,33	25,30	4
9	27,30	28,25	3
11	28,57	33,45	17
12	23,70	29,30	24

HORIZON	Na+			Na+ - Cl- ACETATE
	TUCKER	ACETATE	δ %	
1	0,65	0,68	5	0,68
3	4,06	4,24	4	3,32
5	8,37	8,71	4	5,00
6	8,80	8,86	1	5,10
7	7,88	8,12	3	4,97
9	9,12	9,34	2	6,22
11	8,83	9,05	2	6,48
12	8,06	7,86	-2	6,08

31.3 - Comparaisons des résultats : (Cf. : Tableau II)

La différence entre les 2 méthodologies est significative. Les résultats des extraits à l'acétate, à de très rares exceptions près, sont toujours supérieures aux extraits "Tucker".

$$\delta \text{ exprimé en \%} = \frac{\text{Valeur Acétate} - \text{Valeur "Tucker"}}{\text{Valeur "Tucker"}}$$

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
Horizon humifère 1	15	5	5
Horizon à gypse lenticulaire 6	75	2	1
Horizon carbonaté continu 12	150	25	2

TABEAU III : Récapitulatif des écarts (δ%) entre les méthodes "Acétate" et "Tucker".

Dosage de Ca⁺⁺ :

Pour que les résultats aient une réelle signification, il faut bien évidemment soustraire la quantité équivalente de SO₄ correspondant aux sels solubles de gypse qui ont été extraits en même temps que les bases échangeables.

La différence entre les 2 méthodologies n'apparaît pas dans la partie supérieure du profil, sauf dans l'horizon humifère de surface où elle atteint 15%.

Dans l'horizon à gypse lenticulaire, cette différence devient très significative : + 74% pour la méthode acétate.

Cette différence s'accroît de façon très substantielle dans les horizons carbonatés (+ 85 à 150 %).

Dosage de Mg^{++} :

Dans la partie supérieure du profil, y compris dans les horizons gypseux, peu de différence significative à l'exception de la différence de 15% enregistrée dans l'horizon 5, et encore inexpliquée.

Par contre, dans les horizons carbonatés, l'écart atteint respectivement 17 et 24% pour les horizons 11 et 12.

Dosage de Na^+ :

L'écart entre les deux méthodologies est très faible ($\leq 5\%$).

CONCLUSION :

Au vu des différents taux de saturation - rapport entre la somme des bases et la capacité d'échange - on constate que la méthodologie Acétate est relativement "perméable" et extrait des quantités substantielles d'ions Ca^{++} en excès dans les horizons à gypse et à carbonates, ainsi que des ions Mg^{++} en excès dans les horizons carbonatés correspondants à une fraction liée aux sels plus ou moins solubles et non à la fraction échangeable.

L'excès de Ca^{++} dans l'extrait acétate des horizons humifères de surface est causé vraisemblablement par une extraction de matière organique par la solution.

Celle-ci conserve dans sa structure des molécules de calcium non échangeables qui sont libérées lors de sa destruction.

Donc l'extraction des bases échangeables par la méthode Tucker est à RECOMMANDER ABSOLUMENT en présence de sulfates et surtout de carbonates. Même si les taux de Ca^{++} et de Mg^{++} extraits sont excessifs dans les horizons carbonatés, cet excès est très modéré comparativement à l'extrait acétate.

32 - EXPRESSION DES RESULTATS DE BASES ECHANGEABLES EXTRAITES PAR LE CHLORURE D'AMMONIUM (TUCKER) APRES ELIMINATION DES SELS SOLUBLES EN MILIEU AQUEUX :

Comme il l'a été démontré précédemment, les sels solubles perturbent grandement l'extraction des bases échangeables.

Cet essai a pour but d'éliminer les sels solubles à l'eau par des dilutions de plus en plus importantes et de quantifier par la suite les principaux cations échangeables.

32.1 - Conditions préalables :

D'après les résultats acquis lors des expérimentations précédentes, il faut au départ établir les conditions suivantes :

- Le choix de méthode d'extraction des bases échangeables est orienté vers la méthode "Tucker" qui donne des résultats plus satisfaisants que la méthode acétate pour le dosage de Ca^{++} et Mg^{++} dans les horizons humifères, sulfatés et carbonatés.

- K^+ échangeable n'est pas cité dans notre exemple en raison de ses concentrations trop faibles.

- Les sels solubles pouvant subsister après la tentative de leur élimination sont soustraits aux bases échangeables par le dosage des anions correspondants :

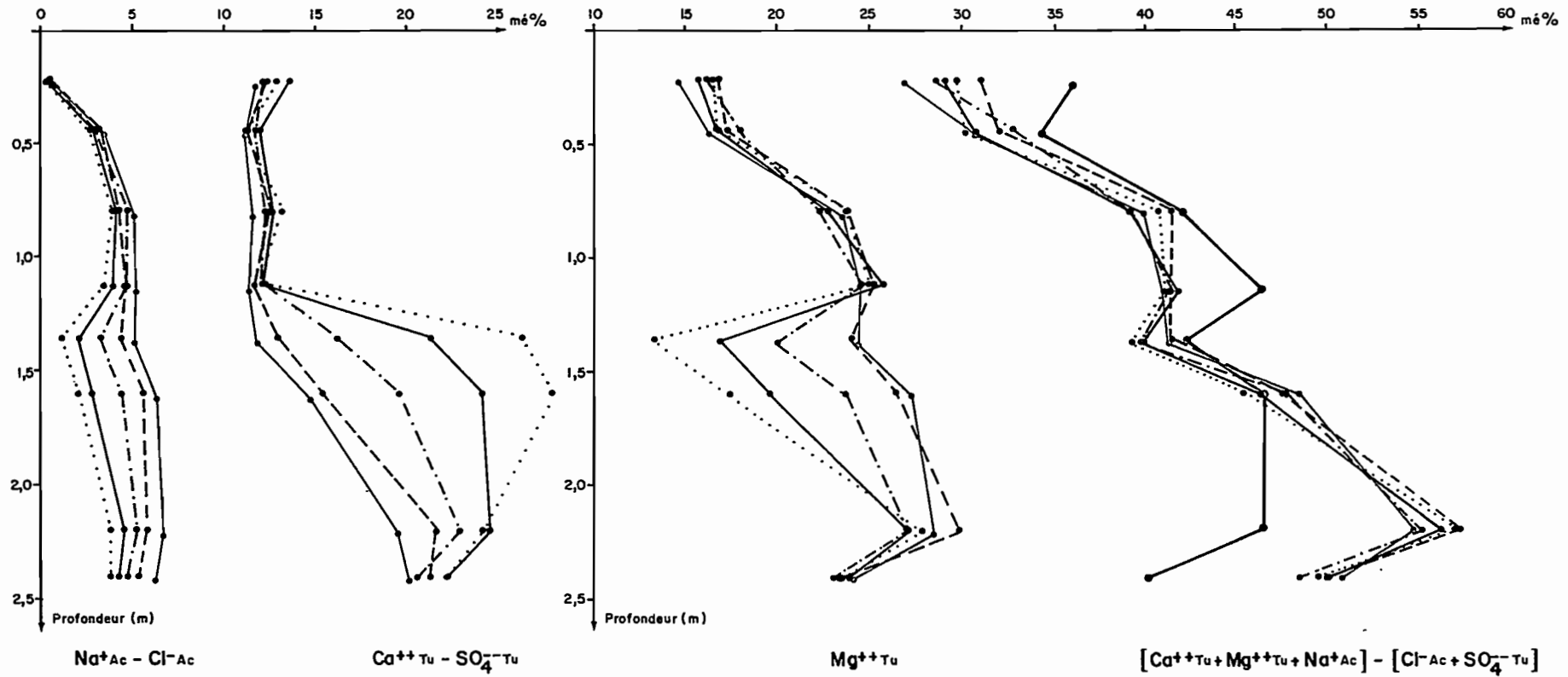
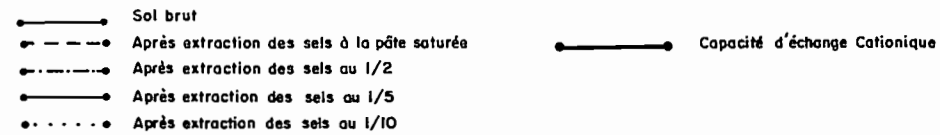
- SO_4^{--} est soustrait à Ca^{++}

- Cl^- est soustrait à Na^+

- Pour cette dernière opération, l'extrait Tucker ne permet pas le dosage des chlorures. Dans ce cas précis, c'est l'extrait à l'acétate qui a été utilisé. Les résultats déjà acquis montrent que pour le dosage de Na^+ , il n'existe que peu ou pas de différence avec la méthode Tucker.

- L'élimination des sels solubles s'est effectuée selon les dilutions suivantes : sur l'extrait de pâte saturée, sur les extraits sol/eau dans les rapports de 1/2, 1/5, 1/10.

Fig. 10 CALCIUM, MAGNÉSIUM ET SODIUM ÉCHANGEABLE SUR SOL BRUT ET APRÈS EXTRACTIONS DES SELS SOLUBLES



32.2 - Résultats et interprétations : (Fig. : 10)

Dosage de Na^+ :

Dans la partie supérieure du profil, on note un faible écart entre les résultats.

Déjà, on peut observer la sélectivité des extraits :

Plus la dilution des solutions pour extraire les sels solubles est importante, plus le taux de sodium échangeable résiduel est faible.

Ce phénomène s'amplifie grandement dans les horizons plus profonds avec un maximum d'intensité dans les horizons gypseux.

Dosage de Mg^{++} :

Les teneurs en Mg^{++} dans les horizons de surface et les horizons carbonatés sont relativement voisines quelle que soit la dilution.

Mais, dans les horizons à gypse, le comportement du cation Mg^{++} est identique à celui de Na^+ : diminution de la concentration en fonction de la solution des extraits de sels solubles.

Dosage de Ca^{++} :

A l'opposé de Na^+ et Mg^{++} , les teneurs en Ca^{++} résiduel augmentent en fonction de la dilution avec un maximum important dans les horizons carbonatés.

Quelle est la raison de ce comportement singulier ?

Il faut pour cela se reporter à la Fig. 6 relative à l'extraction des sels solubles en milieu aqueux, en particulier au niveau des horizons 7 et 9 :

- a) - contrairement aux chlorures qui étaient stables, les taux de Na^+ augmentaient en fonction de la dilution
- les taux de Mg^{++} suivaient également une pente ascendante
- quant à Ca^{++} , il était loin d'atteindre des valeurs équivalentes aux sulfates.
- b) - Lorsque l'on effectue la somme des bases extraites, (Fig.: 9), on s'aperçoit qu'elles sont égales quelle que soit la dilution.

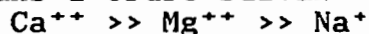
DONC, IL Y A EU REDISTRIBUTION DES CATIONS EN MILIEU AQUEUX.

L'ion calcium est immobilisé sous forme de gypse (ou de carbonate). Il est stable dans un milieu argileux non drainant.

Dès que le milieu s'hydrate, il s'ensuit un échange :

Ca^{++} mis en solution par la dissolution du gypse ou du carbonate va prendre la place de Mg^{++} et de Na^+ sur le complexe d'échange.

Les études expérimentales consacrées aux fixations des cations échangeables absorbées par les argiles ont toujours démontré que Ca^{++} était plus facilement absorbé et mieux retenu que Mg^{++} ou Na^+ dans l'ordre suivant :



Dans ces conditions, plus la dilution est grande, plus la quantité de gypse et de carbonate mise en solution sera importante, plus l'échange sera important.

Pour le dosage final des sels solubles à l'eau : il se traduit par un déséquilibre et un échange ionique important. Cela explique la quantité anormalement élevée de sulfate de magnésium et de sodium dans les différents extraits au niveau des horizons gypseux.

L'EAU N'EST DONC PAS LE MEILLEUR AGENT D'EXTRACTION DES SELS SOLUBLES.

32.3 - Conclusion pédologique :

Les horizons à gypse ne sont pas en équilibre avec les conditions hydriques de la surface sous une pluviométrie annuelle médiane comprise entre 800 et 1000 mm.

Leur mise en place s'est vraisemblablement déroulée au courant d'un épisode paléoclimatique plus sec de type semi-aride.

Actuellement, malgré la pluviosité plus abondante, aucune circulation d'eau à l'intérieur du profil ne déséquilibre ce système. Ces horizons gypseux toujours situés à plus de 0,80 m. de profondeur, sont fossilisés par l'épaisseur de sol susjacente constituée à plus de 60% par de l'argile de type montmorillonite.

33 - EXPRESSION DES RESULTATS DES BASES ECHANGEABLES EXTRAITES PAR LE CHLORURE D'AMMONIUM (TUCKER) APRES ELIMINATION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFERENTES SOLUTIONS :

Les différentes solutions pour extraire les sels solubles sont identiques à celles énoncées dans le second chapitre.

33.1 - Résultats bruts :

Sans soustraction de l'équivalent anionique : (Fig. : 11)

Les courbes d'extraction des bases échangeables se répartissent à nouveau en 2 groupes distincts :

- Le premier groupe est formé par le glycérol, le glycérol après éthanol.

Son comportement est voisin de celui de l'eau déjà décrit dans le paragraphe précédent : déplacement très important de l'équilibre : augmentation nette du calcium dans les horizons à gypse, diminution corrélative du magnésium et du sodium.

- Le second groupe est formé par les agents d'extraction composés d'éthanol ou des mélanges glycol-éthanol.

Le déplacement de l'équilibre est beaucoup plus restreint :

- une faible diminution des teneurs en Na^+ dans tout le profil
- une faible augmentation du taux de Ca^{++} localisée dans les horizons à gypse
- une relative constance des teneurs en Mg^{++} dans tout le profil.

Après soustraction des extraits anioniques : (Fig. 12)

Le second groupe montre que :

- les teneurs en Ca^{++} sont constantes dans tout le profil tout comme les teneurs en Mg^{++} et correspondent aux extraits des bases échangeables sur sol brut.
- les teneurs en Na^+ (où Cl^- ne peut être dosé par l'extrait Tucker) sont sensiblement équivalentes à celles obtenues sur sol brut après soustraction de l'équivalent chlorure sur l'extrait acétate.

Dans le premier groupe, le déplacement de l'équilibre subsiste malgré une légère atténuation des teneurs en Ca^{++} .

RAPPORT SOL/SOLUTION : 1/10

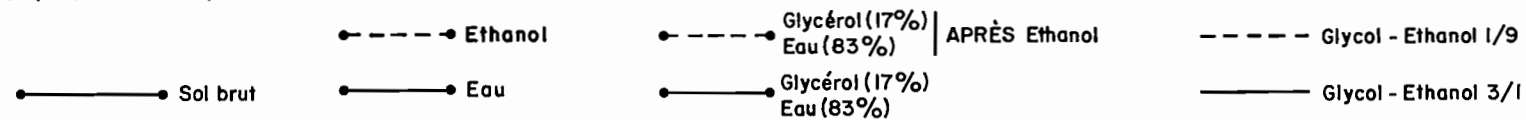


Fig. II
CALCIUM, MAGNÉSIUM ET SODIUM ÉCHANGEABLE SUR SOL BRUT APRÈS EXTRACTION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFÉRENTES SOLUTIONS

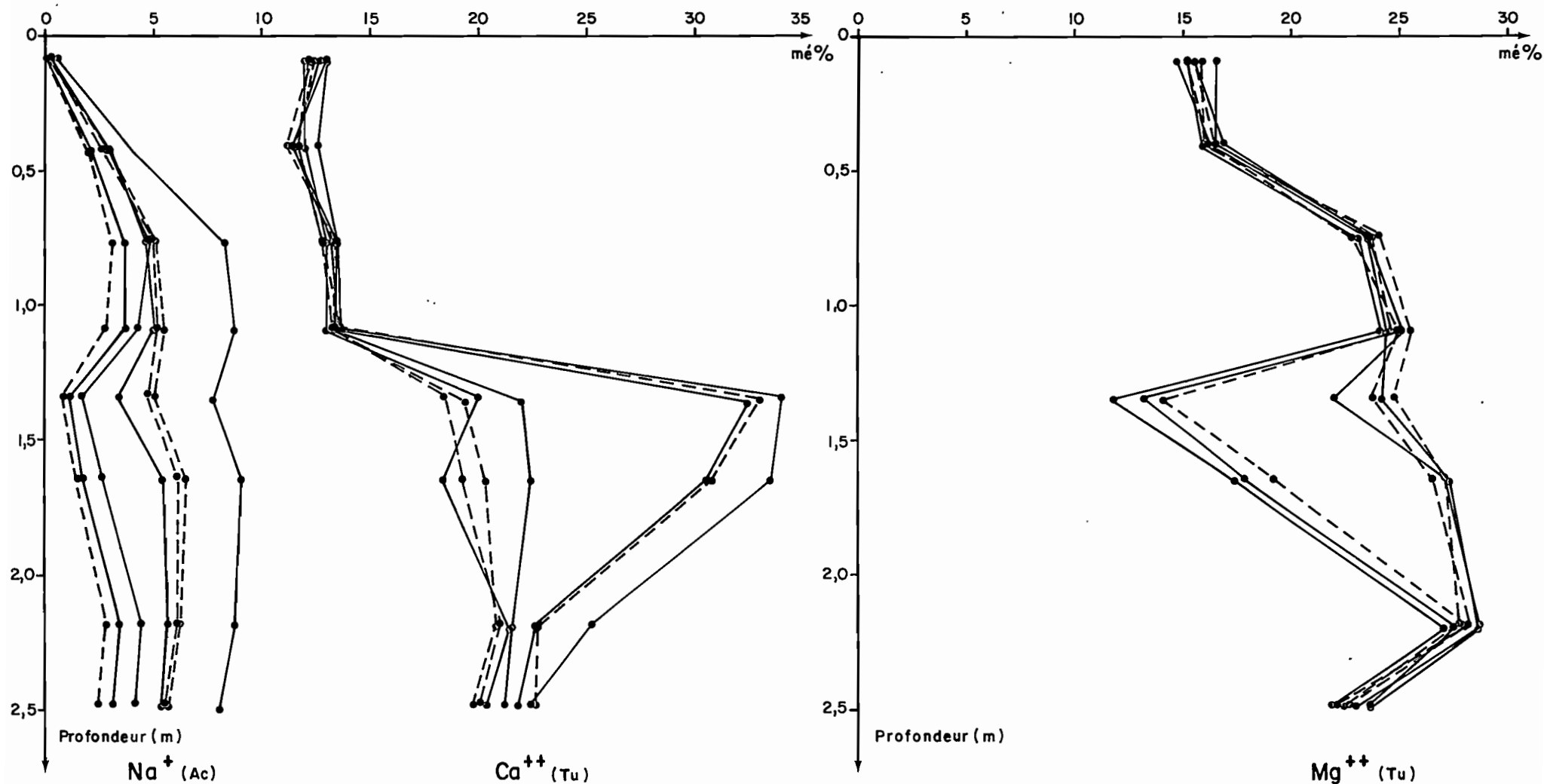
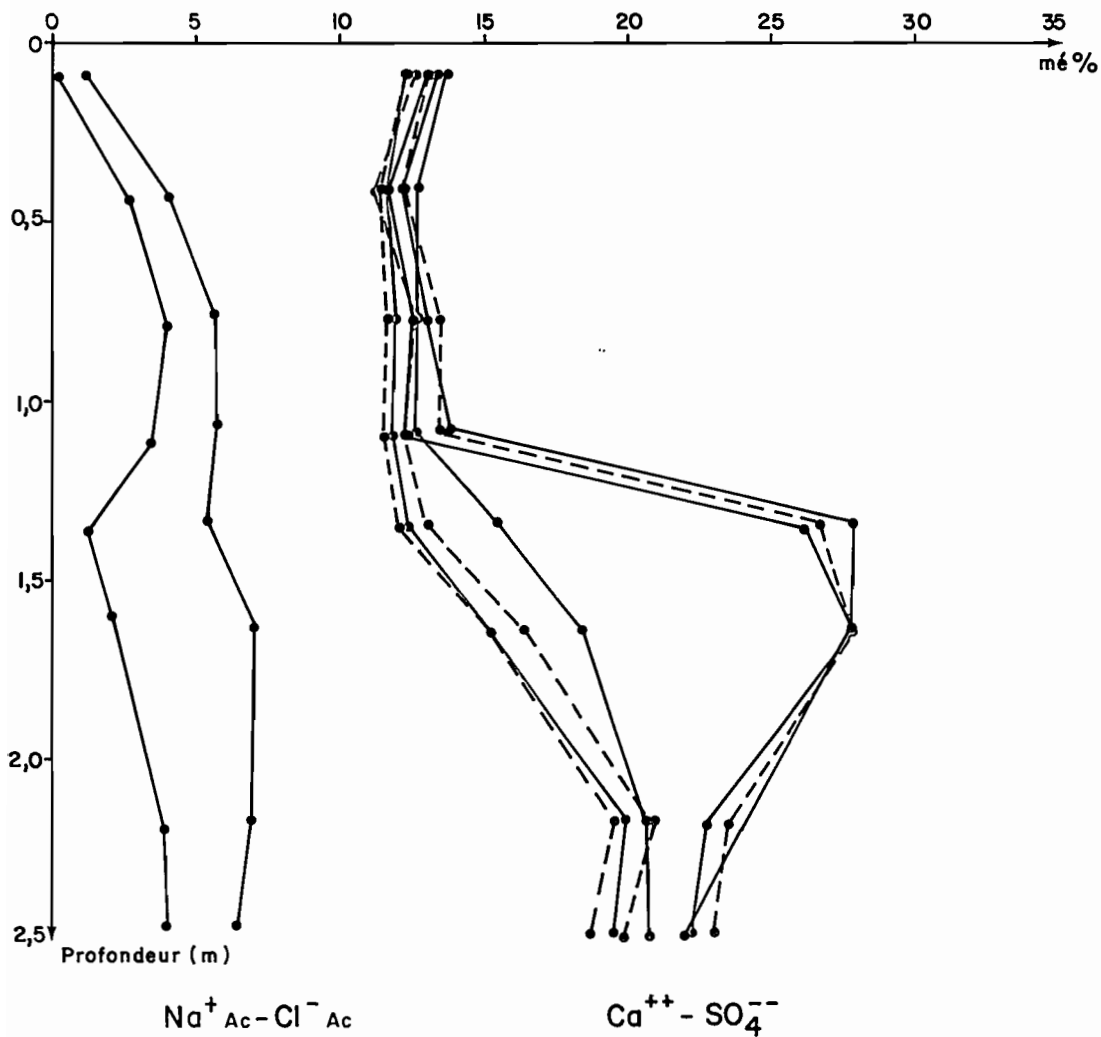


Fig. 12
 CALCIUM ET SODIUM ÉCHANGEABLE APRÈS SOUSTRACTION DES ANIONS CORRESPONDANTS SUR SOL BRUT ET
 ET APRÈS EXTRACTION DES SELS SOLUBLES PAR DIFFÉRENTES SOLUTIONS.



33.2 - Conclusion :

Les extractions des sels solubles à l'éthanol ou au glycol-éthanol 1/9 offrent le moins de variations pour les résultats relatifs aux cations échangeables et ne sont donc pas à l'origine d'échanges entre Ca^{++} d'une part et Na^+ et Mg^{++} d'autre part.

Les chlorures étant pratiquement éliminés par l'éthanol, le dosage de Na^+ par la méthode Tucker sera parfaitement équivalent à celui de Na^+ extrait par la méthode à l'acétate sur sol brut auquel on a soustrait l'équivalent chlorure.

IV - CONCLUSION GENERALE :

Cette étude rend bien compte de l'action comparative de différents agents d'extraction pour le dosage des sels solubles et de la capacité d'échange sur un vertisol magnésien, à gypse et carbonates.

Pour l'extraction des sels solubles :

L'agent testé le plus efficace pour extraire les chlorures est la solution glycérol-eau.

L'agent testé le plus efficace pour extraire les sulfates est l'eau.

Mais ces deux agents sont responsables d'importants échanges entre les cations solubles et échangeables.

L'éthanol ou le mélange éthanol-glycol 9/1 ne provoquent que très peu d'échanges entre les cations, mais ne dissolvent pas les sulfates. L'éthanol seul étant plus énergique que la solution éthanol-glycol pour extraire les chlorures, il sera préconisé pour extraire le chlorure de sodium soluble.

Pour l'extraction des bases échangeables :

La méthode Tucker [pH 7 au lieu de 8.3 (pour les sols calcaires)] limite fortement la présence de sulfates et de carbonates solubles dans les extraits échangeables au contraire de la méthode à l'acétate. Elle permet de minimiser l'excédent de calcium et de magnésium extraits en présence de carbonates lorsque la proportion entre le carbonate de calcium et le carbonate de magnésium n'est pas déterminable.

Cette méthode ne permet cependant pas de doser les chlorures et donc d'éliminer la fraction de sodium soluble extraite en même temps que la fraction échangeable.

Un traitement préalable est donc nécessaire afin d'éliminer les sels très solubles.

Ce traitement ne doit pas être effectué à l'eau, ni par les composés glycérol-eau.

Ces solutions sont en effet responsables au niveau des horizons à gypse en particulier, de la substitution du magnésium et du sodium échangeable au profit du calcium libéré par la dissolution partielle du gypse.

Les traitements à l'éthanol ou au glycol-éthanol 1/9 qui ne dissolvent pas le gypse, s'avèrent les plus intéressants.

Par mesure de simplicité convenant à la fois aux extractions de sels solubles et de bases échangeables, l'éthanol sera retenu.

Conclusion au niveau du sol :

- Ces vertisols possèdent des horizons à gypse fossiles qui ne sont plus en équilibre avec les conditions hydrodynamiques de la surface.

- L'équilibre entre la juxtaposition de sels solubles calciques (gypse) et de cations échangeables constitués principalement par du magnésium et, pour une grande part, de sodium, est très instable.

- L'absence de circulation interne d'eau est la condition nécessaire au maintien de cet équilibre.

Ces horizons étant séparés de la surface par un mètre de sol composé à plus de 50% d'argile de type montmorillonite, ils sont fossilisés et protégés de la dynamique hydrique externe.

La mise en place d'un tel type de sol ne peut s'expliquer que par l'entremise de conditions paléoclimatiques beaucoup plus sèches qu'à l'heure actuelle. Un nourrissage continu et très progressif des sols situés sur cette terrasse moyenne par de faibles quantités de carbonates de magnésium en solution dans l'eau de la rivière Tamoa, lors de chaque grande crue, semble entretenir ce déséquilibre.

V - BIBLIOGRAPHIE :

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (ed.) - 1980. Standard methods for the examination of water and wastewater, 15th ed. Washington : APHA, 1134 p.

BEAUDOU, A.G.; FROMAGET, M.; PODWOJEWSKI, P.; BOURDON, E. 1983. Etude morpho-pédologique de la région de La Tontouta. Nouméa : ORSTOM. 31 p. multigr. + 2 cartes au 1/50 000 + 2 légendes.

BLACKMORE, L.C.; SEARLE, P.L.; DALY, B.K. - 1987. Methods for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau. Sci. Report, '80, 103 p.

BONZON, B. et al. - 1986. Effet des amendements calciques sur un sol sodique acide et sur un vertisol hypermagnésien. Résultat des études expérimentales conduites en 1984. Nouméa : ORSTOM, 87p.

BONZON, B. et al. - 1986. Effet des amendements calciques sur un sol sodique acide et sur un vertisol hypermagnésien. Résultat des études expérimentales conduites en 1985. Nouméa : ORSTOM, 36p.

BOWER, C.A.; REITEMEIER, R.F.; FIREMAN, M. - 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Sci., vol. 73, 4, 251-261.

DEWIS, J.; FREITAS, F. - 1972. Méthodes d'analyse physique et chimique des sols et des eaux. Rome : FAO. Bull. pédol., 10, 280 p.

DOWLING, A.J.; HOWITT, C.J. - 1987. Effects of extraction technique on concentrations of soluble salts in soil saturation extracts. Aust. J. Soil Res., 25, 137-144.

FRENKEL, H.; GERSTL, Z.; JAN RINGER VAN DE VEEN - 1986. Determination of gypsum and cation exchange capacity in arid soils by a resin method. Geoderma, 39, 67-77.

GILLMAN, G.P.; SKJEMSTAD, J.O.; BRUCE, R.C. - 1982. A comparison of methods used in Queensland for determining cation exchange properties. CSIRO Aust. Div. Soils Tech. Pap., 44, 1-18.

LOVEDAY, J. - 1974. Methods for analysis of irrigated soils, Commonwealth Bureau of Soils, Commonwealth Agricultural Bureau. Tech. Commun., 54, 208 p.

MC LEOD, S.; ZARCINAS, B. - 1976. The determination of ammonium and chloride by an auto-analyser for the measurement of cation exchange capacity of soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 7, 8, 743-750.

PAPANICOLAOU, E.P. - 1976. Determination of cation exchange capacity of calcareous soils and their percent base saturation. Soil Sci., vol. 121, 2, 65-71.

PELLOUX, P.; DABIN, B.; FILLMANN, G.; GOMEZ, P. - 1971. Méthodes de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols. Paris : ORSTOM. Doc. Tech., 17, 117 p.

PINTA, M. (ed.) - 1979. Spectrométrie d'absorption atomique. 2 volumes. Paris : MASSON/ORSTOM. Tome 1, 262 p.; Tome 2, 696 p.

PODWOJEWSKI, P. - 1984. Les sols de Nouvelle Calédonie à accumulation de gypse. Nouméa : ORSTOM, 23 p. multigr.

PODWOJEWSKI, P.; BEAUDOU, A.G. - 1987. Carte morpho-pédologique de la Nouvelle Calédonie au 1/200 000. Nouméa : ORSTOM.

Tome 1 : Avant-propos et présentation générale, 15p. multigr.

Tome 2 : Légende de la carte, 18 feuillets multigr.

Tome 3 : Possibilités d'utilisation du milieu, 5 feuillets multigr.

PODWOJEWSKI, P. - 1988. Les vertisols de Nouvelle Calédonie. Nouméa : ORSTOM. 58p.

POLEMIO, M.; RHOADES, J.D. - 1977. Determining cation exchange capacity : a new procedure for calcareous and gypsiferous soils. Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 41, 524-528.

RICHARDS, L.A. (ed.) - 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington : USDA. Agriculture Handbook, 60, 160 p.

RODIER, J. - 1978. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Paris : DUNOD, 1135 p.

THOMAS, G.W. - 1977. Developments in soil chemistry : ion exchange. Soil Sci. Soc. Am. J., vol., 41, 230-238.

THOMAS, G.W. - 1982. Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy Monograph, 9, 159-165.

TUCKER, B.M. - 1954. The determination of exchangeable calcium and magnesium in carbonate soils. (Div. of soils, CSIRO) Aust. J. Agric. Res., 5, 706-715.

TUCKER, B.M. - 1974. Displacement of ammonium ions for cation exchange capacity measurements. J. Soil Sci., vol. 25, 3, 333-337.

TUCKER, B.M. - 1974. Laboratory procedures for cation exchange measurements on soils. CSIRO Aust. Div. Soils Tech. Pap., 23, 1-46.

TUCKER, B.M. - 1982. Interaction of chlorides with soils : a factor in salt retention by saline soils. Aust. J. Soil Res., 20, 325-337.

TUCKER, B.M. - 1985. Active and exchangeable cations in soil. Aust. J. Soil Res., 23, 195-201.

TUCKER, B.M. - 1985. Laboratory procedures for soluble salts and exchangeable cations in soils. CSIRO : Div. Soils tech. Pap., 47 p.

VAN LOOM, J.C. - 1982. Chemical analysis of inorganic constituents of water. Boca Raton : CRC Press, 248 p.

ANNEXE I

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DETAILLEE DU PROFIL DE REFERENCE

RESULTATS ANALYTIQUES DETAILLES DU PROFIL DE REFERENCE

Vertisol calcimagnésique à gypse et carbonates de la vallée
de la Tamoa (La Tontouta). Profil n° MER 63

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL DE REFERENCE : MER 63

HORIZON 1 : 0 - 15 cm

Dénomination de l'horizon: horizon de surface humifère : A₁₁

Couleur: 10 YR 2/1 noir Texture: argilo-limoneux Consistance: meuble, peu friable

Macroporosité: faible; fentes de 1 à 3 cm d'écart Structure: polyédrique de 2 à 5 cm

Transition: distincte, régulière

HORIZON 2: 15 - 35 cm

Dénomination de l'horizon: horizon de surface sous l'horizon humifère : A₁₂

Couleur: 10 YR 2/0 noir Texture: argileux Consistance: cohérent, non friable

Macroporosité: faible, fentes de 1 à 3 cm d'écart Structure: polyédrique de 5 à 10 cm

Transition: distincte, régulière

HORIZON 3: 35 - 50 cm

Dénomination de l'horizon: horizon humifère à traces de turn-over, mélange avec horizon moins humifère : A₃₁(B)

Couleur: 10 YR 3/2 brun gris très foncé Texture: argileux Consistance: cohérent, plastique, peu collant

Macroporosité: fentes verticales et obliques fines Structure: polyédrique de 3 à 8 cm, associée à des faces luisantes et striées

Transition: nette, régulière

HORIZON 4: 50 - 65 cm

Dénomination de l'horizon: horizon de transition humique et verticale : A₃₂(B)

Couleur: 2,5 Y 5/2 brun grisâtre Texture: argileux Consistance: cohérent, plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques et quelconques Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 5 à 10 cm.

Transition: progressive, régulière

HORIZON 5: 65 - 90 cm

Dénomination de l'horizon: horizon verticale minéral : (B)₁

Couleur: 10 YR 5/4 brun jaunâtre Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 10 à 50 cm.

Transition: diffuse, régulière

HORIZON 6: 90 - 125 cm

Dénomination de l'horizon: horizon verticale minéral : (B)₂

Couleur: 2,5 Y 5/3 brun olive clair Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 10 à 50 cm.

Transition: nette, régulière

HORIZON 7: 125 - 140 cm

Dénomination de l'horizon: horizon verticale minéral, à concentration de cristaux de gypse : B_{1a}v

Couleur: 2,5 Y 5/3 brun olive clair Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 3 à 20 cm.

Gypse: en cristaux lenticulaires de 0,5 à 1,5 cm de long de couleur jaunâtre, parfois plus de 20% du poids de sol sec

Transition: distincte, régulière

HORIZON 8: 140 - 150 cm

Dénomination de l'horizon: horizon verticale minéral, à concentration de cristaux de gypse : B_{2a}v

Couleur: 10 YR 5/8 brun jaunâtre Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 3 à 50 cm.

Gypse: en amas de cristaux lenticulaires parfois agglomérés de 0,5 à 0,8 cm de teinte jaunâtre, 10 à 15 % du poids de sol

Transition: très nette, parfois inclinée

HORIZON 9: 150 - 175 cm

Dénomination de l'horizon: horizon vertique minéral à gypse de teinte à dominante noire due à MnO_2 : $B_{1Mn}(Gv)$

Couleur: noir à taches 2,5 Y 5/3 brun olive clair Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 3 à 50 cm.

Manganèse: dendrites et petites concrétions en revêtements à la surface des agrégats, autour des pores racinaires

Gypse: en amas de cristaux de 0,5 à 0,8 cm agglomérés en sphéroïdes de 2 à 5 cm de $\emptyset$ à revêtements noirs (MnO_2)

Transition: progressive, régulière

HORIZON 10: 175 - 195 cm

Dénomination de l'horizon: horizon vertique minéral à rares cristaux de gypse et quelques revêtements de MnO_2 : $B_{2(Mn.Gv)}$

Couleur: 5 Y 5/3 olive, taches 7,5 YR 5/6 brun vif Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 3 à 50 cm.

Manganèse: dendrites associés aux vides planaires ou aux pores racinaires.

Gypse: petits cristaux de 0,1 à 0,3 cm associés aux vides planaires.

Transition: progressive régulière

HORIZON 11: 195 - 240 cm

Dénomination de l'horizon: horizon vertique minéral, petits amas pulvérulents carbonatés : B_{Ca}

Couleur: 5 Y 5/3 olive Texture: argileux Consistance: peu plastique, non collant

Macroporosité: fentes obliques traversant l'horizon Structure: "fentes en coins", faces luisantes et striées de 3 à 50 cm.

Carbonates: en petits amas pulvérulents à coeur durci, sphériques de 2 à 5 cm de $\emptyset$

Manganèse: dendrites associés aux vides planaires ou aux pores racinaires.

Transition: distincte, régulière

HORIZON 12: 240 - 250 cm

Dénomination de l'horizon: horizon à croûte calcaire friable et discontinue associée à une matrice vertique : BC_{Ca}

Couleur: beige clair, matrice 5 Y 5/3 olive Texture: argilo-sableux Consistance: cohérent, friable, non plastique

Macroporosité: rares fentes obliques Structure: rares faces luisantes et striées de 3 à 50 cm limitées à l'horizon

Carbonates: croûte discontinue, friable, en volumes pulvérulents autour de noyaux d'induration

Transition: distincte, régulière

240 cm +

Altérite (isaltérite et allotérite) de roche de la série des basaltes

TABLEAU I - VERTISOL CALCIMAGNESIQUE A GYPSE ET CARBONATES EN AVAL DE SEQUENCE SUR BASALTE (région de la Tontouta)

NUMERO DE L'HORIZON	MER 63 1	MER 63 2	MER 63 3	MER 63 4	MER 63 5	MER 63 6
PROFONDEUR en cm	0-20	20-40	40-55	55-70	70-95	95-125
GRANULOMETRIE %						
argile	46.5	49.6	47.6	61.2	65.8	66.5
limon fin	21.8	20.9	19.5	16.7	14.8	15.7
limon grossier	11.0	11.1	9.7	7.0	6.7	7.1
sable fin	10.4	11.6	11.4	6.9	6.4	6.2
sable grossier	5.6	3.4	11.0	6.7	5.0	4.7
EAU DU SOL %						
pF 2,5	41.0	37.3	42.7	50.5	55.3	53.8
pF 4,2	23.9	27.7	23.3	24.5	27.3	26.4
MATIERE ORGANIQUE						
C%	30.4	19.1	8.4	4.5	2.4	
N%	1.84	1.20	0.73	0.45	0.32	
C/N	16.5	15.9	11.5	10.0	7.7	
M.O. %	5.2	3.3	1.4	0.8	0.4	
pH H ₂ O	5.9	6.2	6.2	5.6	5.4	5.3
pH KCl	4.8	5.1	5.1	4.5	4.2	4.1
COMPLEXE D'ECHANGE mé% (méthode Tucker : NH ₄ Cl à pH 7)						
Ca ⁺⁺	12.0	13.1	11.6	12.3	13.0	13.1
Mg ⁺⁺	14.7	16.9	16.3	21.1	23.5	24.5
K ⁺	0.84	0.26	0.11	0.06	0.08	0.10
Na ⁺	0.65	3.61	4.06	6.74	8.37	8.80
S Somme des bases	28.19	33.87	32.07	40.20	44.95	46.50
T Capacité d'échange	36.2	38.0	34.4	39.0	42.1	46.5
V (S/T) Taux de saturation %	77.9	89.1	93.2	SAT.	SAT.	SAT.
Phosphore total P ₂ O ₅ %	0.48	0.22	0.13	0.07	0.04	
ELEMENTS TOTAUX %						
Perte au feu	10.44	9.38	7.72	6.71	6.67	6.64
Résidu	38.96	38.64	41.30	36.26	34.28	34.14
SiO ₂	32.68	32.26	29.60	34.54	35.90	35.98
Al ₂ O ₃	6.31	9.45	9.07	10.39	10.58	11.52
Fe ₂ O ₃	6.35	6.86	7.35	8.44	8.78	8.92
MnO ₂	0.58	0.76	1.24	0.10	0.05	0.04
TiO ₂	0.87	0.91	0.84	1.04	1.04	0.99
CaO	0.48	0.52	0.39	0.38	0.39	0.42
MgO	0.76	0.87	0.84	1.06	1.11	1.18
K ₂ O	0.08	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06
Na ₂ O	0.08	0.12	0.16	0.24	0.39	0.39
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol.	8.8	5.8	5.5	5.6	5.7	5.2
Mg/Ca	1.22	1.29	1.40	1.71	1.81	1.87
Na/T %	1.8	9.4	11.8	17.2	19.9	20.3

NUMERO DE L'HORIZON	MER 63 7	MER 63 8	MER 63 9	MER 63 10	MER 63 11	MER 63 12
PROFONDEUR en cm	125-140	140-150	150-175	175-195	195-240	240-255
GRANULOMETRIE %						
argile	70.9	69.8	65.8	71.6	64.4	46.6
limon fin	12.1	14.6	20.1	15.5	11.8	13.1
limon grossier	7.6	7.0	7.4	6.0	5.7	6.6
sable fin	4.9	4.5	4.9	4.3	5.9	11.0
sable grossier	5.8	3.1	3.5	3.9	10.5	21.0
EAU DU SOL (%)						
pF 2,5	46.2	44.9	42.4	45.7	44.0	33.3
pF 4,2	26.3	27.2	25.7	28.4	28.2	19.8
pH H ₂ O	5.8	6.0	6.6	7.3	8.2	8.4
pH KCl	4.8	5.2	5.7	6.1	7.1	7.3
COMPLEXE D'ECHANGE mé%						
Ca ⁺⁺	20.1	18.0	18.3	16.6	21.4	20.8
Mg ⁺⁺	24.3	24.9	27.3	29.2	28.6	23.7
K ⁺	0.14	0.13	0.17	0.14	0.12	0.13
Na ⁺	7.88	8.14	9.12	9.60	8.83	8.06
S Somme des bases	52.42	51.17	54.89	55.54	58.95	52.69
T Capacité d'échange	41.6	42.0	46.1	48.1	46.2	40.0
V (S/T) Taux de saturation (%) SAT.		SAT.	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.
SELS SOLUBLES (Extrait au 1/2) mé%						
Ca ⁺⁺	6.31	6.45	5.87	1.05	0.73	0.40
Mg ⁺⁺	5.79	5.83	5.75	1.82	1.25	0.68
K ⁺	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
Na ⁺	5.40	4.86	5.62	4.78	4.36	3.50
Cl ⁻	3.67	3.95	3.74	3.99	3.81	2.68
SO ₄ ⁻⁻	13.83	14.41	14.25	3.17	2.19	1.66
CO ₃ H ⁻	0.01	0.02	0.02	0.03	0.21	0.24
ELEMENTS TOTAUX %						
Perte au feu	7.84	7.99	7.49	7.01	8.43	12.09
Résidu	28.40	30.34	31.34	29.98	29.14	26.14
SiO ₂	34.00	32.80	33.06	36.80	35.42	30.34
Al ₂ O ₃	11.15	11.33	10.77	11.52	10.58	9.07
Fe ₂ O ₃	7.58	7.72	8.01	9.07	8.72	8.07
MnO ₂	0.04	0.29	1.84	0.24	0.22	0.18
TiO ₂	0.86	0.82	0.82	0.99	0.98	1.03
CaO	4.20	2.00	1.92	0.67	2.94	8.25
MgO	1.22	1.39	1.63	2.02	2.58	3.64
K ₂ O	0.11	0.15	0.20	0.19	0.15	0.15
Na ₂ O	0.32	0.38	0.40	0.43	0.45	0.49
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol.	5.2	4.9	5.2	5.4	5.7	5.7
Mg/Ca	1.2	1.4	1.5	1.7	1.3	1.1
Na/T %	18.9	19.4	19.8	19.9	19.1	20.1

ANNEXE 2

METHODOLOGIE ANALYTIQUE

Méthodologie analytique utilisée pour cette expérimentation par
le laboratoire de chimie des sols à l'ORSTOM - Nouméa.

1. LE SOL :

Les échantillons ont été séchés à l'air. Un triage manuel a été nécessaire pour retirer les cristaux de gypse supérieurs à 2 mm. Les échantillons ont été tamisés à 2 mm, sur une passoire (trous ronds).

2. LES EXTRAITS :

Toutes les extractions ont été faites sur le sol séché à l'air. Un blanc a été préparé pour chaque type d'extrait, le traitement a été identique à celui des échantillons.

2.1. Extraits aqueux : 1/2, 1/5, 1/10, pâte saturée.

2.1.1. 1/2, 1/5, 1/10.

Les extractions ont été réalisées sur une prise d'échantillon de 50g, avec de l'eau bidéminéralisée ($\tau \leq 15 \mu S \text{ cm}^{-1}$), à l'aide d'un agitateur va et vient (vitesse 75 coups/minute) pendant une heure. Les échantillons ont ensuite été centrifugés pendant 20 minutes à la vitesse de 2000 tours/mn.

2.1.2. pâte saturée.

L'extrait a été réalisé à partir de 100 g de sol. La saturation a été effectuée avec de l'eau bidéminéralisée. L'extrait a été laissé au repos, dans une enceinte saturée en vapeur d'eau, pendant 24 heures afin de s'assurer de l'état d'équilibre sol/solution. La solution a été recueillie par filtration sur bécber, à la trompe à vide ($p \approx 30 \text{ mm Hg}$).

Les mesures de pH d'alcalinité et de conductivité ont été exécutées immédiatement après les extractions (quelques échantillons ont dû être filtrés avant d'effectuer ces déterminations).

Après séparation de la solution, les échantillons ont été séchés à l'air, puis retamisés à 2 mm et de nouveau homogénéisés.

2.2. Extraits en milieu non aqueux :

La méthode utilisée est celle décrite par B.M. Tucker (1985) in : Laboratory procedures for soluble salts and exchangeable cations in soils. CSIRO Div. Soils tech. Pap., 47 p.

Un blanc a été préparé pour chaque type de solvant et a été traité comme les échantillons,

Solvants :

E : Ethanol	70 %	Eau	30 %
G : Ethylène glycol	10 %	Ethanol	90 %
K : Ethylène glycol	75 %	Ethanol	25 %
Y : Glycérol	20 %	Eau	80 %

Réactifs utilisés :

Ethanol P.A. 96 %
Ethylène glycol (Ethane 1-2 diol) P.A. 99,5 %
Glycérol P.A. 87 %

Les extractions ont été effectuées sur 10 g de sol séché à l'air et tamisé à 2 mm (passoire).

Deux extractions ont été faites avec la solution E (ethanol/eau), l'une de ces deux extractions a été suivie d'une extraction par la solution Y (glycérol/eau).

Les extractions ont été faites selon la procédure suivante :

<u>Solvant</u>	<u>Agitation</u>	<u>Centrifugation</u>	<u>Vitesse</u>
E	1 h	10 mn	2500 t/mn
G et K	2 h	20 mn	"
Y	1 h	20 mn	"

L'alcalinité des extraits a été mesurée immédiatement après l'extraction.

Les bases échangeables ont été extraites directement sur le culot de centrifugation.

3. LES BASES ECHANGEABLES :

Les bases échangeables ont été extraites sur le sol brut et sur le sol après extraction des sels par l'eau (pâte saturée, extrait au 1/2, 1/5, 1/10) et par les solvants (E, E suivi de Y, G et K).

3.1. Extraction par l'acétate d'ammonium :

Réactif : solution molaire d'acétate d'ammonium à pH 10.

Prise d'échantillon : 10 g.

Méthode :
Nous avons opéré par 5 extractions successives, dans le rapport sol/solution au 1/6 pour la première extraction puis au 1/5 pour les 3 extractions suivantes et enfin au 1/4. Les extractions ont été réalisées dans des béchers, l'agitation intermitente est faite manuellement. Le temps de contact est de une nuit pour la première extraction et de une heure pour les suivantes. La solution est recueillie après décantation (afin de retenir le sol dans le bécher, pour les extractions suivantes) et filtrée.

3.2. Extraction par le chlorure d'ammonium :

Réactif :
a/ Solution molaire de chlorure d'ammonium en milieu éthanol à 63 %, à pH 7.0.

b/ Solution 0.05 mole/l de chlorure d'ammonium en milieu éthanol à 63 %, à pH 7.0.

Prise d'échantillon : 5 g.

Méthode :
Nous avons opéré par 5 extractions successives, avec la solution molaire de chlorure d'ammonium, dans le rapport sol/solution au 1/6, suivies d'un lavage avec la solution 0,05 mole/l de chlorure d'ammonium, dans le rapport sol/solution au 1/4. Les extractions ont été réalisées dans des tubes de centrifugeuse de 100 ml, l'agitation a été de 10 minutes, sur un agitateur "va et vient", à la vitesse de 75 coups/mn. La suspension a été centrifugée pendant 10 minutes, à la vitesse de 2000 t/mn.

Note : Dans le cas des échantillons dont les sels ont été préalablement extraits par des solvants, l'extraction des bases a été faite directement sur le culot de centrifugation (10 g de sol, dans des pots de 250 ml), en conservant le rapport sol/solution au 1/6.

4. LES DOSAGES :

4.1. Dosages des cations :

Les cations ont été dosés par spectométrie d'absorption atomique.

4.1.1. Extraits aqueux.

Toutes les solutions ont été filtrées sur membrane (diamètre des pores 0,45 μ m).

Les extraits ont été dilués au 1/2 avec une solution d'acide perchlorique et de lanthane, de façon à obtenir un milieu final à 2 % d'acide perchlorique et 1 % de lanthane.

4.1.2. Extraits en milieu non aqueux.

Toutes les solutions ont été filtrées sur préfiltre en fibre de verre.

Une aliquote a ensuite été évaporée à sec. Le résidu d'évaporation a été traité par l'eau régale pour détruire les solvants et matières organiques résiduels. Les sels ont été dissous par une solution d'acide chlorhydrique à 1 %. Les solutions ont ensuite été diluées au 1/2. Le milieu final contenait 2 % d'acide perchlorique et 1 % de lanthane.

4.1.3. Extraits de bases échangeables.

Une aliquote a été évaporée à sec, puis le résidu repris par l'eau de Lefort (deux volumes d'acide nitrique - un volume d'acide chlorhydrique) pour détruire les matières organiques et éliminer les sels ammoniacaux résiduels. Les sels ont alors été dissous par une solution d'acide perchlorique dilué.

Le milieu final contenait 2 % d'acide perchlorique et 1 % de lanthane.

Note : Toutes les dilutions nécessaires ont été faites dans un milieu à 2 % d'acide perchlorique à 1 % de lanthane.

4.2. Dosages des anions :

4.2.1. Extraits aqueux.

- Bicarbonates et Carbonates éventuels
Mesure alcalimétrique au titroprocesseur
- Chlorures
Mesure potentiométrique avec une électrode d'argent (titroprocesseur) ou par colorimétrie à l'autoanalyseur : méthode au Thiocyanate mercurique (méthode utilisée lorsque le volume de solution à analyser était faible).
- Sulfates
Mesure turbidimétrique à l'autoanalyseur.

4.2.2. Extraits non aqueux.

- Bicarbonates et carbonates éventuels
Mesure alcalimétrique au titroprocesseur. L'électrode de référence utilisée était une électrode double fonction dont l'électrolyte interne était une solution mixte (2 volumes d'une solution de nitrate de sodium à 12,5 g/l en milieu acétone à 25 %, et un volume de solvant). La solution mixte a également été utilisée pour la titration : deux volumes de solution mixte pour un volume d'échantillon.
- Chlorures
Mesure potentiométrique avec une électrode d'argent. L'électrode de référence était un électrode double fonction dont l'électrolyte interne était une solution mixte (2 volumes d'une solution de nitrate de sodium à 12,5 g/l en milieu nitrique à 0,5 %/--, et un volume de solvant). La solution mixte a aussi été utilisée pour le dosage : deux volumes de solution mixte pour 1 volume d'échantillon.
- Sulfates
Le dosage des sulfates a été effectué par turbidimétrie, à l'autoanalyseur, à partir de la solution chlorhydrique à 1 % préparée pour le dosage des cations.

4.2.3. Bases échangeables.

- Chlorures
Les chlorures n'ont été dosés que dans les extraits acétate, par potentiométrie, avec une électrode d'argent.
- Sulfates.
Mesures effectuées par turbidimétrie à l'autoanalyseur.

ANNEXE 3

RESULTATS ANALYTIQUES

Résultats expérimentaux analytiques complets et détaillés

Les résultats des extractions concernant les cations et les anions sont exprimés en milliéquivalents % (mē %)

τ = La résistivité est exprimée en milliSiemens (mS)

$\Sigma+$ = Somme des cations

$\Sigma-$ = Somme des anions

M = Moyenne des résultats

E. T. = Ecart type des résultats

SOMMAIRE

PREMIERE PARTIE : EXTRACTION DES SELS SOLUBLES :

PAGE

RESULTATS DETAILLES

57-60	Agent d'extraction : EAU
57	Pâte saturée
58	Rapport sol/eau : 1/2
59	Rapport sol/eau : 1/5
60	Rapport sol/eau : 1/10
61-64	RESULTATS SYNTHETIQUES - Moyennes uniquement
61	Les résultats correspondent à différents agents d'extraction
61	A - EAU Pâte saturée B - EAU Rapport sol/eau : 1/2 C - EAU Rapport sol/eau : 1/5 D - EAU Rapport sol/eau : 1/10 Rapport sol/solution : 1/10
62	E - ETHANOL (70%) - EAU (30%) F - ETHANOL - GLYCEROL (17%) - EAU (83%) lavage éthanol suivi d'un lavage au glycerol
63	G - GLYCEROL (17%) - EAU (83%) H - GLYCOL - ETHANOL (Rapport 1/9) I - GLYCOL - ETHANOL (Rapport 3/1)
64	Na ⁺ soluble Cl ⁻ soluble Rapport comparatif : (Na ⁺ - Cl ⁻)% / Na ⁺

EXTRAIT S

1

0,24

0,03

0,04

0,01

0,10

0,18

3

0,97

0,22

0,36

0,01

1,46

2,05

1,57

1,47

0,10

5

6,41

1,15

2,05

0,01

5,15

8,36

7,79

6,12

1,67

6

6,50

1,19

2,15

0,01

4,64

7,99

7,15

5,25

1,90

7*

9,26

2,92

3,90

0,01

3,94

10,77

10,75

4,10

6,65

11,45

3,21

5,29

0,01

5,91

14,41

14,98

5,75

8,85

0,38

9*

9,99

2,86

4,03

0,01

3,97

10,87

11,34

4,53

6,81

12,72

3,06

4,43

0,01

5,35

12,82

12,91

5,05

7,48

0,38

11

7,63

1,30

2,03

0,01

3,73

7,07

6,72

4,57

2,15

12

6,42

0,80

1,21

0,01

2,97

4,99

4,52

2,99

1,53

EXTRAIT 1/2	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO4	HCO3
1	0,09	0,22	0,32	0,04	0,17	0,75	0,08	0,01	0,07	
3	0,78	0,12	0,20	0,01	1,40	1,73	1,59	1,13	0,46	
		0,11	0,18	0,01	1,39	1,69	1,56	1,14	0,41	0,01
		0,10	0,16	0,01	1,39	1,66	1,52	1,15	0,36	0,01
M		0,11	0,18	0,01	1,39	1,69	1,56	1,14	0,41	0,01
E.T.		0,01	0,02	0,00	0,01	0,04	0,04	0,01	0,05	0,00
5	2,95	0,55	1,20	0,01	4,24	6,00	6,08	4,66	1,42	
	2,96	0,61	1,21	0,01	4,18	6,01	6,02	4,67	1,35	
		0,60	1,20	0,01	4,25	6,06	6,09	4,69	1,40	
	2,99	0,60	1,18	0,01	4,39	6,22	6,18	4,74	1,44	
M	2,97	0,59	1,20	0,01	4,27	6,07	6,09	4,69	1,40	
E.T.	0,02	0,03	0,01	0,00	0,09	0,10	0,07	0,04	0,04	
6	3,16	0,70	1,43	0,01	4,50	6,64	6,82	4,64	2,18	
	3,29	0,73	1,50	0,01	4,56	6,80	6,87	4,76	2,11	
		0,73	1,45	0,01	4,58	6,77	6,88	4,75	2,13	
		0,76	1,42	0,01	4,67	6,85	6,95	4,86	2,09	
M	3,23	0,73	1,45	0,01	4,58	6,77	6,88	4,75	2,13	
E.T.	0,09	0,02	0,04	0,00	0,07	0,09	0,05	0,09	0,04	
7	6,52	5,94	5,93	0,02	5,56	17,45	17,25	3,63	13,62	
	5,71	6,18	5,73	0,02	5,76	17,69	17,91	3,71	14,20	
		6,31	5,29	0,02	5,40	17,52	17,51	3,67	13,83	0,01
	5,94	6,81	5,70	0,03	4,89	17,43	17,35	3,68	13,66	0,01
M	6,06	6,31	5,66	0,02	5,40	17,52	17,51	3,67	13,83	
E.T.	0,42	0,37	0,27	0,01	0,37	0,12	0,29	0,03	0,26	
9	6,56	5,88	6,01	0,01	6,02	17,92	17,80	3,69	14,11	
	5,78	5,25	5,40	0,02	5,95	16,62	17,36	3,76	13,60	
		5,87	5,75	0,02	5,96	17,26	18,01	3,74	14,25	0,02
	6,10	6,47	5,85	0,02	4,88	17,22	18,82	3,76	15,04	0,02
M	6,15	5,87	5,75	0,02	5,70	17,26	18,00	3,74	14,25	
E.T.	0,39	0,50	0,26	0,00	0,55	0,53	0,61	0,03	0,60	
11	3,10	0,71	1,23	0,01	4,34	6,29	6,16	3,79	2,18	0,19
	2,86	0,73	1,28	0,01	4,26	6,28	6,19	3,81	2,16	0,22
		0,73	1,25	0,01	4,36	6,35	6,21	3,81	2,19	0,21
	2,94	0,74	1,23	0,02	4,49	6,48	6,25	3,82	2,22	0,21
M	2,97	0,73	1,25	0,01	4,36	6,35	6,20	3,81	2,19	0,21
E.T.	0,12	0,01	0,02	0,01	0,10	0,09	0,04	0,01	0,03	0,01
12	2,34	0,40	0,70	0,01	3,42	4,53	4,49	2,66	1,60	0,23
		0,40	0,68	0,01	3,50	4,59	4,58	2,68	1,66	0,24
	2,26	0,40	0,65	0,01	3,58	4,64	4,66	2,70	1,71	0,25
M	2,30	0,40	0,68	0,01	3,50	4,59	4,58	2,68	1,66	0,24
E.T.	0,06	0,00	0,03	0,00	0,08	0,06	0,09	0,02	0,06	0,01

EXTRAIT 1/5	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	0,04	0,17	0,24	0,06	0,23	0,70	0,11	0,03	0,08	
3	0,39	0,24	0,39	0,02	1,56	2,21	1,65	1,12	0,53	
5	1,34	0,38	0,77	0,02	4,56	5,73	5,48	4,54	0,94	
	1,20	0,38	0,75	0,02	4,83	5,98	5,89	4,35	1,50	0,04
	1,23	0,44	0,80	0,02	5,29	6,55	5,92	4,51	1,41	
M	1,26	0,40	0,77	0,02	4,89	6,09	5,76	4,47	1,28	
E.T.	0,07	0,03	0,03	0,00	0,37	0,42	0,25	0,10	0,30	
6	1,44	0,48	1,00	0,02	4,95	6,45	6,72	4,60	2,12	
7	4,38	14,82	9,56	0,03	6,59	31,00	30,26	3,56	26,70	
	4,15	14,25	9,00	0,04	6,80	30,09	30,99	3,56	27,40	0,09
M	4,27	14,54	9,28	0,04	6,70	30,55	30,63	3,56	27,05	
E.T.	0,16	0,40	0,40	0,01	0,15	0,64	0,52	0,00	0,49	
9*	4,30	12,71	9,35	0,03	7,26	29,35	28,88	3,63	25,25	
	4,04	13,30	9,05	0,02	7,90	30,27	30,00	3,58	26,60	0,04
	3,40	9,60	7,58	0,03	7,66	24,87	23,99	3,69	20,30	
M 1	4,17	13,01	9,20	0,03	7,58	29,81	29,44	3,61	25,93	
M 2	3,91	11,87	8,66	0,03	7,61	28,16	27,62	3,63	24,05	
E.T. 1	0,18	0,42	0,21	0,01	0,45	0,65	0,79	0,04	0,95	
E.T. 2	0,46	1,99	0,95	0,01	0,32	2,89	3,20	0,06	3,32	
11	1,35	0,51	0,86	0,02	4,85	6,24	6,29	3,69	2,13	0,47
	1,29	0,54	0,91	0,02	4,99	6,46	6,34	3,57	2,27	0,50
M	1,32	0,53	0,89	0,02	4,92	6,35	6,32	3,63	2,20	
E.T.	0,04	0,02	0,04	0,00	0,10	0,16	0,04	0,08	0,10	
12	1,02	0,28	0,48	0,02	3,81	4,59	4,74	2,52	1,65	0,57

EXTRAIT 1/10	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	0,04	0,12	0,17	0,06	0,26	0,61	0,32	0,13	0,11	0,08
3	0,21	0,20	0,34	0,02	1,55	2,11	1,49	0,88	0,51	0,10
5	0,66	0,38	0,78	0,03	4,78	5,97	5,77	4,28	1,42	0,07
	0,62	0,39	0,77	0,01	4,82	5,99	5,87	4,32	1,55	0,01
M	0,64	0,39	0,78	0,02	4,80	5,98	5,82	4,30	1,49	0,04
E.T.	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,07	0,03	0,09	0,04
6	0,74	0,37	0,76	0,03	5,12	6,28	6,56	4,39	2,09	0,08
7	3,50	29,92	13,05	0,05	6,98	50,00	49,86	3,49	46,30	0,07
	3,29	28,50	12,40	0,05	7,41	48,36	50,42	3,52	46,90	0,01
M	3,40	29,21	12,73	0,05	7,20	49,18	50,14	3,51	46,60	0,04
E.T.	0,15	1,00	0,46	0,00	0,30	1,16	0,40	0,02	0,42	0,04
9	2,84	17,32	11,22	0,04	7,71	36,29	34,86	3,56	31,22	0,08
	2,61	16,90	10,60	0,04	7,90	35,44	36,58	3,59	32,90	0,09
	2,67	18,60	11,10	0,04	8,21	37,95	36,19	3,68	32,40	0,11
M	2,71	17,61	10,97	0,04	7,94	36,56	35,88	3,61	32,17	0,09
E.T.	0,12	0,89	0,33	0,00	0,25	1,28	0,90	0,06	0,86	0,02
11	0,73	0,44	0,77	0,02	5,29	6,52	6,77	3,53	2,35	0,89
	0,69	0,50	0,80	0,02	5,68	7,00	6,73	3,56	2,27	0,90
	0,75	0,67	0,91	0,03	6,13	7,74	7,09	3,77	2,28	1,04
M	0,72	0,54	0,83	0,02	5,70	7,09	6,86	3,62	2,30	0,94
E.T.	0,03	0,12	0,07	0,01	0,42	0,61	0,20	0,13	0,04	0,08
12	0,58	0,25	0,43	0,02	4,18	4,88	5,16	2,43	1,69	1,04

A EAU - pâte saturée										
HORIZON	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	0,24	0,03	0,04	0,01	0,10	0,18				
3	0,97	0,22	0,36	0,01	1,46	2,05	1,57	1,47	0,10	
5	6,41	1,15	2,05	0,01	5,15	8,36	7,79	6,12	1,67	
6	6,50	1,19	2,15	0,01	4,64	7,99	7,15	5,25	1,90	
7*	9,26	2,92	3,90	0,01	3,94	10,77	10,75	4,10	6,65	
	11,45	3,21	5,29	0,01	5,91	14,41	14,98	5,75	8,85	0,38
9*	9,99	2,86	4,03	0,01	3,97	10,87	11,34	4,53	6,81	
	12,72	3,06	4,43	0,01	5,35	12,82	12,91	5,05	7,48	0,38
11	7,63	1,30	2,03	0,01	3,73	7,07	6,72	4,57	2,15	
12	6,42	0,80	1,21	0,01	2,97	4,99	4,52	2,99	1,53	

B EAU - rapport sol/eau : 1/2										
HORIZON	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	0,09	0,22	0,32	0,04	0,17	0,75	0,08	0,01	0,07	
3	0,78	11,00	0,18	0,01	1,39	1,69	1,56	1,14	0,41	0,01
5	2,97	0,59	1,20	0,01	4,27	6,07	6,09	4,69	1,40	
6	3,23	0,73	1,45	0,01	4,58	6,77	6,88	4,75	2,13	
7	6,06	6,31	5,66	0,02	5,40	17,52	17,51	3,67	13,83	0,01
9	6,15	6,87	5,75	0,02	5,70	17,26	18,00	3,74	14,25	0,02
11	2,97	0,73	1,25	0,01	4,36	6,35	6,20	3,81	2,19	0,21
12	2,30	0,40	0,68	0,01	3,50	4,59	4,58	2,68	1,66	0,24

C EAU - rapport sol/eau : 1/5										
HORIZON	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	0,04	0,17	0,24	0,06	0,23	0,70	0,11	0,03	0,08	
3	0,39	0,24	0,39	0,02	1,56	2,21	1,65	1,12	0,53	
5	1,44	0,48	1,00	0,02	4,95	6,45	6,72	4,60	2,12	
6	1,44	0,48	1,00	0,02	4,95	6,45	6,72	4,60	2,12	
7	4,27	14,54	9,28	0,04	6,70	30,55	30,63	3,56	27,05	0,09
9	3,91	11,87	8,66	0,03	7,61	28,16	27,62	3,63	24,05	0,04
11	1,32	0,53	0,89	0,02	4,92	6,35	6,32	3,63	2,20	0,50
12	1,02	0,28	0,48	0,02	3,81	4,59	4,74	2,52	1,65	0,57

D EAU - rapport sol/eau : 1/10										
HORIZON	τ	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	0,04	0,12	0,17	0,06	0,26	0,61	0,32	0,13	0,11	0,08
3	0,21	0,20	0,34	0,02	1,55	2,11	1,49	0,88	0,51	0,10
5	0,64	0,39	0,78	0,02	4,80	5,98	5,82	4,30	1,49	0,04
6	0,74	0,37	0,76	0,03	5,12	6,28	6,56	4,39	2,09	0,08
7	3,40	29,21	12,73	0,05	7,20	49,18	50,14	3,51	46,60	0,04
9	2,71	17,61	10,97	0,04	7,94	36,56	35,88	3,61	32,17	0,09
11	0,72	0,54	0,83	0,02	5,70	7,09	6,86	3,62	2,30	0,94
12	0,58	0,25	0,43	0,02	4,18	4,88	5,16	2,43	1,69	1,04

E - ETHANOL - rapport sol/solution : 1/10

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Σ+	Σ-	Cl	SO4	HCO3
1	0,03	0,09	0,00	0,10	0,22	0,01	0,00	0,01	0,00
3	0,03	0,05	0,00	1,06	1,14	1,05	1,00	0,02	0,03
5	0,11	0,32	0,06	3,77	4,26	4,30	4,19	0,11	0,00
6	0,10	0,31	0,01	3,82	4,24	4,37	4,28	0,07	0,02
7	0,11	0,27	0,04	3,31	3,73	3,57	3,55	0,02	0,00
9	0,21	0,35	0,02	3,19	3,77	3,64	3,57	0,07	0,00
11	0,17	0,35	0,02	3,50	4,04	3,58	3,52	0,06	0,00
12	0,07	0,17	0,01	2,36	2,61	2,51	2,44	0,07	0,00

F - ETHANOL - GLYCEROL - rapport sol/solution : 1/10

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Σ+	Σ-	Cl	SO4	HCO3
1	0,15	0,40	0,04	0,25	0,84	0,11	0,00	0,11	0,00
3	0,17	0,64	0,02	0,66	1,49	0,53	0,00	0,51	0,02
5	0,12	0,51	0,02	1,25	1,90	1,84	0,38	1,46	0,00
6	0,13	0,73	0,02	1,81	2,69	2,46	0,40	2,06	0,00
7	14,09	10,34	0,03	4,02	28,48	27,82	0,00	27,82	0,00
9	9,02	8,76	0,03	4,84	22,65	19,23	0,00	19,22	0,01
11	0,16	0,35	0,01	2,58	3,10	2,63	0,34	1,82	0,47
12	0,11	0,26	0,01	2,56	2,94	2,04	0,00	1,37	0,67

G - GLYCEROL - rapport sol/solution : 1/10

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Σ+	Σ-	Cl	SO4	HCO3
1	0,10	0,31	0,04	0,37	0,82	0,08	0,00	0,05	0,03
3	0,18	0,65	0,03	1,62	2,48	1,64	1,08	0,51	0,05
5	0,24	0,81	0,03	4,87	5,95	5,82	4,30	1,51	0,01
6	0,23	0,79	0,03	5,15	6,20	6,38	4,40	1,98	0,00
7	20,98	12,18	0,05	6,71	39,92	41,32	3,55	37,74	0,03
9	12,18	10,18	0,04	7,76	30,16	28,46	3,60	24,81	0,05
11	0,54	1,00	0,04	5,36	6,94	7,02	3,63	2,45	0,94
12	0,25	0,54	0,02	4,59	5,40	4,66	2,46	1,61	0,59

H - ETHANOL - GLYCOL 9/1 - rapport sol/solution : 1/10

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO4	HCO3
1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
3	0,01	0,03	0,00	0,80	0,84	0,84	0,83	0,01	0,00
5	0,01	0,22	0,01	3,62	3,86	3,89	3,88	0,01	0,00
6	0,02	0,26	0,03	3,79	4,10	4,00	3,99	0,01	0,00
7	0,00	0,18	0,01	2,99	3,18	3,26	3,25	0,01	0,00
9	0,09	0,31	0,01	2,71	3,12	3,29	3,28	0,01	0,00
11	0,11	0,30	0,01	2,97	3,39	3,22	3,20	0,02	0,00
12	0,13	0,17	0,01	2,13	2,44	2,39	2,38	0,01	0,00

I - ETHANOL - GLYCOL 1/3 - rapport sol/solution : 1/10

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	Σ^-	Cl	SO4	HCO3
1	0,00	0,02	0,00	0,07	0,09	0,04	0,00	0,02	0,02
3	0,00	0,01	0,00	1,04	1,05	1,10	1,04	0,02	0,04
5	0,02	0,18	0,02	4,15	4,37	4,50	4,06	0,43	0,01
6	0,05	0,34	0,00	4,39	4,78	4,99	4,15	0,83	0,01
7	2,30	2,36	0,02	4,44	9,12	8,44	3,40	5,03	0,01
9	0,62	0,99	0,00	4,16	5,77	5,57	3,53	2,01	0,03
11	0,06	0,28	0,00	3,80	4,14	4,20	3,45	0,66	0,09
12	0,04	0,11	0,01	2,69	2,85	2,90	2,34	0,47	0,09

Na+ soluble extrait par différents traitements

EXTRAIT HORIZON	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0,10	0,17	0,23	0,26	0,10	0,25	0,37	0,01	0,07
3	1,46	1,39	1,56	1,55	1,06	0,66	1,62	0,80	1,04
5	5,15	4,27	4,95	4,80	3,77	1,25	4,87	3,62	4,15
6	4,64	4,58	4,95	5,12	3,82	1,81	5,15	3,79	4,39
7	3,94	5,40	6,70	7,20	3,31	4,02	6,71	2,99	4,44
9	3,97	5,70	7,61	7,94	3,19	4,84	7,76	2,71	4,16
11	3,73	4,36	4,92	5,70	3,50	2,58	5,36	2,97	3,80
12	2,97	3,50	3,81	4,18	2,36	2,56	4,59	2,13	2,69

Cl- soluble extrait par différents traitements

EXTRAIT HORIZON	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		0,01	0,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,47	1,14	1,12	0,88	1,00	0,00	1,08	0,83	1,04
5	6,12	4,69	4,60	4,30	4,19	0,38	4,30	3,88	4,06
6	5,25	4,75	4,60	4,39	4,28	0,40	4,40	3,99	4,15
7	4,10	3,67	3,56	3,51	3,55	0,00	3,55	3,25	3,40
9	4,53	3,74	3,63	3,61	3,57	0,00	3,60	3,28	3,53
11	4,57	3,81	3,63	3,62	3,52	0,34	3,63	3,20	3,45
12	2,99	2,68	2,52	2,43	2,44	0,00	2,46	2,38	2,34

Rapport entre Na+ et Cl- des différents extraits : (Na+ - Cl-)% / Na+

EXTRAIT HORIZON	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	100,00	94,12	86,96	50,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3	-0,68	17,99	28,21	43,23	5,66	100,00	33,33	-3,75	0,00
5	-18,83	-9,84	7,07	10,42	-11,14	69,60	11,70	-7,18	2,17
6	-13,15	-3,71	7,07	14,26	-12,04	77,90	14,56	-5,28	5,47
7	-4,06	32,04	46,87	51,25	-7,25	100,00	47,09	-8,70	23,42
9	-14,11	34,39	52,30	54,53	-11,91	100,00	53,61	-21,03	15,14
11	-22,52	12,61	26,22	36,49	-0,57	86,82	32,28	-7,74	9,21
12	-0,67	23,43	33,86	41,87	-3,39	100,00	46,41	-11,74	13,01

SOMMAIRE

DEUXIEME PARTIE : EXTRACTION DES BASES ECHANGEABLES :

PAGE

RESULTATS DETAILLES

66	SOL BRUT
67-70	APRES EXTRACTION DES SELS SOLUBLES Agent d'extraction : EAU
67	Pâte saturée
68	Rapport sol/eau : 1/2
69	Rapport sol/eau : 1/5
70	Rapport sol/eau : 1/10
71-75	RESULTATS SYNTHETIQUES - Moyennes uniquement
71	A - SOL BRUT
71-75	Les résultats correspondent à différents agents d'extraction
71	B - EAU Pâte saturée
	C - EAU Rapport sol/eau : 1/2
	D - EAU Rapport sol/eau : 1/5
72	E - EAU Rapport sol/eau : 1/10
	Rapport sol/solution : 1/10
	F - ETHANOL (70%) - EAU (30%)
	G - ETHANOL - GLYCEROL (17%) - EAU (83%) lavage éthanol suivi d'un lavage au glycerol
73	H - GLYCEROL (17%) - EAU (83%)
	I - GLYCOL - ETHANOL (Rapport 1/9)
	J - GLYCOL - ETHANOL (Rapport 3/1)
74	Ca ⁺⁺ échangeable SO ₄ ⁻⁻ échangeable (Ca ⁺⁺) - (SO ₄ ⁻⁻) échangeable
75	Mg ⁺⁺ échangeable Na ⁺ échangeable Na ⁺ échangeable Acetate (aqueux) Cl ⁻ échangeable Acetate (aqueux) (Na ⁺ - Cl ⁻) Acetate (aqueux) (Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) - (SO ₄ ⁻⁻ + Cl ⁻)

BRUT	Ca		Mg		K		Na		SULFATES		CHLORURE	
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	ACETATE
1	13,10	13,80	15,80	15,95	0,90	1,00	0,63	0,71	0,31	0,13		
	12,10	13,60	15,70	15,20	0,85	0,89	0,64	0,64				
	10,80		12,60		0,78		0,67					
	12,00		14,70		0,84		0,65					
M	12,00	13,70	14,70	15,58	0,84	0,95	0,65	0,68	0,31	0,13		
E.T.	0,94	0,14	1,49	0,53	0,05	0,08	0,02	0,05				
3	12,10	12,60	17,10	17,40	0,16	0,07	4,20	4,17				
	11,20	12,60	16,30	16,90	0,10	0,07	3,98	4,31	0,69	0,80	0,92	
	11,40		15,50		0,08		4,00		0,85			
	13,00		16,30		0,11		4,06					
M	11,93	12,60	16,30	17,15	0,11	0,07	4,06	4,24	0,77	0,80	0,92	
E.T.	0,81	0,00	0,65	0,35	0,03	0,00	0,10	0,10	0,11			
5	13,80	13,65	24,10	29,65	0,07	0,08	8,40	8,75				
	12,70	13,50	24,10	24,30	0,09	0,07	8,50	8,66	1,52	1,35	3,71	
	12,40		22,40		0,08		8,20		1,65			
	13,00		23,50		0,08		8,37		1,47			
M	12,98	13,58	23,53	26,98	0,08	0,08	8,37	8,71	1,55	1,35	3,71	
E.T.	0,60	0,11	0,80	3,78	0,01	0,01	0,12	0,06	0,09			
6	14,10	14,40	25,70	26,30	0,10	0,11	8,80	8,80	1,68			
	12,60	13,80	24,60	25,70	0,09	0,11	8,55	8,92	1,73	2,03	3,76	
	13,20		25,10		0,09		8,89		1,95			
	13,10		24,50		0,10		8,80		1,78			
	12,90		24,50		0,14		9,02		1,85			
	12,50		24,50		0,11		9,05		1,85			
	13,10		22,70		0,09		8,48		1,63			
	13,07	14,10	24,51	26,00	0,10	0,11	8,80	8,86	1,78	2,03	3,76	
M	13,07	14,10	24,51	26,00	0,10	0,11	8,80	8,86	1,78	2,03	3,76	
E.T.	0,53	0,42	0,92	0,42	0,02	0,00	0,22	0,08	0,11			
7	21,50	100,00	25,20	25,70	0,15	0,15	8,10	8,14				
	20,10	92,00	24,40	24,90	0,15	0,09	7,72	8,09	8,66	75,35	3,15	
	18,70		23,40		0,11		7,82		7,70			
	20,10		24,30		0,14		7,88		8,32			
M	20,10	96,00	24,33	25,30	0,14	0,12	7,88	8,12	8,23	75,35	3,15	
E.T.	1,14	5,66	0,74	0,57	0,02	0,04	0,16	0,04	0,49			
9	19,50	51,50	28,00	28,80	0,18	0,21	9,30	9,43				
	18,10	60,60	27,20	27,70	0,15	0,17	8,83	9,25	3,96	40,73	3,12	
	17,40		26,70		0,19		9,24		3,30			
	18,30		27,30		0,17		9,12		3,47			
M	18,33	56,05	27,30	28,25	0,17	0,19	9,12	9,34	3,58	40,73	3,12	
E.T.	0,87	6,43	0,54	0,78	0,02	0,03	0,21	0,13	0,34			
11	22,70	38,40	29,30	33,40	0,12	0,14	8,90	9,08				
	21,90	38,60	29,50	33,50	0,11	0,14	8,74	9,02	2,17	2,57	2,57	
	19,60		26,90		0,13		8,84		1,80			
	21,40		28,60		0,12		8,83		1,86			
M	21,40	38,50	28,57	33,45	0,12	0,14	8,83	9,05	1,94	2,57	2,57	
E.T.	1,31	0,14	1,18	0,07	0,01	0,00	0,07	0,04	0,20			
12	21,10	49,40	23,70	29,30	0,11	0,11	7,62	7,86	1,76	1,78	1,78	
	20,50		23,70		0,14		8,50		1,65			
	20,80	49,40	23,70	29,30	0,13	0,11	8,06	7,86	1,71	1,78	1,78	
M	20,80	49,40	23,70	29,30	0,13	0,11	8,06	7,86	1,71	1,78	1,78	
E.T.	0,42		0,00		0,02		0,62		0,08			

PATE	Ca		Mg		K		Na		SULFATES		CHLORURE	
SATUREE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	ACETATE
1	13,50	14,70	16,90	16,60	0,74	0,93	0,64	0,70	0,05	0,16	0,18	
3	11,90	12,90	17,20	16,90	0,06	0,09	4,00	4,00	0,05	0,66	0,83	
5	13,50	13,80	24,70	26,80	0,11	0,17	8,10	8,10	0,97	1,56	3,79	
6	13,60	14,30	25,80	27,20	0,16	0,22	8,30	8,20	1,88	2,14	3,58	
	13,10		24,40		0,21		8,15		1,57			
M	13,35	14,30	25,10	27,20	0,19	0,22	8,23	8,20	1,73	2,14	3,58	
E.T.	0,35		0,99		0,04		0,11		0,22			
7	21,20	112,20	25,60	26,10	0,20	0,25	7,20	7,10	6,58	95,20	2,79	
	21,20		23,30		0,30		7,28		9,06			
	20,90		23,30		0,27		7,06		8,42			
M	21,10	112,20	24,07	26,10	0,26	0,25	7,18	7,10	8,02	95,20	2,79	
E.T.	0,17		1,33		0,05		0,11		1,29			
9	21,60	59,40	27,80	29,20	0,30	0,36	8,20	8,20	4,70	41,62	2,60	
	21,10		26,10		0,39		8,19		6,37			
	20,50		25,60		0,35		7,83		5,95			
M	21,07	59,40	26,50	29,20	0,35	0,36	8,07	8,20	5,67	41,62	2,60	
E.T.	0,55		1,15		0,05		0,21		0,87			
11	22,70	43,60	29,80	34,10	0,25	0,32	8,10	8,10	1,19	1,97	2,38	
12	21,70	47,50	23,50	29,60	0,19	0,27	6,60	6,90	0,69	1,56	1,56	

EXTRAIT 1/2	Ca		Mg		K		Na		SULFATES		CHLORURE	
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	ACETATE
1	12,20	13,70	16,20	15,50	0,86	0,81	0,60	0,60	0,11	0,24	0,00	
		14,50		15,80		0,86		0,64		0,69	0,00	
3	12,00	12,50	18,00	17,10	0,11	0,07	3,60	3,40	0,05	0,42	0,50	
5	12,90	13,30	24,00	27,80	0,16	0,14	6,70	6,80	0,86	1,05	2,06	
	12,70		21,40		0,13		6,20		0,76			
	12,90		22,70		0,16		6,66		0,33			
	13,00		21,30		0,13		5,93		0,49			
M	12,88	13,30	22,35	27,80	0,15	0,14	6,37	6,80	0,61	1,05	2,06	
E.T.	0,13		1,27		0,02		0,37		0,24			
6	13,40	13,60	26,90	29,30	0,21	0,20	7,00	6,70	1,13	1,31	1,99	
	12,80		23,80		0,19		6,44		1,08			
	12,60		23,40		0,25		6,73		1,09			
	14,20		24,10		0,14		6,47		0,65			
M	13,25	13,60	24,55	29,30	0,20	0,20	6,66	6,70	0,99	1,31	1,99	
E.T.	0,72		1,59		0,05		0,26		0,23			
7	22,90	97,90	21,50	21,20	0,23	0,23	4,50	4,60	6,85	77,52	1,24	
	22,30		19,60		0,22		4,46		6,58			
	22,50		18,80		0,18		4,23		8,19			
	25,50		19,80		0,18		4,29		6,88			
M	23,30	97,90	19,93	21,20	0,20	0,23	4,37	4,60	7,13	77,52	1,24	
E.T.	1,49		1,14		0,03		0,13		0,72			
9	22,30	50,20	26,20	27,60	0,30	0,34	6,40	5,60	4,16	30,54	1,20	
	24,50		22,80		0,31		5,21		4,46			
	25,40		22,60		0,35		5,22		4,85			
M	24,07	50,20	23,87	27,60	0,32	0,34	5,61	5,60	4,49	30,54	1,20	
E.T.	1,59		2,02		0,03		0,68		0,35			
11	22,30	42,30	27,70	34,60	0,30	0,29	6,40	6,60	0,81	1,51	1,23	
	23,70		27,20		0,28		6,79		0,16			
	23,40		26,00		0,22		6,14		0,60			
M	23,13	42,30	26,97	34,60	0,27	0,29	6,44	6,60	0,52	1,51	1,23	
E.T.	0,74		0,87		0,04		0,33		0,33			
12	21,00	45,80	23,10	30,90	0,25	0,24	5,50	5,60	0,48	1,01	0,89	

EXTRAIT	Ca		Mg		K		Na		SULFATES		CHLORURE	
1/5	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	ACETATE
1	12,50	14,10	16,70	15,60	0,85	88,00	0,58	0,55	0,47	0,11	0,00	
	12,80		15,00		0,83		0,59		0,05			
M	12,65	14,10	15,85	15,60	0,84	88,00	0,59	0,55	0,26	0,11		
E.T.	0,21		1,20		0,01		0,01		0,30			
3	11,30	12,20	16,60	16,80	0,13	0,08	2,50	2,90	0,16	0,26	0,00	
5	12,60	13,10	24,30	25,30	0,24	0,18	5,40	5,20	0,32	0,70	1,06	
	12,80		21,70		0,18		5,13		0,49			
	13,10		22,70		0,17		5,11					
	13,50		22,10		0,14		4,96		0,44			
M	13,00	13,10	22,70	25,30	0,18	0,18	5,15	5,20	0,42	0,70	1,06	
E.T.	0,39		1,14		0,04		0,18		0,09			
6	12,80	13,30	25,60	27,50	0,23	0,20	5,30	5,00	0,70	0,86	1,08	
7	26,00	88,30	17,00	17,40	0,31	0,30	2,50	2,60	5,71	61,20	0,73	
	29,10	93,10	16,60	17,50	0,28	0,35	2,61	2,78	7,25	64,64		
M	27,55	90,70	16,80	17,45	0,30	0,33	2,56	2,69	6,48	62,92	0,73	
E.T.	2,19	3,39	0,28	0,07	0,02	0,04	0,08	0,13	1,09	2,43		
9	26,50	47,10	19,50	20,60	0,38	0,40	3,40	3,40	3,78	19,73	0,65	
	26,80		18,50		0,33		3,29		3,38			
	28,90		19,40		0,42		3,51					
	28,20		20,80		0,31		3,57		3,76			
M	27,60	47,10	19,55	20,60	0,36	0,40	3,44	3,40	3,64	19,73	0,65	
E.T.	1,14		0,95		0,05		0,12		0,23			
11	28,10	42,80	26,80	37,00	0,30	0,31	5,00	5,20	0,05	0,86	0,71	
	23,10		27,20		0,27		5,35		0,76			
	24,10		27,60		0,36		5,20		0,75			
M	25,10	42,80	27,20	37,00	0,31	0,31	5,18	5,20	0,52	0,86	0,71	
E.T.	2,65		0,40		0,05		0,18		0,41			
12	22,40	46,60	24,10	29,90	0,26	0,24	4,70	4,70	0,26	0,60	0,48	

EXTRAIT	Ca		Mg		K		Na		SULFATES		CHLORURE	
1/10	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE
1	12,90	14,30	16,60	15,90	0,87	0,88	0,53	0,50	0,11	0,16	0,19	
3	11,20	12,40	16,60	16,80	0,08	0,08	3,00	2,70	0,21	0,32	0,00	
5	13,90	13,50	24,80	27,50	0,24	0,19	5,50	4,50	0,43	0,48	0,60	
	13,20		22,60		0,17		4,22		0,48			
M	13,55	13,50	23,70	27,50	0,21	0,19	4,86	4,50	0,46	0,48	0,60	
E.T.	0,49		1,56		0,05		0,91		0,04			
6	13,20	13,90	25,10	28,10	0,17	0,23	5,50	4,20	0,86	0,59	0,56	
7	27,70	85,80	17,70	14,50	0,29	0,27	2,70	1,60	7,40	60,52	0,48	
	34,00	89,70	13,20	13,70	0,35	0,29	1,72	1,59	7,78	52,16		
9	27,90	44,60	19,90	19,30	0,26	0,37	3,50	2,50	4,38	13,51	0,48	
	31,70		17,40		0,54		2,38		3,81			
	33,50		17,80		0,38		2,33		3,77			
11	23,90	44,00	29,90	35,90	0,26	0,37	5,50	4,30	0,54	0,59	0,50	
	24,10		26,80		0,36		4,09					
	25,10		27,80		0,39		4,22		0,16			
12	22,30	47,20	23,60	31,50	0,16	0,27	4,50	4,10	0,11	0,56	0,46	

A SOL BRUT

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4	
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER	ACETATE
1	12,00	13,70	14,70	15,50	0,84	0,95	0,65	0,68		0,31	0,13
3	11,93	12,60	16,30	17,15	0,11	0,07	4,06	4,24	0,92	0,77	0,80
5	12,98	13,58	23,53	26,98	0,08	0,08	8,37	8,71	3,71	1,55	1,35
6	13,07	14,10	24,51	26,00	0,10	0,11	8,80	8,86	3,76	1,78	2,03
7	20,10	96,00	24,33	25,30	0,14	0,12	7,88	8,12	3,15	8,23	75,35
9	18,33	56,05	27,30	28,25	0,17	0,19	9,12	9,34	3,12	3,58	40,73
11	21,40	38,50	28,57	33,45	0,12	0,14	8,83	9,05	2,57	1,94	2,57
12	20,80	49,40	23,70	29,30	0,13	0,11	8,06	7,86	1,78	1,71	1,78

B Après extraction des sels : pâte saturée - EAU

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4	
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER	ACETATE
1	13,50	14,70	16,90	16,60	0,74	0,93	0,64	0,70	0,18	0,05	0,16
3	11,90	12,90	17,20	16,90	0,06	0,09	4,00	4,00	0,83	0,05	0,66
5	13,50	13,80	24,70	26,80	0,11	0,17	8,10	8,10	3,79	0,97	1,56
6	13,35	14,30	25,10	27,20	0,19	0,22	8,23	8,20	3,58	1,73	2,14
7	21,10	112,20	24,07	26,10	0,26	0,25	7,18	7,10	2,79	8,02	95,20
9	21,07	59,40	26,50	29,20	0,35	0,36	8,07	8,20	2,60	5,67	41,62
11	22,70	43,60	29,80	34,10	0,25	0,32	8,10	8,10	2,38	1,19	1,97
12	21,70	47,50	23,50	29,60	0,19	0,27	6,60	6,90	1,56	0,69	1,56

C Après extraction des sels : Rapport sol/EAU : 1/2

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4	
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER	ACETATE
1	12,20	14,10	16,20	15,65	0,86	0,84	0,60	0,62	0,00	0,11	0,46
3	12,00	12,50	18,00	17,10	0,11	0,07	3,60	3,40	0,50	0,05	0,42
5	12,88	13,30	22,35	27,80	0,15	0,14	6,37	6,80	2,06	0,61	1,05
6	13,25	13,60	24,55	29,30	0,20	0,20	6,66	6,70	1,99	0,99	1,31
7	23,30	97,90	19,93	21,20	0,20	0,23	4,37	4,60	1,24	7,13	77,52
9	24,07	50,20	23,87	27,60	0,32	0,34	5,61	5,60	1,20	4,49	30,54
11	23,13	42,30	26,97	34,60	0,27	0,29	6,44	6,60	1,23	0,52	1,51
12	21,00	45,80	23,10	30,90	0,25	0,24	5,50	5,60	0,89	0,48	1,01

D Après extraction des sels : Rapport sol/EAU : 1/5

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4	
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER	ACETATE
1	12,65	14,10	15,85	15,60	0,84	0,88	0,59	0,55	0,00	0,26	0,11
3	11,30	12,20	16,60	16,80	0,13	0,08	2,50	2,90	0,00	0,16	0,26
5	13,00	13,10	22,70	25,30	0,18	0,18	5,15	5,20	1,06	0,42	0,70
6	12,80	13,30	25,60	27,50	0,23	0,20	5,30	5,00	1,08	0,70	0,86
7	27,55	90,70	16,80	17,45	0,30	0,33	2,56	2,69	0,73	6,48	62,92
9	27,60	47,10	19,55	20,60	0,36	0,40	3,44	3,40	0,65	3,64	19,73
11	25,10	42,80	27,20	37,00	0,31	0,31	5,18	5,20	0,71	0,52	0,86
12	22,40	46,60	24,10	29,90	0,26	0,24	4,70	4,70	0,48	0,26	0,60

E Après extraction des sels : Rapport sol/EAU : 1/10

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER
1	12,90	14,30	16,60	15,90	0,87	0,08	0,53	0,50	0,19	0,11
3	11,20	12,40	16,60	16,80	0,08	0,08	3,00	2,70	0,00	0,21
5	13,55	13,50	23,70	27,50	0,21	0,19	4,86	4,50	0,60	0,46
6	13,20	13,90	25,10	28,10	0,17	0,23	5,50	4,20	0,56	0,86
7	34,00	89,70	13,20	13,70	0,35	0,29	1,72	1,59	0,48	7,78
9	33,50	44,60	17,80	19,30	0,54	0,37	2,33	2,50	0,48	3,77
11	25,10	27,84	27,80	35,90	0,39	0,37	4,22	4,30	0,50	0,16
12	22,30	47,20	23,60	31,50	0,16	0,27	4,50	4,10	0,46	0,11

F Après extraction des sels : ETHANOL Rapport sol/solution : 1/10
Méthode TUCKER uniquement

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER
1	12,14		15,00		0,87		0,33			0,00
3	11,72		16,18		0,00		2,82			0,44
5	12,99		22,64		0,09		4,97			1,49
6	13,25		24,86		0,01		5,17			1,71
7	18,47		23,62		0,02		4,69			6,53
9	19,09		26,45		0,05		6,16			3,98
11	21,15		28,27		0,12		6,16			1,70
12	20,03		21,99		0,05		5,41			1,33

G Après extraction des sels : ETHANOL - GLYCEROL Rapport sol/solution : 1/10
Méthode TUCKER uniquement

HORIZON	Ca		Mg		K		Na		Cl	SO4
	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	TUCKER	ACETATE	ACETATE	TUCKER
1	12,59		15,53		0,81		0,12			0,00
3	11,72		16,64		0,01		2,09			0,00
5	13,02		23,80		0,00		3,22			0,00
6	13,35		24,68		0,00		2,90			0,30
7	32,99		14,12		0,00		0,94			6,61
9	30,91		19,28		0,00		1,48			3,55
11	23,05		28,32		0,00		2,96			0,07
12	22,81		22,77		0,08		2,73			0,07

H Après extraction des sels : GLYCEROL Rapport sol/solution : 1/10
— Méthode TUCKER uniquement

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4
1	12,70	15,33	0,74	0,20		0,00
3	11,59	16,01	0,00	2,13		0,00
5	13,02	23,22	0,00	3,88		0,22
6	13,35	24,32	0,00	3,83		0,22
7	32,53	11,85	0,00	1,05		5,08
9	30,63	17,47	0,02	1,81		3,30
11	22,73	27,16	0,00	3,66		0,37
12	21,92	21,99	0,00	3,24		0,22

I Après extraction des sels : ETHANOL - GLYCOL 9/1 Rapport sol/solution : 1/10
— Méthode TUCKER uniquement

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4
1	12,30	15,78	0,97	0,37		0,00
3	11,22	15,85	0,00	2,94		0,52
5	13,42	24,16	0,01	5,14		1,27
6	13,41	25,54	0,00	5,50		1,62
7	19,37	24,75	0,00	5,07		6,88
9	20,39	26,91	0,05	6,50		4,47
11	20,88	27,81	0,03	6,13		0,32
12	19,80	22,42	0,02	5,67		0,24

J Après extraction des sels : ETHANOL - GLYCOL 1/3 Rapport sol/solution : 1/10
— Méthode TUCKER uniquement

HORIZON	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4
1	13,13	15,62	0,89	0,46		0,00
3	12,66	17,14	0,02	3,05		0,44
5	13,38	23,66	0,04	4,87		1,14
6	13,53	25,03	0,01	5,05		1,40
7	22,04	22,06	0,01	3,54		6,88
9	22,41	27,13	0,09	5,69		4,35
11	21,59	28,55	0,05	5,94		1,35
12	21,26	23,08	0,02	5,38		1,00

Ca++ échangeable extrait par différents traitements

	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Tucker	Acétate	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)
HORIZON											
1	12,00	13,70	13,50	12,20	12,65	12,90	12,14	12,59	12,70	12,30	13,13
3	11,93	12,60	11,90	12,00	11,30	11,20	11,72	11,72	11,59	11,22	12,66
5	12,98	13,58	13,50	12,88	13,00	13,55	12,99	13,02	13,02	13,42	13,38
6	13,07	14,10	13,35	13,25	12,80	13,20	13,25	13,35	13,35	13,41	13,53
7	20,10	96,00	21,10	23,30	27,55	34,00	18,47	32,99	32,53	19,37	22,04
9	18,33	56,05	21,07	24,07	27,60	33,50	19,09	30,91	30,63	20,39	22,41
11	21,40	38,50	22,70	23,13	25,10	25,10	21,15	23,05	22,73	20,88	21,59
12	20,80	49,40	21,70	21,00	22,40	22,30	20,03	22,81	21,92	19,80	21,26

SO4-- résiduel dans l'extrait des bases échangeables par différents traitements

	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Tucker	Acétate	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)
HORIZON											
1	0,31	0,13	0,05	0,11	0,26	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,77	0,80	0,05	0,05	0,16	0,21	0,44	0,00	0,00	0,52	0,44
5	1,55	1,35	0,97	0,61	0,42	0,46	1,49	0,00	0,22	1,27	1,14
6	1,78	2,03	1,73	0,99	0,70	0,86	1,71	0,30	0,22	1,62	1,40
7	8,23	75,35	8,02	7,13	6,48	7,78	6,53	6,61	5,08	6,88	6,88
9	3,58	40,73	5,67	4,49	3,64	3,77	3,98	3,55	3,30	4,47	4,35
11	1,94	2,57	1,19	0,52	0,52	0,16	1,70	0,07	0,37	0,32	1,35
12	1,71	1,78	0,69	0,48	0,26	0,11	1,33	0,07	0,22	0,24	1,00

(Ca++) - (SO4--) dans l'extrait des bases échangeables par différents traitements

	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Tucker	Acétate	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)
HORIZON											
1	11,69	13,57	13,45	12,09	12,39	12,79	12,14	12,59	12,70	12,30	13,13
3	11,16	11,80	11,85	11,95	11,14	10,99	11,28	11,72	11,59	10,70	12,22
5	11,43	12,23	12,53	12,27	12,58	13,09	11,50	13,02	12,80	12,15	12,24
6	11,29	12,07	11,62	12,26	12,10	12,34	11,54	13,05	13,13	11,79	12,13
7	11,87	20,65	13,08	16,17	21,07	26,22	11,94	26,38	27,45	12,49	15,16
9	14,75	15,32	15,40	19,58	23,96	29,73	15,11	27,36	27,33	15,92	18,06
11	19,46	35,93	21,51	22,61	24,58	24,94	19,45	22,98	22,36	20,56	20,24
12	19,09	47,62	21,01	20,52	22,14	22,19	18,70	22,74	21,70	19,56	20,26

Mg++ échangeable extrait par différents traitements

	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Tucker	Acétate	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)	(Tu)
HORIZON											
1	14,70	15,50	16,90	16,20	15,85	16,60	15,00	15,53	15,33	15,78	15,62
3	16,30	17,15	17,20	18,00	16,60	16,60	16,18	16,64	16,01	15,85	17,14
5	23,53	26,98	24,70	22,35	22,70	23,70	22,64	23,80	23,22	24,16	23,66
6	24,51	26,00	25,10	24,55	25,60	25,10	24,86	24,68	24,32	25,54	25,03
7	24,33	25,30	24,07	19,93	16,80	13,20	23,62	14,12	11,85	24,75	22,06
9	27,30	28,25	26,50	23,87	19,55	17,80	26,45	19,28	17,47	26,91	27,13
11	28,57	33,45	29,80	26,97	27,20	27,80	28,27	28,32	27,16	27,81	28,55
12	23,70	29,30	23,50	23,10	24,10	23,60	21,99	22,77	21,99	22,42	23,08

Na⁺ échangeable extrait par différents traitements
Méthode TUCKER uniquement (Tu)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
HORIZON										
1	0,65	0,64	0,60	0,59	0,53	0,33	0,12	0,20	0,37	0,46
3	4,06	4,00	3,60	2,50	3,00	2,82	2,09	2,13	2,94	3,05
5	8,37	8,10	6,37	5,15	4,86	4,97	3,22	3,88	5,14	4,87
6	8,80	8,23	6,66	5,30	5,50	5,17	2,90	3,83	5,50	5,05
7	7,88	7,18	4,37	2,56	1,72	4,69	0,94	1,05	5,07	3,54
9	9,12	8,07	5,61	3,44	2,33	6,16	1,48	1,81	6,50	5,69
11	8,83	8,10	6,44	5,18	4,22	6,16	2,96	3,66	6,13	5,94
12	8,06	6,60	5,50	4,70	4,50	5,41	2,73	3,24	5,67	5,38

Na⁺ échangeable dans les différents extraits aqueux (Cl⁻) dans les différents extraits aqueux
Méthode Acétate uniquement

	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
HORIZON											
1	0,68	0,70	0,62	0,55	0,50			0,18	0,00	0,00	0,19
3	4,24	4,00	3,40	2,90	2,70		0,92	0,83	0,50	0,00	0,00
5	8,71	8,10	6,80	5,20	4,50		3,71	3,79	2,06	1,06	0,60
6	8,86	8,20	6,70	5,00	4,20		3,76	3,58	1,99	1,08	0,56
7	8,12	7,10	4,60	2,69	1,59		3,15	2,79	1,24	0,73	0,48
9	9,34	8,20	5,60	3,40	2,50		3,12	2,60	1,20	0,65	0,48
11	9,05	8,10	6,60	5,20	4,30		2,57	2,38	1,23	0,71	0,50
12	7,86	6,90	5,60	4,70	4,10		1,78	1,56	0,89	0,48	0,46

(Na⁺) - (Cl⁻) dans l'extrait aqueux des bases échangeables
Méthode Acétate uniquement

	A	B	C	D	E
HORIZON					
1	0,68	0,52	0,62	0,55	0,31
3	3,32	3,17	2,90	2,90	2,70
5	5,00	4,31	4,74	4,14	3,90
6	5,10	4,62	4,71	3,92	3,64
7	4,97	4,31	3,36	1,96	1,11
9	6,22	5,60	4,40	2,75	2,02
11	6,48	5,72	5,37	4,49	3,80
12	6,08	5,34	4,71	4,22	3,64

Somme des principales bases échangeables minorée des anions résiduels
[Ca++(Tu) + Mg++ (Tu) + Na+ (Ac)] - [SO4-- (Tu) + Cl- (Ac)]

Capacité d'échange
T

	A	B	C	D	E		
HORIZON						HORIZON	
1	27,07	30,87	28,91	28,79	29,70	1	36,20
3	30,78	32,22	32,85	30,64	30,29	3	34,40
5	39,96	41,54	39,36	39,42	40,69	5	42,10
6	40,90	41,34	41,52	41,62	41,08	6	46,50
7	41,17	41,46	39,46	39,83	40,53	7	41,60
9	48,27	47,50	47,85	46,26	49,55	9	46,10
11	54,51	57,03	54,95	56,27	56,54	11	46,20
12	48,87	49,85	48,33	50,46	49,43	12	40,00

Imprimé par le Centre ORSTOM
de NOUMEA
Décembre 1988

ORSTOM NOUMEA

