

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE D'OUTRE-MER

-----  
CENTRE DE FORT-LAMY  
-----

SECTION DE GEOLOGIE

RAPPORT DE STAGE REALISE

EN HOLLANDE DU 23 SEPTEMBRE AU 2 NOVEMBRE 1968

par G. MAGLIONE

Affecté au Centre de Fort-Lamy en Octobre 1966, ce premier séjour tchadien nous avait surtout permis de déterminer une approche méthodologique adaptée aux problèmes posés. Rapidement se révéla nécessaire une prise de contact avec des laboratoires spécialisés dans les problèmes de salinisation des sols et d'évaporites continentales avec tout le cortège de méthodes analytiques spécifiques.

Suscité par mon Directeur Scientifique, le Professeur H. FAURE, le principe de ce stage fut acquis après un échange de courrier entre le Centre de Fort-Lamy et la Direction de l'Institut pour l'amélioration et la mise en valeur des terres de Wageningen, dont un des membres, le Dr. Kruseman se chargea de mettre sur pied un programme de stages adapté aux problèmes que nous lui avions posé.

Réalisé du 23 septembre au 2 novembre 1968, ce stage se déroula en 3 parties.

A - du 23 septembre au 16 octobre.

Stage au laboratoire pédologique de l'Institut Royal pour les Pays Tropicaux d'Ansterdam, sous la Direction du Dr. M.A. Muller.

Objet : Techniques d'extraction de la phase soluble des sédiments très fortement salés.

Méthodes de dosage d'eaux fortement concentrées.

B - du 17 octobre au 26 octobre.

Stage au Laboratoire de Géochimie de l'Université d'Utrecht sous la direction du Dr. R.D. Schvilling.

Objet : Méthodes d'analyses diffractométriques qualitatives et quantitatives adaptées aux minéraux salins hydratés carbonatés sodiques.

C - du 28 octobre au 2 novembre.

Stage à l'Institut pour l'amélioration et la mise en valeur des terres de Wageningen.

Objet : Visites et discussions auprès de spécialistes des problèmes propres aux zones arides.

A - Stage au Laboratoire pédologique de l'Institut Royal

pour les Pays Tropicaux - Amsterdam

(22 septembre au 16 octobre 1968)

Directeur Général . . . . . : Dr. C. NAGTEGAAL  
Dr. Dpt Recherches Agricoles : Ing. H. Ph. HUFFNAGEL  
Chef du Laboratoire . . . . . : Ing. M.A. MULLER  
Analyste . . . . . : P. LIMBOURG.

o  
o o

Le but de ce stage, outre la mise au point de méthodes analytiques adaptées aux types de sédiments des salines du Kanem, était de comparer entre eux les différents types d'extraits de la phase soluble des sédiments et de déterminer leur influence sur la mise en solution des différents ions.

Vingt échantillons provenant de deux profils types de la saline de Liwa avaient été amenés avec nous. Etant donné le temps relativement court dont nous disposions, seule put être analysée la phase soluble de ces sédiments; en tant que géochimiste, c'est d'ailleurs l'élément qui nous intéresse au premier chef, puisqu'il constitue le premier stade de blocage des sels solubles, préalablement contenus dans la nappe phréatique.

Capacité d'échange et bases échangeables sont des données intéressantes à connaître, mais secondaires en regard du problème posé.

L'extraction de l'eau interstitielle par pressage hydraulique et son analyse n'a pu être réalisée faute d'avoir, d'une part les échantillons dans leur état originel d'humidité, d'autre part le matériel d'extraction adéquat.

Parmi les différents modes d'extraction proposés par les chercheurs, seuls ont pu être réalisés, faute de temps, les extrêmes : extraits saturés et extraits 1/10e. Les extraits 1/2 et 1/5 devaient être effectués après notre départ par M. P. Limburg qui, tout au long de notre stage, nous apporta une aide technique précieuse.

## I. Méthodes analytiques.

Chaque échantillon fut analysé en double, soit en tout 80 échantillons (40 extraits saturés et 40 extraits I/I0e). Sur chaque échantillon furent conduites les déterminations suivantes :

- pH.
- Conductivité.
- $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$ .
- $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .

Ont été également testés sur 10 échantillons  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  et silice soluble afin de connaître la teneur approximative de ces ions et de se rendre compte si leur non analyse pouvait être rendue responsable d'un éventuel mauvais équilibre des balances ioniques.

### I.1. Méthodes d'extraction.

Les sédiments ont été échantillonnés au tamis de 2 mm, maille carrée. Ils sont tout d'abord mis à l'étuve à 40°C pendant 24 heures.

#### I.1.1. Extraits saturés.

- Peser 100 g de terre et verser dans un bécher de 400 ml.
- Verser de l'eau distillée à l'aide d'une burette graduée au ml, jusqu'à ce qu'elle ne pénètre plus dans la terre :  $V_1$ .
- Malaxer à l'aide d'une spatule en rajoutant de l'eau jusqu'à obtention d'une pâte répondant aux caractéristiques de la méthode préconisée par Riverside :  $V_2$ .
- Ménager 1 trou de 2 ou 3  $\text{cm}^2$  ; laisser reposer 1 heure en couvrant d'un papier filtre humide.
- Après 1 heure, vérifier les tests caractéristiques (la pâte doit couler lentement en inclinant le bécher ; sa surface doit être brillante ; elle doit se détacher librement de la spatule).
- Le volume  $V_1 + V_2$  correspond au % d'eau de saturation.
- Verser la terre dans des gobelets et passer à l'ultra-centrifugeuse (15.000 trs/min.) pendant 15 minutes.
- Récupérer l'eau surnageante dans des fioles de 250 ml et boucher soigneusement.

### I.1.2. Extraits I/IOe.

- Peser 20 g de terre que l'on met en contact avec 200 ml d'eau distillée dans des bouteilles plastiques de 500 ml.
- Mettre en agitation durant 2 heures sur table vibrante ; laisser en contact 24 heures.
- Récupérer les extraits par décantation sur filtre bande bleue dans des fioles de 250 ml et boucher soigneusement.

### I.2. Mesure de la conductivité.

La conductivité a été mesurée à l'aide d'un appareil à lecture directe CENCO n° 34501, gradué en micromhos  $\text{cm}^{-1}$ , équipé d'une microcellule Philips PR 9513/00 ; le coefficient de la cellule était de 0,68.

L'appareil est muni de correcteurs de température et de coefficient de cellule qui permettent une lecture directe à 25°C.

### I.3. Mesure du pH.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre Metrohm E 350, muni d'une électrode combinée verre calomel ; la lecture est faite au 5/100e d'unité pH près.

### I.4. Dosage des anions.

#### I.4.1. Dosage des Bicarbonates et Carbonates.

Ils ont été dosés par potentiométrie à pH constant ; le pH 8,4 correspondant à la neutralisation de la moitié des carbonates (transformation des carbonates en bicarbonates) ; le pH 4,4 correspondant à la neutralisation des bicarbonates dissous.

L'appareil utilisé a été le pHmètre Metrohm E 350, auquel était accouplé une burette automatique Metrohm Dosimat E 415. La prise d'essai a été d'un ml pour les extraits saturés et de 10 ml pour les extraits I/10 ; l'acide utilisé HCl 0,10 N pour les deux types d'extraits.

#### I.4.2. Dosage des chlorures.

Ils ont été dosés par coulométrie à l'aide d'un chlorimètre Marius à électrode d'Ag.

Le dosage se fait en milieu acide.

- 20 ml de solution acide acétique 15% +  $\text{HNO}_3$  0,15 N.
- 1 ml de solution basique I : 0,6% gélatine + 0,02% de méthylorange.

La solution étalon utilisée est une solution à 10 mg/l de  $\text{Cl}^-$  ; 1 ml est prélevé et mis dans la solution acide. Les prises d'essais ont été de 0,1 ml pour les deux types d'extraits.

#### I.4.3. Dosage des sulfates.

Ils ont été dosés par néphélométrie à l'aide d'un appareil COLEMAN Junior II ; la mesure d'absorption du complexe est faite à 450 m $\mu$ .

Le réactif employé est constitué par :

- 2,5 ml de MV I/I (acétate de sodium + acide acétique :  
pH = 4,8)
- 1,0 ml HCl 3 N.
- 1,0 ml tween 80/Ba  $\text{Cl}_2$ .

La prise d'essai est de 2,5 ml ; la mesure effectuée dans des cuves de 15 ml.

Attendre 1/2 heure. Mesurer (la suspension est stable durant 1 h 30).

Les courbes d'étalonnage sont établies à partir d'une solution étalon à 10 ppm de  $\text{SO}_4^{2-}$  avec 1 gamme étalon de 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 et 100 ppm de  $\text{SO}_4^{2-}$ .

#### I.4.4. Dosages des nitrates.

Ils ont été dosés par colorimétrie, la mesure étant faite à 400 m $\mu$ .

Il a été nécessaire de décolorer les échantillons :

- P.E. de 15 ml dans une bouteille plastique de 100 ml.
- Ajouter 2 spatules de charbon végétal.
- Agitation sur table vibrante durant  $\frac{1}{2}$  heure.
- Filtration et récupération dans tubes à essais.

Le réactif utilisé est constitué par :

- . 1,0 ml de MV concentré.
- . 0,2 ml de brucine.
- . 3,0 ml de  $H_2SO_4$  concentré.

La prise d'essai est de 1,0 ml.

Les courbes d'étalonnage sont établies à partir d'une solution étalon à 20 ppm de  $NO_3^-$  avec 1 gamme étalon de 0,1, 2, 4, 6, 8, 10 et 20 ppm de  $NO_3^-$ .

#### I.5. Dosage des cations.

##### I.5.1. Dosage de $Na^+$ , $K^+$ , $Ca^{2+}$ .

Ces trois ions furent dosés par spectrophotométrie de flamme sur un appareil EPPENDORF GERATEBAU (Hambourg) en utilisant les filtres correspondant à chaque ion et une flamme au propane pour la détermination des alcalins et une flamme à l'acétylène pour le calcium.

- Pour  $Ca^{2+}$ , la courbe de déviation étant linéaire l'étalonnage se fit avec 2 points, 0 et 100 ppm.
- Pour  $Na^+$ , avec une gamme étalon de 0 à 1000 ppm.
- Pour  $K^+$ , avec une gamme étalon de 0 à 100 ppm.

##### I.5.2. Dosage de $Mg^{2+}$ .

Dosé par colorimétrie, mais cette méthode n'ayant pas donné satisfaction, cet ion fut dosé par absorption atomique, bien que cette méthode fut en cours de mise au point dans le laboratoire.

L'appareil utilisé est un Atomic Absorption Photometer Techtron, licence CSIRO, Australie.

La prise d'essai est de 5 ml, auxquels on ajoute 5 ml de  $LaCl$  ; la courbe d'étalonnage établie de 0 à 40 ppm.

Le dosage de  $\text{Ca}^{2+}$  fut également réalisé par absorption atomique et les résultats obtenus comparables à ceux donnés par la méthode de spectrophotométrie de flamme.

### I.6. Dosage tests.

#### I.6.1. Dosage de $\text{NH}_4^+$

Par colorimétrie avec le réactif de Nessler. Il ne fut pas décelé, ou simplement à l'état de traces dans quelques échantillons.

#### I.6.2. Dosage des phosphatés et de la silice soluble.

Par colorimétrie des complexes molybdiques à 600 mmu.

## 2. Résultats analytiques.

### 2.1. Extraits saturés.

Ils sont reportés dans les tableaux I et II qui concernent les profils I (coupe à 70 m du flanc W de la saline de LIWA) et 2 (coupe à 180 m du flanc W).

### 2.2. Extraits I/IOe.

Ils sont reportés dans les tableaux III et IV.

### 2.3. Eaux de la nappe à l'aplomb des profils.

Les résultats d'analyses hydrochimiques de la nappe à l'aplomb des profils  $P_1$  et  $P_2$  sont résumés dans le tableau V.

## 3. Interprétations.

L'interprétation des résultats analytiques ne pourra être véritablement tentée que lorsque nous disposerons des résultats concernant les extraits intermédiaires, I/1, I/2 et I/5. Elle fera vraisemblablement l'objet d'une note analytique avec les chercheurs hollandais qui nous aidèrent dans notre travail et traitera de l'influence des divers modes de dilution sur la mise en solution des différents ions.



### 3.1.

Dès maintenant, nous pouvons constater que les rapports pratiques mesurés entre les conductivités des 2 types extrêmes d'extraits s'éloignent considérablement des rapports théoriques calculés à partir du pourcentage de saturation.

Ainsi pour l'échantillon 273 :

$$\left( \frac{C}{C - S} \right)_{10} \text{ th.} = 0,038$$

$$\left( \frac{C}{C - S} \right)_{10} \text{ pr.} = 0,424$$

### 3.2.

En ce qui concerne le comportement des anions, nous voyons que la dilution n'a que peu d'effet sur la mise en solution des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . Pour les ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ , leur concentration augmente avec la dilution ce qui peut expliquer les différences observées entre les rapports théoriques et pratiques des conductivités des 2 types d'extraits.

### 3.3.

En ce qui concerne les cations, les quantités de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Na}^+$  augmentent avec la dilution, tandis que  $\text{K}^+$  semble rester relativement constant.

## 4. Conclusions.

Quelque soit l'interprétation que nous pourrions tirer de l'examen du comportement des divers ions en fonction de la dilution, nous pouvons déjà dire que cette méthode d'extraction de la phase soluble des sédiments ne donnera jamais une image exacte de l'état de concentration de l'eau interstitielle du sédiment au moment de son prélèvement.

La remise en contact, après séchage, du sédiment avec une quantité déterminée d'eau, risque en effet de :

- remettre en mouvement des sels déjà cristallisés au moment du prélèvement : concentration par excès.
- de ne pas resolubiliser la totalité des sels ayant cristallisé lors du séchage : concentration par défaut.

Le moyen le plus sûr pour avoir une image aussi fidèle que possible de la phase soluble des sédiments serait évidemment de prélever une carotte, de la maintenir dans son état d'humidité originel et d'en extraire les sels solubles par pressage hydraulique.

Technique qui a déjà fait ses preuves dans divers laboratoires en métropole, mais qui demande évidemment un appareillage dont nous ne disposons pas encore.



*[The following text is extremely faint and illegible due to low contrast and scan quality. It appears to be a continuation of the document's content.]*

B. Stage au Laboratoire de Géochimie de l'Université d'Utrecht.

(17 octobre - 26 octobre 1968)

Chef Département	Géochimie	: Dr. R.D. SCHUILLING
Adjoint		: Dr. OOSTEROM
Chimiste		: M. Van Der WEYDEN
Technicien Rayons X		: M. J.J. SCHELLINK
Stagiaire		: M. J. GALUIS

o

o o

Le but de ce stage était, d'une part de dépouiller qualitativement un certain nombre d'échantillons de minéraux salins n'ayant pu être déterminés en France par suite de l'engorgement du laboratoire de diffractométrie des S.S.C. de Bondy, d'autre part de mettre au point une méthode d'analyse quantitative de mélanges de minéraux salins hydratés, qui à notre connaissance, n'existe pas dans la littérature. Cette mise au point devrait d'ailleurs faire l'objet d'une note en collaboration avec les chercheurs hollandais nous ayant aidé dans ce travail.

I. Détermination qualitative.

I.1. Méthodes analytiques.

L'appareil utilisé a été un diffractomètre Philips ; le rayonnement employé, la raie  $K\alpha$  du Cu.

Au lieu de travailler sur enregistrement papier, nous avons travaillé sur films en diagramme Debye-Scherrer, mais avec un montage en chambre de Guinier (film assymétrique).

Le diagramme de poudre ainsi obtenu est nettement plus sensible qu'un diffractogramme ; les raies caractéristiques d'un minéral, même en faible quantité ne risquent pas d'être masquées par le fond continu. On peut ainsi déceler 1% de halite dans une matrice à 99% de trona.

### Préparation des poudres :

- Broyage à 40 microns dans un mortier en agathe.
- Mélange avec du silicone.
- Mise sur lame porte objet, (4 poudres), le support étant constitué par une feuille de millard.

1 mm sur le film correspond à 1° (40).

### Dépouillement des films.

Des clichés d'échantillons de monominéral type peuvent être effectués ce qui facilite ensuite la comparaison avec les clichés à dépouiller.

Le dépouillement des clichés se fait en mesurant la distance en mm depuis l'origine (rayonnement direct) au milieu de la raie considérée ; cette distance est divisée par 2 pour raisonner en 2  $\theta$ .

Au préalable, nous avons constitué une liste des raies principales par distances décroissantes en mm (2  $\theta$ ) avec la correspondance en A des principaux minéraux susceptibles d'être rencontrés dans les faciès évaporitiques du Kanem (Gaylussite, trona, thermonatrite, natron, nahcolite, halite, mirabilite, thernadite, quartz, calcite, magadiite et argiles).

### I.2. Résultats.

Un total de 120 échantillons fut analysé et dépouillé qualitativement en 7 jours.

Pour la première fois nous avons pu mettre en évidence différents minéraux jusqu'à présent non identifiés :

Nahcolite,  $\text{NaHCO}_3$ .  
Natron,  $\text{Na}_2 \text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .  
Thermonatrite,  $\text{Na}_2 \text{CO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ .  
Halite,  $\text{Na Cl}$ .

Trona, Gaylussite et Magadiite ont été confirmés.

Deux minéraux, non indexés dans les fiches A.S.T.M., et essentiellement constitués par  $\text{SiO}_2$  et  $\text{CaO}$  (fluorescence X) ont d'autre part été mis en évidence. Des études complémentaires en cours doivent permettre de dire s'il s'agit de minéraux nouveaux.

## 2. Détermination quantitative.

### 2.1. Méthode.

La méthode de l'étalon interne (fluorite,  $\text{Ca F}_2$ ) a été utilisée dans la réalisation de ce travail.

Les courbes d'étalonnage ont été établies à partir de mélanges - 20% fluorite + 80% minéral à doser - par broyage et mixage manuel et avec un broyeur-mélangeur Retsch MS.

La mesure des intensités des raies de diffraction a été faite sur les raies de fortes intensités ne présentant pas d'interférences avec d'autres :

Fluorite	- 2824	(3.13 Å)
Gaylussite	- 13295	(6.53 Å)
Trona	- 9205	(9.75 Å)
Nahcolite	- 3023	(2.947 Å)

### 2.2. Résultats.

Des précisions acceptables (2 à 5%) ont été obtenues pour le dosage de la gaylussite, de la nahcolite, du trona et de la thenardite.

Des difficultés ont été rencontrées et pas encore résolues en ce qui concerne le dosage de la thermonatrite et du natron ; elles tiennent essentiellement à l'instabilité thermique et à la forte hygroscopicité de ces minéraux.

La figure I résume les droites d'étalonnage obtenues.

- Pour un mélange à 80% de trona :

$$\text{Hauteur pic trona/hauteur pic fluorite} = 0,580 \pm 0,03.$$

- Pour un mélange à 80% de gaylussite :

$$\text{Hauteur pic Gl./hauteur pic Fl.} = 0,88 \pm 0,017.$$

- Pour un mélange à 80% de nahcolite :

$$\text{Hauteur pic Nh/hauteur pic Fl.} = 2,49 \pm 0,04.$$

2.3. Détermination des courbes d'étalonnage pour une paire de minéraux salins.

Ayant déterminé les rapports des hauteurs de pics pour 2 minéraux A et B, mélangés séparément à 20% de l'étalon interne, soit  $h_A/h_{st}$  et  $h_B/h_{st}$  nous pouvons déterminer les rapports  $h_A/h_B$  par simple calcul pour des mélanges de 10% A et 90% B, 20% A et 80% B et ainsi de suite.

Le même calcul peut être mené pour un mélange de 3 minéraux.



[The following text is extremely faint and illegible, appearing to be bleed-through from the reverse side of the page.]

C. Stage à l'Institut pour l'Amélioration et la Mise en Valeur  
des Terres de Wageningen.

(28 octobre - 2 novembre 1968)

Directeur : J. Van STAVEREN  
Organisateur du stage : Dr. G.P. Kruseman  
Accompagnateur : M.J. Van ALPHEN

o

o o

Le but de ce stage était, à la suite d'un exposé de nos travaux au Tchad, auquel assistait un certain nombre de spécialistes, de nous faire visiter des laboratoires aux préoccupations scientifiques voisines des nôtres.

Le texte de l'exposé prononcé à Wageningen est joint en annexe.

I. Visite au Laboratoire du Service d'Etat des Polders du lac d'Issel à Kampen.

Chef du Département Recherches : M.B. VERHOEVEN  
Chef du Laboratoire : M.J. HOFSTEE  
Chef du Laboratoire de microbiologie : M.D.A. Van SCHREVEN.

Ce laboratoire est essentiellement un laboratoire d'analyse de routine s'occupant de suivre l'évolution des sols asséchés et récupérés sur le lac d'Issel pour en faire des polders. Il est comparable au laboratoire de la Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône Languedoc à Nîmes.

Une discussion intéressante eût lieu avec M. SCHREVEN portant sur l'évolution des sols des polders, qui pourrait être d'un intérêt dans le cas des polders du lac Tchad.

Le matériau lacustre originel constitue un milieu très réducteur tant qu'il est sous l'eau, avec des sulfures de fer ; lorsqu'on abaisse le plan d'eau par la construction de digues et pompage jusqu'à assèchement complet et rabattement de la nappe (- 1,50 m ) il se produit des phénomènes de réoxydation par suite de l'aération du milieu. Les sulfures passent par

l'intermédiaire des sulfites de fer pour aboutir lorsque l'oxydation totale est réalisée à la formation de gypse (essentiellement par des processus chimiques et bactériologiques).

## 2. Visite de l'usine de sel gemme d'Engelo.

Directeur : M. NIKOLAI  
Directeur du Labo de Recherches : Professeur KETELAAR  
Chef du Labo Chimie : M.J.L. Van BUEREM  
Ingénieur géologue : M. WASSMAN.

Le gisement est constitué par les couches à sel gemme du Trias d'une puissance de 50 m, situées à 350 m de profondeur.

L'extraction des couches salifères est réalisée en injectant de l'eau douce dans le gisement (6 millions tonnes), et récupération des saumures par pompage.

La production de NaCl est de 2 millions de tonnes, dont 30% servent à la consommation et aux ponts et chaussées, 70% pour l'industrie chimique (electrolyse).

La saumure sort du gisement à 300 - 315 g de NaCl/l, avec  $SO_4^{2-}$  (100 me/l),  $Ca^{2+}$  (60 me/l),  $Mg^{2+}$  et  $K^+$  (5 à 15 me/l),  $CO_3^{2-}$  (0,5 à 1 me/l).

- $Cl^-$  est dosé par la méthode de Mohr ou de Charpentier Volhard ou par méthode potentiométrique.
- $Na^+$  n'est que calculé.
- $HCO_3^-$  et  $CO_3^{2-}$  sont dosés par potentiométrie.
- $K^+$  par gravimétrie avec le Na phenyltetraborate.
- $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  par complexométrie avec EDTA.
- Silice par colorimétrie.
- Les éléments traces importants pour l'electrolyse (Fe, Mo, V, Cr, Cu) par colorimétrie ou absorption atomique.

## 3. Visite de l'I.T.C. de Delft.

Discussions sur l'interprétation des photographies aériennes et les procédés de photogrammétrie avec :



Professeur D.C. VOUTE,	géologue.
M. FRANCKEN,	géologue.
M. J. VERMEER,	pédologue/
Docteur ZONNEVELD,	pédologue écologiste.

#### 4. Visite à l'Université Agronomique de Wageningen.

##### 4.1. Département fertilisation et Sciences Physiques du sol, section de Chimie Agricole.

Discussions avec :

MM. Van der VELJ,	Chimiste-analyste.
KOENIGS,	Ingénieur Agricole, physico-chimiste.
Van BECK,	Ingénieur Agronome.

Une discussion fort intéressante eut lieu notamment avec M. Van BECK qui s'intéresse aux sols salins et reconstitue en laboratoire les processus évaporatoires par capillarité et leurs conséquences sur la dynamique des sels au sein des profils.

Ce département de l'Université Agronomique est d'autre part équipé d'une section Electronique qui, à la demande des chercheurs, élabore des appareillages spécifiques, adaptés aux problèmes posés. C'est ainsi que le département a mis au point, breveté et lancé sur le marché :

- 1 presse à membrane <sup>+</sup> p<sup>n</sup> 3.
- 1 tensiomètre Gallenkamp.
- 1 thermoconductimètre transistorisé à lecture directe, commercialisé par CENCO Instruments et dont nous nous sommes équipés après l'avoir vu fonctionner.

##### 4.2. Département de pédologie régionale.

Discussions avec :

MM. BLOCKUIS	: cartographie et pedogenèse ; a notamment travaillé sur les concrétions calcaires du Soudan.
DRIESSEN	: micromorphologie des sols salins de Turquie (Na Cl) ; utilise le toluol ou le xylol pour le transport des échantillons avant confection des lames minces : cependant, n'a pas résolu la transformation de certains sels hydratés

par augmentation de  $t^2$  au cours de la fabrication de la lame.

- Van BREEMEN : pédogenèse des sols acides et phénomènes de réduction des sulfates ; doit prochainement aller travailler sur les sols de Thaïlande.

#### 4.3. Laboratoire de micromorphologie des sols.

Chef du laboratoire : Docteur JONGERIUS.

Rapide mise au courant des techniques de confection des lames minces de sols ; fonctionnement du quantomètre (avec caméra et télévision pour la mesure quantitative des pores, des grains d'un diamètre déterminé, etc....)

La possibilité de l'envoi d'un échantillon d'un profil de saline fut discuté, M. JONGERIUS étant surtout intéressé par le problème technique que pose la confection d'une lame mince dans un échantillon gorgé d'eau et très riche en sels solubles.

#### 5. Discussion avec deux ingénieurs de la Cie Koninklyke Nederlandsche Heidemaatschappy.

MM. CAVELAARS, agronome, Division recherches Drainage.

BRUGMAN, hydrogéologue, préparant une thèse en hydrologie de surface sur le Salat (Pyrénées).

Cette compagnie d'experts, occupant 3.000 personnes dont 3 à 600 ingénieurs, présente diverses branches d'activité, nationales et internationales : pédologie, agronomie, hydrologie, géologie, architecture, urbanisme, remembrement, génie civil, reforestation.....

Une filiale de cette compagnie, ILACO, est spécialisée dans les interventions de développement Outre-Mer.

o

o o

Tableau I. Profil I

## RESULTATS D'ANALYSE HYDRICCHIMIQUE DES EXTRAITS SATURES.

N°	pH	C 25° mmhos cm <sup>-1</sup>	Teneurs en mg/100 g terre sèche.										
			Ca	Mg	Na	K	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
273	10,7	105,0	1,0	Tr.	307,7	16,5	325,2	310,4	89,3	17,0	131,5	72,5	0,1
D		107,0	1,0		283,3	15,0	299,3	290,8	89,4	15,6	152,1	24,6	0,1
274		127,0	0,9		236,4	12,3	249,6	222,2	76,7	11,0	111,9	22,6	Tr.
D		134,0	0,9		234,8	12,4	248,1	221,9	73,0	10,7	113,7	24,4	0,1
275		116,0	0,9		224,1	7,2	232,2	212,5	49,9	6,0	120,9	35,6	0,1
D		118,0	0,9		224,7	7,3	232,9	213,3	49,8	6,1	118,6	38,8	Tr.
276		108,0	1,1		269,0	7,6	277,7	263,1	49,5	7,9	169,6	36,0	0,1
D		106,0	1,1		257,6	7,3	266,0	256,1	47,3	8,0	163,5	37,1	0,2
278		110,0	1,1		274,9	6,8	282,8	260,0	39,6	7,3	185,4	27,7	Tr.
D		111,0	1,1		272,7	6,9	280,7	271,7	44,0	7,6	190,4	29,7	
279		110,0	1,7		435,4	11,1	448,2	429,5	68,1	9,6	306,9	44,9	
D		112,0	1,6		400,5	10,1	412,2	391,9	61,5	9,5	280,2	40,7	
280		113,0	1,4		345,9	9,0	356,3	340,1	54,6	8,0	242,7	34,8	
D		112,0	1,3		342,3	8,8	352,4	329,6	51,5	7,7	237,1	33,3	
281		110,0	1,7		460,8	12,5	475,0	422,9	70,6	10,3	302,8	39,2	
D		112,0	1,7		423,0	11,5	436,2	413,4	68,6	9,6	297,7	37,5	
282		114,0	1,2		306,4	9,3	316,9	290,8	51,2	8,2	199,8	32,9	
D		115,0	1,2		300,6	9,3	311,1	293,0	51,7	8,2	198,2	34,9	

Tableau I. (Suite) Profil I.

N°	pH	C 25° mmhos cm <sup>-1</sup>	Teneurs en mg/100 g terre sèche.										
			Ca	Mg	Na	K	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
283		116,0	1,3		330,8	9,8	341,9	313,6	56,8	9,6	203,1	34,1	
D		115,0	1,4		311,9	9,4	322,7	306,3	57,9	9,6	207,7	31,1	
284		115,0	1,6		400,5	12,7	414,8	389,1	78,2	11,4	265,8	33,7	
D		116,0	1,6		393,7	12,3	407,6	392,0	80,2	11,0	260,4	40,4	
285		113,0	1,7		408,3	13,9	423,9	409,4	89,5	10,3	272,6	37,0	
D		114,0	1,5		383,2	12,9	398,1	380,9	78,1	10,0	255,2	37,6	

Tableau II. Profil 2.

## RESULTATS D'ANALYSE HYDROCHIMIQUE DES EXTRAITS SATURES.

N°	pH	C 25° mmhos cm <sup>-1</sup>	Teneurs en mg/100 g terre sèche.										
			Ca	Mg	Na	K	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
286		116,0	1,1	Tr.	268,1	7,0	276,2	261,7	47,2	6,9	171,8	35,8	Tr.
D		116,0	1,0		268,3	7,4	276,7	260,9	48,2	6,5	170,1	36,1	
287		110,0	1,0		259,6	5,2	265,8	250,9	33,0	5,6	177,9	34,4	
D		110,0	1,0		255,2	5,5	261,7	246,0	31,9	5,6	174,3	34,2	
288		112,0	1,0		246,0	6,4	253,4	243,8	37,3	5,9	165,8	34,8	
D		112,0	1,0		255,7	6,6	263,3	242,7	37,2	6,1	165,5	33,9	
289		111,0	1,1		266,8	7,3	275,2	259,4	35,7	6,7	182,2	34,8	
D		112,0	1,1		276,8	7,4	285,3	267,9	38,8	6,6	185,5	37,0	
291		117,0	1,1		300,1	10,3	311,5	290,8	56,0	8,4	187,5	38,9	
D		116,0	1,1		284,9	9,8	295,8	275,8	54,9	8,1	179,1	33,7	
292		116,0	1,1		290,4	8,6	260,1	243,0	47,3	7,6	155,0	33,1	
D		116,0	1,0		243,0	8,3	252,3	238,1	46,0	6,7	152,2	33,2	
293		123,0	1,2		303,5	13,4	318,1	x	79,2	8,1	191,3	-	
D		123,0	1,2		311,2	13,6	326,0	309,2	81,5	8,4	195,3	23,9	
294		120,0	1,4		339,9	14,4	355,7	336,4	85,9	8,4	218,2	23,9	
D		120,0	1,3		325,5	14,0	340,9	326,9	83,5	6,7	215,0	21,7	

Tableau III. Profil I.

RESULTATS D'ANALYSE HYDROCHIMIQUE DES EXTRAITS I/10<sup>e</sup>.

N <sup>o</sup>	pH	C 25 <sup>e</sup> mmhos cm <sup>-1</sup>	Teneurs en me/100 g. terre sèche.										
			Ca	Mg	Na	K	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
273	10,0	44,6	3,2	Tr.	778,7	16,0	797,9	731,8	72,2	14,1	517,4	128,0	0,1
D	10,0	44,6	3,2		759,5	15,7	778,4	745,3	74,3	15,8	526,3	128,8	0,1
274	9,8	40,6	2,8		683,8	16,3	702,9	631,4	76,5	12,7	398,6	143,6	Tr.
D	9,7	40,2	2,8		649,9	15,0	667,7	631,2	77,4	13,5	395,5	144,8	Tr.
275	10,0	15,6	0,9		197,1	7,4	205,4	196,1	45,4	9,4	108,0	33,3	Tr.
D	10,0	15,8	0,9		203,6	7,4	211,9	198,8	47,0	9,0	108,0	34,8	Tr.
276	10,1	18,4	1,1		243,6	7,6	252,1	238,7	44,5	10,4	149,7	34,1	Tr.
D	10,1	18,6	1,1		243,6	7,7	252,4	242,2	45,8	10,4	152,0	34,0	Tr.
278	10,2	18,4	1,1		250,1	6,8	258,0	245,2	39,3	10,8	168,5	26,4	0,1
D	10,2	18,6	1,1		243,6	7,0	251,7	247,6	39,2	12,0	169,7	26,6	0,1
279	10,2	28,8	1,9		420,2	13,1	435,2	410,2	64,6	12,3	286,6	46,7	Tr.
D	10,2	28,6	1,9		414,1	11,8	427,8	408,5	66,9	12,3	282,9	46,4	
280	10,3	25,6	1,7		350,2	10,2	362,1	357,2	58,6	11,5	250,0	37,1	
D	10,3	25,6	1,7		354,9	10,3	366,9	360,0	58,9	11,5	250,0	36,6	
281	10,2	33,0	2,2		487,2	13,6	503,0	482,1	75,3	11,5	341,6	53,7	
D	10,2	33,0	2,2		487,2	13,9	503,3	480,4	75,2	11,5	340,8	52,9	
282	10,1	27,4	1,8		395,9	10,9	408,8	387,7	57,2	11,5	261,2	57,8	
D	10,1	27,4	1,9		395,9	10,9	408,7	387,3	57,3	12,0	259,9	58,1	
283	10,0	29,0	1,9		422,8	12,0	436,7	412,9	64,1	13,0	273,8	62,0	
D	10,1	29,4	1,9		422,8	12,3	437,0	420,5	64,8	12,7	279,7	63,3	

Tableau III. (Suite) Profil I.

N°	pH	C 25° mmhos cm <sup>-1</sup>	Teneurs en mg/100 g. terre sèche.										
			Ca	Mg	Na	K	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
284	9,9	37,6	2,5		589,0	17,2	608,7	571,1	85,2	11,6	381,6	92,77	
D	10,0	37,4	2,5		566,0	16,9	585,4	568,1	88,3	11,5	377,4	90,9	
285	10,0	37,0	2,4		581,2	17,0	600,6	570,8	81,8	12,3	374,4	102,3	
D	9,9	37,0	2,5		581,2	16,4	600,1	570,3	81,6	11,8	372,5	104,4	

Tableau IV. Profil 2.

## RESULTATS D'ANALYSE HYDROCHIMIQUE DES EXTRAITS II/10°.

N°	pH	C 25° mmhos cm <sup>-1</sup>	Teneurs en mg/100 g. terre sèche.										
			Ca	Mg	Na	K	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
286	9,9	27,8	2,1	Tr.	411,9	10,0	424,0	400,9	54,6	10,4	254,2	81,7	Tr.
D	10,0	28,0	2,1		411,9	10,2	424,2	411,3	60,5	10,2	264,7	75,9	
287	10,2	25,0	1,8		359,7	7,7	369,2	366,1	39,1	10,0	269,4	47,6	
D	10,2	24,8	1,7		350,7	7,4	359,8	361,0	37,9	10,9	266,9	45,3	
288	10,0	26,0	1,9		369,8	9,1	380,8	379,6	41,8	13,0	259,3	65,5	
D	10,0	25,8	1,8		359,7	8,6	370,1	376,3	41,0	12,3	258,7	64,3	
289	9,6	27,8	2,0		422,8	9,5	424,3	418,7	42,0	10,9	236,3	129,5	
D	9,7	27,6	2,0		411,9	9,6	423,5	413,7	41,6	10,9	234,3	126,9	
291	9,9	31,2	2,2		480,2	13,1	495,5	469,9	62,1	14,6	295,5	97,7	
D	9,9	31,2	2,3		472,4	13,1	487,8	470,2	62,6	13,0	258,7	95,5	
292	10,0	27,8	2,7		401,1	11,1	414,9	407,0	52,3	13,0	258,7	83,0	
D	10,0	27,6	2,8		401,1	11,3	415,2	408,9	52,8	12,7	259,3	82,7	
293	9,9	39,4	3,0		603,8	18,0	624,8	617,5	91,9	13,0	389,4	123,2	
D	9,9	39,8	2,8		619,4	18,3	640,5	631,3	94,1	13,0	394,5	129,7	
294	9,9	41,8	3,0		666,4	19,7	689,1	670,5	102,2	13,0	431,7	123,6	
D	10,0	42,0	3,0		666,4	20,6	650,0	674,9	100,1	12,7	439,9	122,2	

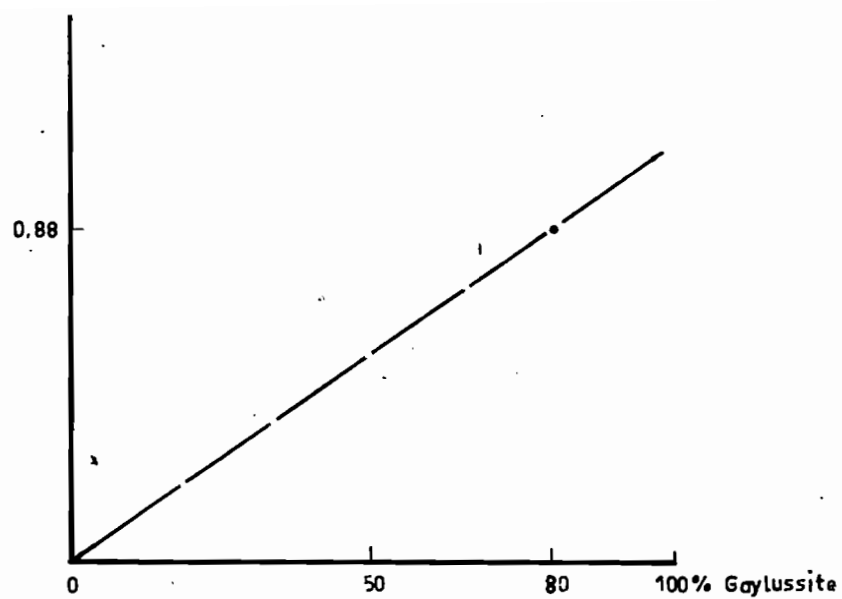


N°	pH	C. 25° mmhos cm-1	Concentration me. l-1									
			Ca	Mg	Na	K	S+	S-	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
E 485	10,15	60,734	0,2	0,1	1.105,0	40,0	1145,3	1.136,0	160,0	27,0	734,0	215,0
E 486	10,20	84,685	0,4	0,2	2.060,0	97,6	2158,2	2.163,0	285,0	44,0	1577,0	257,0

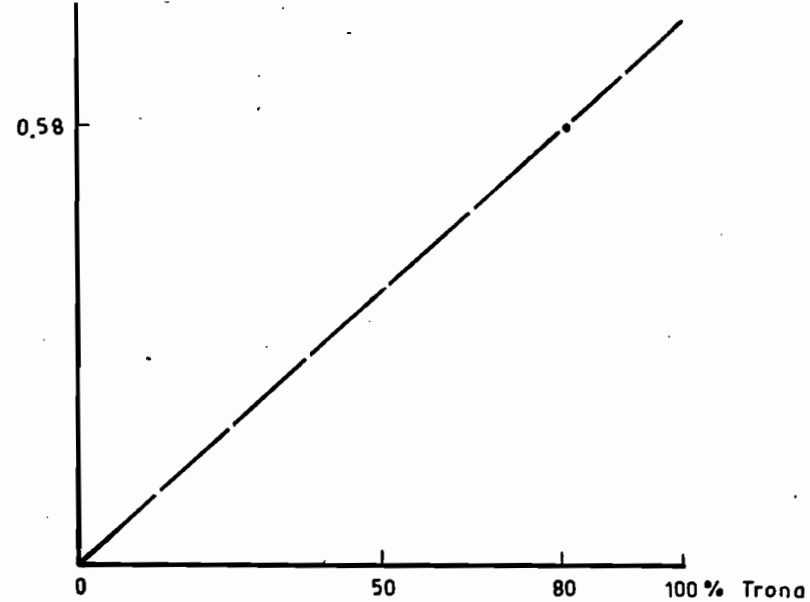
Tableau V. Analyse chimique des eaux de la nappe phréatique correspondant aux profils de sels solubles.

E 485 : Profil I

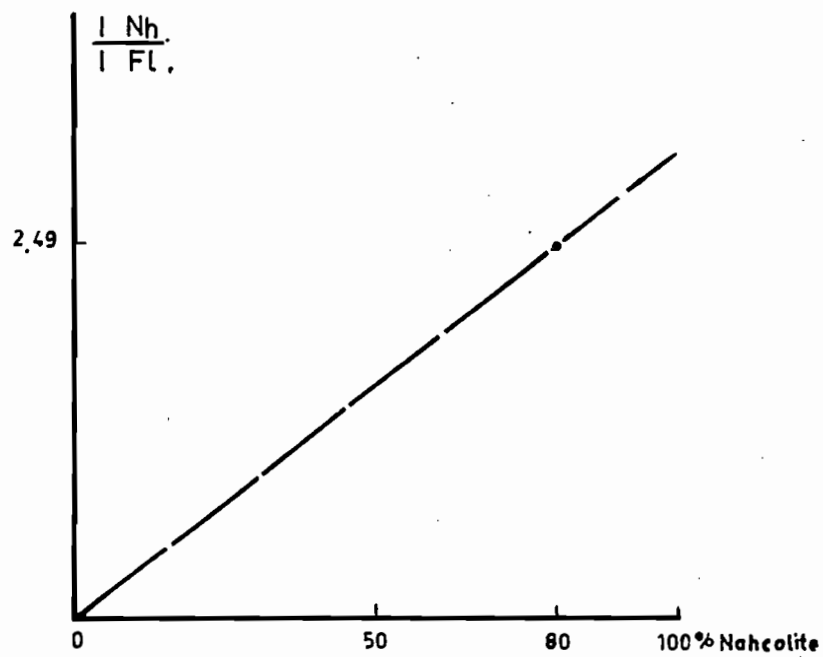
E 486 : Profil II



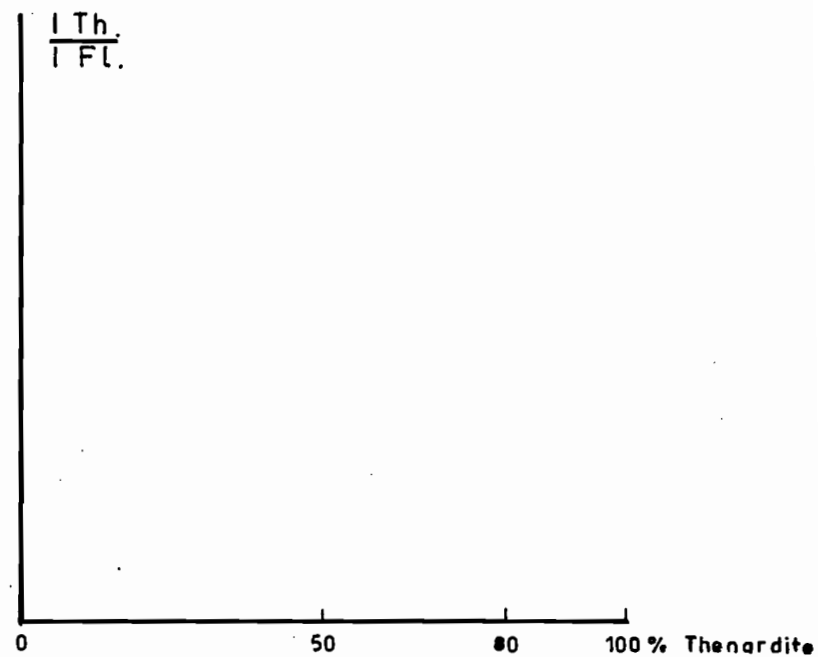
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.1. Droites d'étalonnage (étalon interne  $F_2 Ca$ ) rapport des hauteurs des raies % du minéral à doser

TEXTE DE L'EXPOSE DU 30 OCTOBRE 1968 A  
L'INSTITUT INTERNATIONAL POUR L'AMELIORATION ET LA MISE EN VALEUR  
DES TERRES DE WAGENINGEN (PAYS-BAS)

G. MAGLIONE

---

Etaient présents :

MM. VAN STAVEREN, Directeur de l'I.L.R.I.  
KRUSEMAN, Expert hydrogéologue de l'I.L.R.I.  
SCHULZE, Expert Agronome de l'I.L.R.I.  
VAN ALDEN, Expert Pédologue de l'I.L.R.I.  
DE RIDDER, Expert hydrogéologue de l'I.L.W.M.R.  
CAVELLARS, Ingénieur agronome de la K.N. Heidemaats-Chappij  
BRUGMAN, Ingénieur hydrogéologue de la K.N.  
VAN DER VELJ, Chimiste à l'Université agronomique de Wageningen  
KOENIGS, pédologue à l'Université agronomique de Wageningen  
COUWENHOVEN, hydrogéologue à l'I.L.W.M.R.  
DRIESSEN, pédologue à l'Université Agronomique de Wageningen  
DE HAAD, pédologue à l'Université Agronomique de Wageningen  
VAN BEERS, pédologue à l'I.L.R.I.  
Deux ingénieurs de la Cie d'Ingénieurs Grenting  
VAN SCHVITENBORGH, pédologue à l'Université Agronomique de  
Wageningen.

Une discussion de 1 h. 30 a suivi la présentation de l'exposé.

Messieurs,

J'espère que vous voudrez bien m'excuser de ne pas faire ce petit exposé en anglais, mais hélas comme beaucoup de Français la langue d'Albion ne m'est point familière.

Je ne voudrais pas d'autre part laissé passer l'occasion qui m'est ici offerte de remercier au nom de la Direction Générale de l'ORSTOM et en mon nom personnel, MM. Van STAVEREN et KRUSEMAN qui ont accepté de mettre sur pied un stage de six semaines dans votre charmant pays ; au cours duquel j'ai pu apprécier la gentillesse et la compétence des personnes avec lesquelles j'ai travaillé, que ce soit au laboratoire d'Etudes des Sols de l'Institut Royal pour les Pays Tropicaux à Amsterdam ou au laboratoire Vening-Meinez de Géophysique et de Géochimie de l'Université d'Utrecht. Je n'oublierai pas d'associer à ces remerciements M. SCHULZE qui est en fait à l'origine de ma venue en Hollande.

Les études entreprises voila presque 20 ans par l'ORSTOM au Tchad visent, comme dans tous les pays où l'Office intervient, à caractériser le milieu naturel qu'il soit physique, biologique ou humain. C'est ainsi que sont représentées à Fort-Lamy les sections d'ethnologie archéologie, d'hydrologie, de pédologie, de climatologie, d'hydrobiologie et de géologie. En tout quelques 40 chercheurs et techniciens.

L'étude entreprise pour une meilleure connaissance de la cuvette tchadienne revêt donc le caractère d'une action concertée multidisciplinaire à laquelle participent les diverses sections.

En ce qui concerne la géologie implantée depuis 1965 à Fort-Lamy, son programme de recherches correspond en quelque sorte à la géochimie actuelle et passée du bassin tchadien.

C'est ainsi que pour la géochimie actuelle, la cuvette tchadienne est étudiée selon le triptyque maintenant classique, altération - transport - sédimentation.

De l'amont vers l'aval, c'est à dire du sud au nord se succèdent toute une série d'études qui s'enchaînent étroitement les unes aux autres.

M. GAC, en République Centrafricaine étudie l'altération des roches en tête des bassins versants du système du Chari ; la mise en solution des éléments solubilisables, la mise en suspension mécanique des éléments résistants en vue d'établir un bilan de la zone de départ.

Le système hydrologique Chari-Logone est étudié par M. ROCHE d'un point de vue hydrochimique, tandis que les hydrologues s'intéressent aux débits liquides et solides.

.../...

Le lac Tchad lui, est étudié hydrochimiquement par M. ROCHE et par M. CARMOUZE, hydrobiochimiste dans le but de caractériser physicochimiquement les différents biotopes localisés par les hydrobiologistes.

M. DUPONT de son côté, étudie la sédimentation actuelle du lac Tchad, tandis que M. CHEVERRY étudie les processus pédologiques de salinisation et d'alcalinisation des sols des polders riverains du lac Tchad.

Pour ce qui est de la géochimie du passé, M. SERVANT étudie les formations quaternaires lacustres tandis que Mme SERVANT s'intéresse aux diatomées fossiles; l'interprétation des faits sédimentologiques passés devant se faire à la lumière des connaissances acquises sur les phénomènes géochimiques actuels.

En ce qui me concerne, j'étudie en quelque sorte le dernier maillon de cette chaîne, c'est à dire la dynamique de la formation des évaporites dans les cuvettes interdunaires du littoral nord-est du lac Tchad.

Le bassin tchadien représente en effet un magnifique exemple de bassin endoréique intracontinental et il serait séduisant d'en établir un bilan géochimique.

Le lac Tchad actuel s'étend de 12° 2 à 14° 3 de latitude nord et de 13° 0 à 15° 3 de longitude est, à une altitude moyenne de 282 m au dessus du niveau de la mer.

Tel qu'il se présente de nos jours avec ses 22.000 km<sup>2</sup> au centre des 2.300.000 km<sup>2</sup> du bassin tchadien, il ne représente qu'une phase résiduelle d'un paléo Tchad qui au cours du IV récent couvrait jusqu'à 330.000 km<sup>2</sup>. Son existence actuelle est évidemment liée aux apports fluviaux.

Les apports des fleuves au lac sont en année moyenne de 40 milliards de m<sup>3</sup>, dont les 95 % sont dus au système du Chari (Chari-Logone-Bahr-Ergig); il reçoit d'autre part environ 300 mm de précipitations moyennes annuelles, soit 6,6 milliards de m<sup>3</sup>. Ces apports compensent les pertes par évaporation et par infiltration.

Les eaux du Chari à Fort-Lamy, d'après les études récentes de M. ROCHE présentent une charge soluble de 50 mg/l. On peut donc estimer les apports annuels au lac Tchad à 2.000.000 de tonnes de sels solubles.

Le problème majeur est donc de savoir quel est le mécanisme qui contrôle la régulation saline de ce lac sous émissaire visible, puisque, bien que connaissant des variations interannuelles de son niveau, fonction de l'intensité des apports qu'il reçoit, il se caractérise par des eaux étonnamment peu minéralisées sous un tel climat subaride et d'autre part ne présente pas d'augmentation de salinité dans le temps.

Où passent donc ces 2 milliards de tonnes de sels ?

Des évaporites se forment annuellement dans les cuvettes interdunaires du littoral nord-est du lac. Sont-elles suffisantes pour expliquer le mécanisme

.../...

de régulation saline des eaux du lac Tchad, c'est en somme la question à laquelle nous aimerions que les recherches actuellement menées nous permettent de répondre.

Afin que vous puissiez prendre contact avec les problèmes que je vais ensuite rapidement vous exposer, je pense que vous ne verrez pas d'inconvénient à ce que nous passions quelques diapositives qui seront certainement plus parlantes que de longs discours.

Il ne sera pas question ensuite de vous faire un brillant exposé académique. Je n'en ai pas les compétences, modeste "geologist scientist" que je suis selon une expression de M. Van ALPHEN. J'essaierai de vous tracer les grandes lignes de mon programme, les premiers résultats obtenus et surtout les problèmes qui restent à résoudre. Et, puisque j'ai la chance, à l'image de la densité de la population hollandaise, d'avoir comme auditoire une telle densité d'experts au m<sup>2</sup>, je souhaite que la discussion que nous pourrons avoir ensuite m'aide à trouver des éléments de réponses aux questions encore en suspens.

## I - SITUATION GEOGRAPHIQUE.

Les phénomènes de salinisation et les dépôts salins se localisent au fond des dépressions interdunaires du littoral nord-est du lac depuis la frontière avec le Niger jusqu'à Doum-Doum.

Les salines actuellement exploitées sont réparties entre 13° 40' et 14° de latitude nord et 14° 10' et 14° 20' de longitude est. Une dizaine fonctionnent chaque année, donnant de 7 à 10.000 tonnes de sel/an.

Figure 1 et coupe WE.

La région correspond à un erg ancien orienté NNW.SSE dont les creux furent envahis et comblés par les sédiments fins d'une transgression lacustre.

## II - CLIMATOLOGIE.

Cette région appartient à la zone sahélo-saharienne d'Aubrevillé et correspond à un climat subdésertique, caractérisé par :

- L'alternance d'une longue saison sèche et d'une courte saison des pluies (de mai à septembre).

- Des températures très élevées.

- Une très grande sécheresse de l'air.

Pour la station de Bol-Dune sur la période 1957-1966,

1°) Les précipitations moyennes annuelles ont été de 330 mm réparties sur 29 jours de pluies ; 50 % du total tombant en août.

2°) Les températures moyennes de l'air passent par quatre valeurs extrêmes :

- 2 maxima : le plus élevé en avril-mai (fin saison sèche) : 32°C  
le second en octobre (fin saison des pluies) : 29°C

.../...

- 2 minima : le plus accusé en janvier (saison sèche) : 23°C
- le second en août (milieu saison pluies) : 28°C

La température moyenne annuelle est élevée : 28°C.

3°) L'état hygrométrique défini par l'humidité relative de l'air est caractérisé par sa grande sécheresse, et une alternance saison sèche-saison humide,

- 36 % de moyenne annuelle
- 9 mois inférieurs à 50 %
- 6 mois inférieurs à 30 %

4°) L'évaporation sur Bas Colorado enterré à Bol présente 2 maxima (mars-avril et octobre-novembre) encadrant 2 minima (décembre-janvier, et août). La moyenne annuelle est de 3.230 mm.

Nous avons donc un grand déficit pluviométrique, seul le mois d'août est excédentaire.

### III - HYDROLOGEOLOGIE ET HYDROLOGIE DU LAC.

M. J.L. SCHNEIDER du BRGM a dressé en 1966, à partir de relevés barométriques, la morphologie de la nappe phréatique qui est schématiquement représentée sur la carte 1.

La présence d'une dépression dans la nappe, au delà de la zone des salines, provoquerait un double écoulement vers ce point bas, depuis le lac Tchad et depuis le dôme du Chitati que l'on peut considérer comme une nappe "fossile"

Nous avons personnellement une étude d'isotopes stables en cours, en collaboration avec M. FONTES, mais les résultats sont encore fragmentaires. J'ignore d'autre part si la synthèse hydrologique réalisée par la FAO est venue confirmer ce schéma hydrologique, mais M. SCHULZE pourra peut être nous apporter des renseignements à ce sujet.

Le niveau du lac Tchad varie au cours de l'année, directement influencé par les apports fluviaux ; à son tour il induit les variations de la nappe phréatique sur sa bordure.

La figure 2 montre ces variations ; le maximum se situe en janvier et le minimum début août.

La minéralisation des eaux du lac exprimée ici par la conductivité est liée aux variations du plan d'eau par un régime inverse : montée des eaux / dilution, baisse des eaux / concentration.

### IV - HYDROCHIMIE DEPUIS LE LAC JUSQU'AUX SALINES.

Depuis le rivage du lac Tchad jusqu'aux salines le faciès hydrochimique de la nappe montre des variations qui sont schématisées sur le diagramme de

.../...

PIPER (figure 3).

Avec la concentration, on assiste à une montée des alcalins par rapport aux alcalino terreux, sans encore pouvoir attribuer la part qui revient à un échange de bases entre l'eau et les argiles de l'aquifère et à la précipitation de  $\text{CaCO}_3$ . L'eau ne se concentre que très peu dans l'aquifère sableux, même sur de grandes distances. Tout se passe dans les 3 à 400 m de l'aquifère argileux des ouadis. Des bords vers le centre des salines, le faciès se déplace du point C vers le point D. Ce déplacement peut s'interpréter soit comme une précipitation de  $\text{CaSO}_4$ , soit comme une réduction des sulfates.

Cependant du fait de l'inégalité  $(\text{Ca}) \ll (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$  montrant qu'il n'y a pas assez de Ca pour saturer les carbonates qui précipitent en premier, il semble s'agir en fait d'une réduction biologique des sulfates pour laquelle nous avons comme arguments :

- Couleur noire de l'argile qui présente des couleurs de réoxydation dès quelle est à l'air .

- Odeur fétide d' $\text{H}_2\text{S}$ .

- Potentiels redox Eh, très fortement négatifs de la nappe et de l'argile baignée par la nappe, alors qu'ils deviennent rapidement positifs vers la surface.

Nous comptons lancer une étude microbiologique au cours de ce prochain séjour.

Exemple si les gens le désirent.

#### V - AU POINT DE VUE DYNAMIQUE DE LA PHASE SOLUBLE DES SEDIMENTS.

C'est là où nous avons des problèmes pour essayer d'avoir une image aussi exacte que possible de la réalité.

Les difficultés sont dues à l'hétérogénéité du milieu, à sa concentration et aux techniques d'extraction qui ne nous donnent pas satisfaction et que nous allons remplacer par une méthode par pressage hydraulique.

Exemple d'analyses si nécessaires.

#### VI - SELS MINERALOGIQUEMENT EXPRIMES.

La figure 4 résume sur un diagramme triangulaire les différents minéraux, la plupart non signalés au Tchad, que nous avons pu mettre en évidence par diffractométrie X.

Un des sujets d'étonnement est de ne pas avoir trouvé à ce jour de sels potassiques minéralogiquement exprimés alors que dans les saumures qui arrivent à sec en fin de saison sèche on trouve jusqu'à 4,7 % de K de la somme des cations en me/l.

Notre propos est d'essayer de raisonner, une fois le bilan minéralogique terminé, sur la mise en place de ces sels en termes thermodynamiques, comme cela est fait par le Prof. W.P. EUGSTER à propos des lacs salins américains.



Un point important de notre étude concerne l'influence des circulations carbonatées sodiques sur le stock argileux originel, c'est à dire les transformations et néoformations de minéraux argileux.

Nous avons mis en évidence la néoformation de Magadiite,  $\text{NaSi}_7\text{O}_{13}(\text{OH})_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ , nouveau minéral trouvé pour la première fois par EUGSTER au lac Magadii en 1967 et durant notre stage à Utrecht trouvé 2 minéraux non répertoriés dans les fiches ASTM, dont un silicate de calcium qui reste à déterminer.

Ces problèmes nous conduisent donc à étudier le comportement géochimique de la silice en milieu confiné carbonaté sodique en collaboration avec le laboratoire du Prof. MILLOT à Strasbourg.

#### VII - QUE PEUT-ON DIRE DE PLUS ?

Que nous avons réussi à avoir une image qualitative des phénomènes au cours de ce premier séjour ; et que nous essaierons de passer à l'aspect quantitatif mais que cela présentera d'énormes difficultés en raison de l'hétérogénéité du milieu ; chaque cuvette présentant sa "physiologie" propre (fonction de la profondeur de la nappe, de l'état de sa minéralisation), il est hasardeux d'extrapoler à partir de l'étude d'une cuvette prise comme séquence unitaire pour arriver à un bilan.

La comparaison du chiffre de tonnage de sels susceptibles de cristalliser à partir des sels solubles apportés annuellement par le Chari avec celui du tonnage potentiel de sel qui se déposerait annuellement dans les cuvettes (calculé à partir d'un rendement potentiel à l'hectare déduit des chiffres fournis par la SONACOT qui commercialise le "natron") a montré qu'ils sont du même ordre de grandeur ( $10^6$  tonnes).

Avant de conclure que la régulation saline du lac Tchad est entièrement assurée par le dépôt d'évaporites sur son pourtour NE, il conviendrait d'avoir une idée des pertes du lac en direction de la fosse du Chari-Baguirmi et du Bahr-el-Ghazal; de connaître les relations lac-rives du Nigeria.

C'est en ce sens que le travail de synthèse hydrologique auquel a participé M. SCHULZE est attendu avec intérêt. Et pour conclure une petite phrase historique :

Car en fait, les sels solubles ne sont que le cavalier, la monture qui véhicule le phénomène c'est l'eau, Aqua simplex !

-:-:-:-

Une discussion d'1 h 30 a succédé à l'exposé.

-:-:-:-