

**T H È S E**

présentée

pour l'obtention du

**DIPLOME DE DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE**

à

**L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE  
– Paris 6 –**

**Spécialité : PÉDOLOGIE**

par

**ÉZAT Ezatullah**

**ÉTUDE SUR LE TERRAIN ET AU LABORATOIRE  
DE LA DYNAMIQUE DE REMONTÉE DU BORE ET SES CONSÉQUENCES  
SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DES SOLS, DES EAUX ET DES PLANTES  
DANS QUELQUES PROFILS DE LA RÉGION DE KABUL (Afghanistan)**

Soutenue le 1977 devant la Commission composée de :

**MM. P. ROGNON** Président

**A. JAUZEIN**

**J. BOULAINÉ** Examineurs

**B. DABIN**

**O. R. S. T. O. M.  
PARIS  
1977**

AVANT - PROPOS

---

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail par leurs conseils, leur soutien moral et leur gentillesse :

Monsieur le professeur ROGNON P., professeur à l'Université de PARIS VI, qui a bien voulu accepter de présider la Commission du Jury.

Monsieur le professeur BOULAINÉ J., professeur à l'Institut National Agronomique PARIS-GRIGNON, qui a critiqué et guidé mon travail, malgré toutes ses préoccupations. Ainsi, il m'a consacré une grande partie de son temps, afin de me conseiller, de me diriger et de me faire profiter de sa grande connaissance des sols du monde.

Je tiens à remercier Monsieur le professeur JAUZEIN A., professeur à l'Ecole Normale Supérieure, qui a bien voulu faire partie des membres du Jury.

Monsieur DABIN B., Chef des laboratoires communs de l'ORSTOM, qui s'est montré toujours disponible pour corriger mes manuscrits et me donner de précieux conseils. Je tiens particulièrement à le remercier vivement et à lui exprimer ma profonde reconnaissance.

Monsieur AUBERT G., directeur de la section de pédologie de l'ORSTOM lors de mon arrivée et maintenant professeur de pédologie dans ce même organisme, qui m'a autorisé à effectuer ce travail dans son service.

Monsieur LAMOUREUX M., directeur des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM, n'a jamais hésité à m'aider et je lui exprime ma profonde reconnaissance.

Monsieur PIAS J., m'a proposé le sujet de cette thèse, il m'a fait part de ses connaissances sur les sols d'Afghanistan et il m'a sensibilisé à de nombreux problèmes. Je tiens à le remercier du fond du coeur.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur PINTA M. et à tout le personnel de la section de spectrographie qui m'ont offert si gentiment leur concours.

Je remercie Monsieur RABECHAULT H., Chef de la section de physiologie végétale, de m'avoir permis d'effectuer mes analyses de plantes dans son laboratoire.

J'adresse mes remerciements à Madame CAS qui a fait preuve d'une extrême gentillesse et qui m'a beaucoup aidé.

Monsieur HIERNAUX C.R., et ses collaborateurs qui ont eu la grande gentillesse de contribuer administrativement à la réalisation de ce travail.

J'adresse enfin mes remerciements à mes amis ..... et ISMAIL H., avec qui j'ai eu des discussions très instructives et fructueuses dans une ambiance fraternelle et amicale.

## PREMIERE PARTIE

=====

### INTRODUCTION

L'Afghanistan est un pays montagneux, situé entre 29°-38° de latitude Nord, 60°E-75° de longitude Est, et occupant une superficie de 650.000 km<sup>2</sup> (65 millions d'hectares) au coeur de l'Asie Centrale.

Situé à l'Est de l'Iran, à l'Ouest du Pakistan, au sud de l'U.R.S.S., l'Afghanistan est limité également au Sud par le Pakistan.

88% de la population ont comme préoccupation l'agriculture et produisent environ 70% des besoins de notre pays et 90% de l'exportation.

Les sols agricoles représentent environ 3 millions d'hectares (12,3% de la superficie totale), dont 5 millions quatre cent milles hectares (67,5% de 12,3%) bénéficient d'eaux d'irrigation par les rivières (Abi). Le reste, c'est-à-dire 2 millions six cent milles hectares (32,5% de 12,3%) sont occupés par des cultures sèches (Lalmi).

La prospective agricole de l'Afghanistan est encourageante vu sa faible densité de population (un habitant par 4,6 ha). Le développement de l'agriculture rationnelle, grâce aux recherches dans/de la géomorphologie, de la pédologie et grâce au classement des sols, connaît enfin une base scientifique depuis quelques années.

Actuellement, l'agriculture de l'Afghanistan est centralisée dans des vallées qui sont irriguées par les eaux des rivières, mais la construction des barrages d'irrigation crée des possibilités d'irriguer les sols non cultivés et abandonnés.

Nos études sont consacrées à la région de Kabul (104.300 hectares de sols cultivés) et spécialement aux sols hydromorphes et halomorphes.

.../...

Notre travail a comporté trois phases :

- La première est l'étude du terrain où nous avons étudié 3 profils, dont nous avons prélevé des échantillons des eaux de nappes, et également quelques échantillons de plantes qui se trouvent sur les mêmes sols.

- La deuxième constitue la partie Laboratoire. Nous avons fait toutes les analyses classiques des échantillons puis nous nous sommes intéressés spécialement à l'étude du Bore (problème spécifique des pays arides et semi-arides - signalé par NASSYROV en 1965 dans la plupart des sols Afghans).

La région étudiée a connu, de ce fait, des problèmes signalés pour la première fois par Monsieur PIAS, Directeur de Recherche ORSTOM. C'est cette observation qui est à l'origine de cette étude que ce chercheur a dirigée.

- Enfin, dans la dernière phase, nous avons étudié expérimentalement le phénomène de remontée capillaire du Bore sur les colonnes du sol reconstituées aux laboratoires.

Avant de présenter les résultats de notre étude, nous donnons en introduction, un résumé de différents travaux qui ont été faits dans le monde sur l'importance du Bore chez les animaux et les végétaux.

### Historique des travaux sur le Bore

Il existe de nombreux travaux concernant les dosages du Bore dans les eaux, les sols et les plantes, qu'il est difficile de donner ici dans l'ordre chronologique.

En 1895, DUPASQUIER a trouvé du Bore dans les crucifères (cresson), puis en 1913, G.BERTRAND a confirmé la présence de Bore dans les végétaux et animaux, qualitativement.

#### - Bore chez les animaux

G.BERTRAND (1913) constate que la teneur en Bore varie d'un animal à l'autre, et que les poils et les cornes d'un même animal sont plus riches que le reste du corps.

Dans les laits, on constate que celui de femme contient

.../...

0,03 ppm (mg/l) de Bore, celui d'anesse 0,10 ppm et le lait de vache 0,20 ppm.

Dans les oeufs, le blanc et le jaune contiennent des doses différentes de Bore. Dans l'oeuf de poule le blanc contient 1 ppm de Bore et le jaune 0,016 ppm.

- Bore chez les végétaux

Le Bore dans les plantes varie d'une espèce à l'autre, et les différentes parties d'une même plante ont des teneurs en Bore différentes :

Blé = 10,4 ppm; Soja : 10,7 ppm; Radis = 14,4 ppm;  
Haricot = 16,7 ppm.

Pour les diverses parties d'une même plante, par exemple celles du Theobroma Cacao, les résultats obtenus sont les suivants:

Tégument : 7,9 ppm - Cotylédon : 7,7 ppm : Germe : 11,6 ppm de Bore

Pour le Fava Vulgaris, les résultats sont :

Tégument : 14,3 ppm : Cotylédon : 10,7 ppm : Germe : 12,5 ppm de Bore.

En 1910, AGULHON constate que les plantes vivaces ligneuses sont plus riches en Bore que les plantes naturelles. En 1936 et 1937 WAAL et G.BERTRAND montrent que les monocotylédones (chiendent 2,9 ppm) sont plus pauvres que les dicotylédones (chardon 8 ppm), mais ils concluent que la règle n'est pas générale.

D'où vient ce Bore ? et comment explique t-on les différences de teneur en Bore d'organes différents dans une même plante ?

On peut facilement répondre à la première question : le Bore provient du milieu sur lequel la plante se trouve et la concentration totale de Bore dans un végétal dépend de la richesse du milieu nutritif. Quant à la seconde question, elle reste posée dans l'état actuel de nos connaissances.

La teneur en Bore du milieu reste-t-elle constante ? Elle varie en fonction d'autres paramètres; ainsi l'excès d'un autre élément tel que le calcium entraîne une augmentation du pH apportant un blocage du Bore dans le sol. Il y a donc <sup>interaction</sup> entre le Bore et les Carbonates (1936 - BARBIER, 1974 VILLY).

.../...

Par contre un excès de Potassium et de Sodium joue le rôle inverse, c'est-à-dire une libération de Bore dans le milieu (DAMOUR 1974). Les horizons organiques peuvent contenir une quantité de Bore supérieure à celle des horizons minéraux (PINTA, AUBERT 1971).

Le climat joue également un rôle important sur le contenu en Bore d'un sol, la période humide peut diluer le Bore du milieu et déclencher ainsi son entraînement dans les profondeurs du profil. Par contre, la saison sèche favorise la remontée du Bore par capillarité, et donne une concentration élevée en Bore dans les horizons de surface.

Chaque type d'argile a un comportement différent vis à vis de la rétention du Bore dans le sol (HINGSTON 1964). On a montré que dans un sol à Kaolinite, la teneur en Bore varie de 0 à 3 ppm, dans un sol à Illite de 0 à 10 ppm et dans un sol à Montmorillonite de 0 à 15 ppm.

La zone géographique agit également à son tour sur la teneur en Bore des sols. M. PINTA (1971) a constaté, par exemple, qu'en zones tempérées et boréales on obtient une moyenne de 1,3 à 4,3 ppm sur un sol limono-argileux sans sable (Estonie), en région aride et semi-aride 160 ppm sur un sol salé à alcali (Ouzbakistan), et en région tropicale de 0,4 à 3,3 ppm de Bore (Chine).

#### Conséquences : carence et de toxicité.

Plusieurs symptômes peuvent être observés en cas de carence : arrêt de la croissance de la plante, les feuilles deviennent cassantes; un apport de Bore peut donner un "coup de fouet" à la plante qui reprend sa croissance.

Dans le cas d'un excès de Bore, il apparaît sur les bords de la feuille des chloroses, les bouts de feuille devenant nécrosés, d'où l'arrêt de la croissance de la plante, la fleur reste petite. Les limites entre les carences et la toxicité sont proches et varient d'un pays à l'autre.

Chez les animaux, on n'a pas constaté d'anomalie de carence en Bore, et on ne possède pas de données concernant l'excès de Bore.

.../...

## CHAPITRE I

### I - GENERALITES SUR LA GEOGRAPHIE DE LA REGION DE KABUL

#### 1.1 - Situation géographique de "TCHAMAN".

La région étudiée "TCHAMAN" est une petite dépression située au Sud de Kabul, au Nord de Nyazi, à l'Est de la route Kabul-Paktia et à l'Ouest de Bagrami-Kamari.

#### 1.2 - Climatologie.

Les stations météorologiques du bassin de Kabul ne fonctionnent que depuis une quinzaine d'années et les observations portent sur les éléments suivants :

- Précipitations
- Insolation
- Température
- Humidité relative de l'air,

et depuis peu de temps certaines stations sont équipées d'un évaporomètre de PICH.

Nous allons donner très brièvement, sous forme de tableau récapitulatif, certaines données météorologiques. (voir tableau page suivante).

##### 1.2.1 - Précipitations

Les mois les plus humides du bassin de Kabul se situent entre Janvier et Mai, entre Novembre et Décembre. Les cinq autres mois sont presque secs ou avec pluies négligeables. Nous remarquons que les cultures sont effectuées aux mois de Novembre et Décembre, et que pendant les mois d'été les déficits en eau sont très forts.

##### 1.2.2. - Température

La température moyenne des mois les plus chauds ne dépasse pas 25° dans le bassin de Kabul, alors que pendant les mois les plus froids, la température arrive à - 2°C.

.../...



1.2.3. - Humidité relative.

L'humidité relative des mois les plus secs se situe entre 40 et 48%, mais pour les mois les plus humides elle ne dépasse pas 71%.

1.2.4. - Evapotranspiration potentielle.

Elle est calculée d'après la formule de THORNTHWATTE :

$$ETP = 16 \frac{(10 T)^a}{I} F (1)$$

T = température moyenne de maïs secs en °C

a = fonction de I

I = indice thermique annuel, somme des 12 mois  
d'indice thermique mensuel :

$$I = \frac{12}{1} i$$

F (1) = terme correctif, est en fonction de la durée  
théorique d'insolation

à l'exception des trois mois d'hiver, c'est-à-dire de Décembre à fin Février, l'évapotranspiration potentielle est importante.

Aux mois de Mars et Avril, les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle, alors que durant les mois de Mai-Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre et parfois Novembre, c'est l'évapotranspiration potentielle qui domine sur les précipitations. Le déficit en eau est en partie compensé par l'irrigation.

1.2.5. - Insolation

Les mois les moins ensoleillés sont toujours les mois d'hiver, c'est-à-dire de Décembre à Février; cependant, on peut remarquer une insolation de durée moyenne de 6 heures par jour, alors que les mois les plus ensoleillés, de Mai à Septembre, possèdent un ensoleillement supérieur à 10 heures en moyenne par jour.

.../...

### 1.2.6. - Vent

La vitesse du vent est évaluée à l'aide d'un anémomètre installé à une certaine hauteur de la surface du sol (10 m). On exprime cette vitesse en mètre par seconde ou en kilomètres par heure.

On constate qu'il n'y a pas une très grande différence de vitesse du vent entre les mois d'hiver et ceux d'été. Cependant, la vitesse du vent d'été est légèrement supérieure. Cette légère supériorité qui s'ajoute à l'effet thermique proprement dit, justifie l'emploi des brises vents.

### Conclusions

Les précipitations des mois de Décembre, Janvier, Février sont intéressantes car cela se traduit par un enneigement qui couvre les cultures et les protège des froids de l'hiver (- 2°6). Les mois pluvieux de Mars, Avril et Mai sont favorables car les sols sont dégelés et une partie importante des pluies pénètre dans le sol et par conséquent réalimente les sources, tandis qu'une partie importante se transforme en torrent (débit de précipitation supérieur par rapport à l'infiltration) et provoque des dégâts importants à plusieurs points de vue, humain et agronomique (érosion des sols).

Les mois les plus secs : Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre bénéficient du maximum d'ensoleillement de température et de vitesse du vent, ces paramètres se conjuguent pour augmenter l'évapotraspiration potentielle qui se traduit par un déficit en eau maximum, compte tenu de la faiblesse des précipitations.

L'action du vent ne se limite pas là, il existe d'autres effets néfastes, en particulier il soulève les particules fines du sol. Après quelques années, le sol est érodé et devient sableux.

### 1.3 - Hydrologie de la région de KABUL

Dans la région de Kabul, le déficit en eau se produit comme on l'a vu précédemment, de Mai à Novembre, mais les rivières ont leur crue au printemps.

Nous nous intéresserons spécialement à deux rivières : Kabul et Logar. La région étudiée bénéficie, pour l'irrigation, de leurs eaux.

.../...

### 1.3.1 - Rivière de KABUL

Elle prend naissance à une altitude de 3500 m à l'Ouest de Paghman, précisément à la vallée Onaï. Elle coule au début en direction Est-Ouest, traversant à une grande vitesse la vallée de Maïdan.

Après quelques kilomètres, elle change son itinéraire en direction Sud-Ouest. Après avoir irrigué la région de Shaha-boudin et la vallée du Maïdan, puis du Sud-Ouest de Kohé-Korogh aux défilés de Lalandar, elle arrive au Tchahar-Déh qui bénéficie également de l'eau de cette rivière.

Après le passage du Gozar-Gâh, elle partage la ville de Kabul en deux parties, zone Nord et zone Sud. Aux approches de Shina et Bagrâmi, elle rejoint son confluent "Rivière de Logar" que nous allons voir ultérieurement.

Le débit moyen mensuel est de 250 m<sup>3</sup>/s en 1965.

### 1.3.2. - Rivière de LOGAR

C'est un des affluents de la rivière de Kaboul, elle prend sa source à une altitude de 3200 m et dans le mont Hazâra "Behsoud". Au début, elle choisit la direction Ouest-Est après avoir dessiné quelques méandres dans la région montagneuse de Tchaké-Wardak, elle traverse Sheikh-Abâd, puis elle rejoint le Barakî-Barak de Logar.

Au début sa vitesse est grande, puis à la traversée de larges bassins celle-ci diminue et la rivière rejoint les eaux de Tcharkhé-Loger qui prennent naissance à l'Est de Kohe, Molina et Shîr-Daha.

La rivière de Logar, après avoir irrigué la vallée de Logar, arrive à la vallée de Kabil, irrigant les régions du Sahâk, Shewaki, Kamak, Bagrâmi et Shîna d'une part, et les régions de Déhé-Yacoub, Nyâzi, Beni-Hessâr et Shâh-Shahî d'autre part.

La période torrentielle et les crues de cette rivière se produisent au printemps comme toutes les rivières d'Afghanistan, L'originalité de cette rivière est qu'elle possède de l'eau en permanence, même pendant la sécheresse, d'où son importance.

Le débit annuel de cette rivière peut plus ou moins varier en fonction des autres facteurs climatiques généraux de l'Afghanistan. Cependant, les chiffres ci-dessous nous donnent une idée de son importance :

.../...

D = 498 m<sup>3</sup>/s 1965, année sèche peu marquée  
D = 452 m<sup>3</sup>/s 1967, année sèche.

#### 1.4 - Géologie et Géomorphologie de la région de KABUL

La région de Kabul est entourée par des hautes montagnes dans lesquelles les roches métamorphiques sont dominantes.

Les affluents de la vallée de Kabul sont : Ghorband, Panoj-Sher, Shakar-Dara au nord de Kabul, et Logar au sud de Kabul (chaque vallée est séparée de la suivante par des hautes montagnes). Les vallées du Nord sont étroites vers leurs confluent avec Kabul et montrent trois terrasses distinctes et séparées par des escarpements d'un à deux mètres de hauteur.

Les sols sont formés sur des dépôts d'alluvions comme le montrent les alternances de texture grossière et de texture fine dans le profil.

La vallée de Kabul est divisée par des défilés en petits bassins. Les sols sont des origines mixtes d'apport colluvial et alluvial et souvent couvert par des dépôts d'irrigation.

La nature des roches des bassins versants qui dominent le TCHAMAN est encore très mal connue. Nous ne disposons que d'une carte géologique au 1/5.000.000 insuffisante pour apprécier la vraie nature des roches.

A titre purement indicatif, voici les résultats de l'analyse minéralogique des sables du profil. (Voir page suivante)

.../...

DETERMINATIONS MINÉRALOGIQUES

Tableau 1 - Etude des sables d'un profil

Fraction 50 - 550 - Pourcentages numériques  
microns

	Transparents	Altérés	Opagues	% Pondéral
16	68%	26%	11%	2,64%
21	57	35	8	1,09
39	57	30	7	0,53
42	63	29	8	1,42

Tableau 2 - Minéraux transparents du profil étudié ci-dessous.

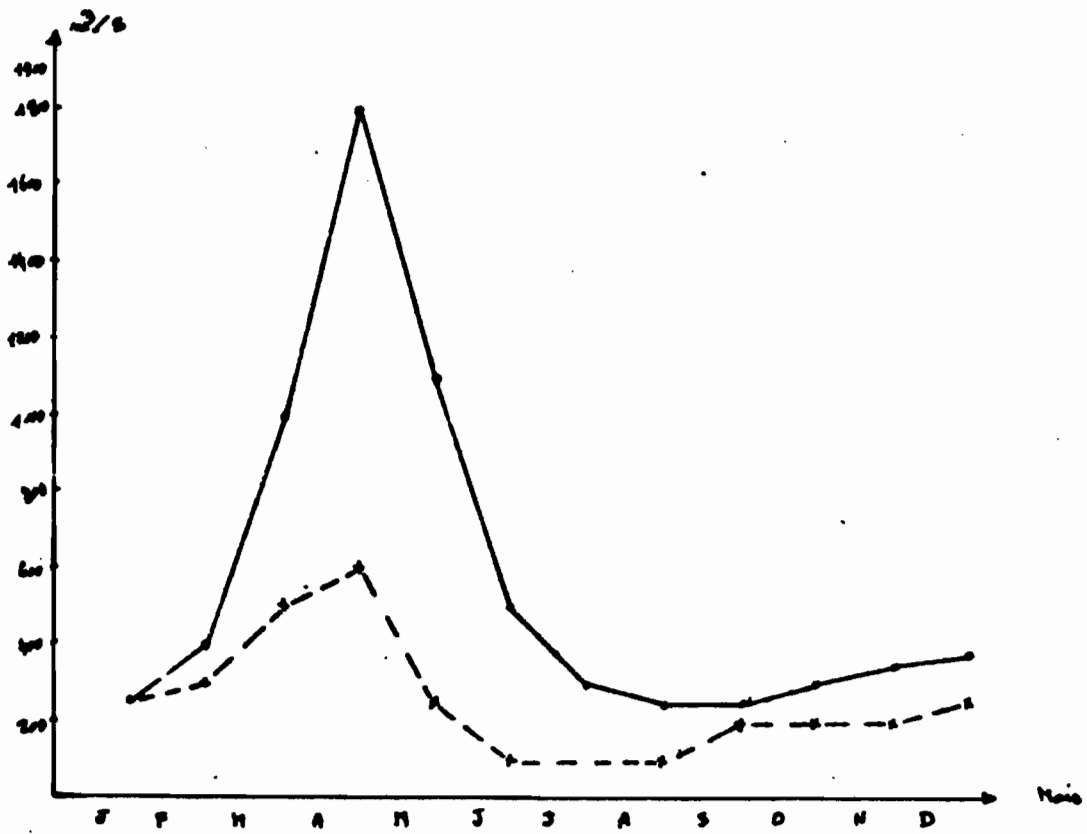
Fraction 50 - 500 - Pourcentages numériques

	Pyroxines Monocliniques	Hornblandes Trémolites	Sillite- monite	Grenat	Epidote	Zircon
16	9	58		5	32	1
21	2	55		4	39	
39	9	48	2	2	39	
42	6	53		5	36	

Présence de calcite.

Ce sol provient, vraisemblablement, de l'érosion de roches métamorphiques.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
LOBAR	350	400	1000	1900	1100	500	300	250	250	300	350	400
KABUL	250	300	500	600	250	100	100	100	200	200	200	250



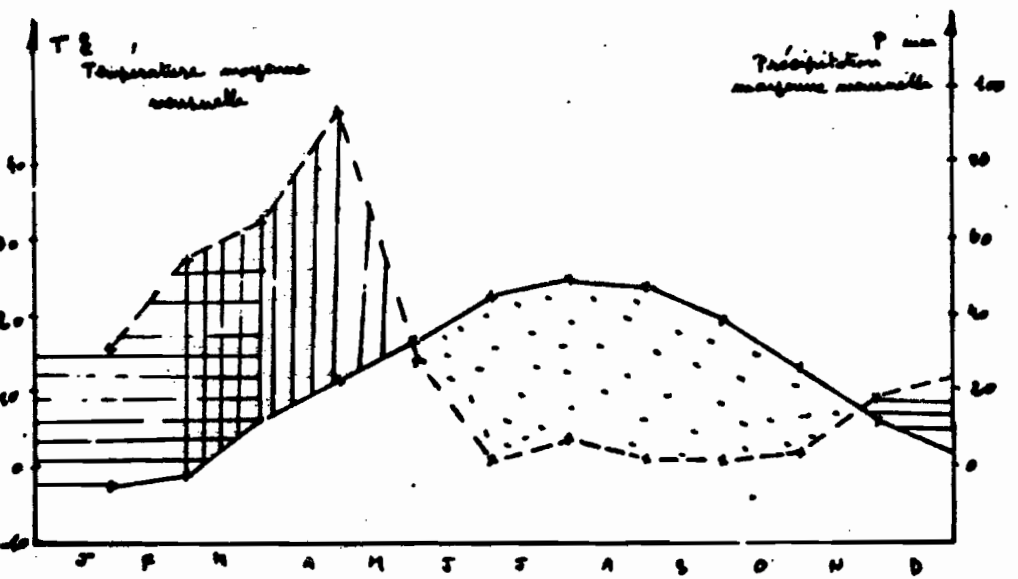
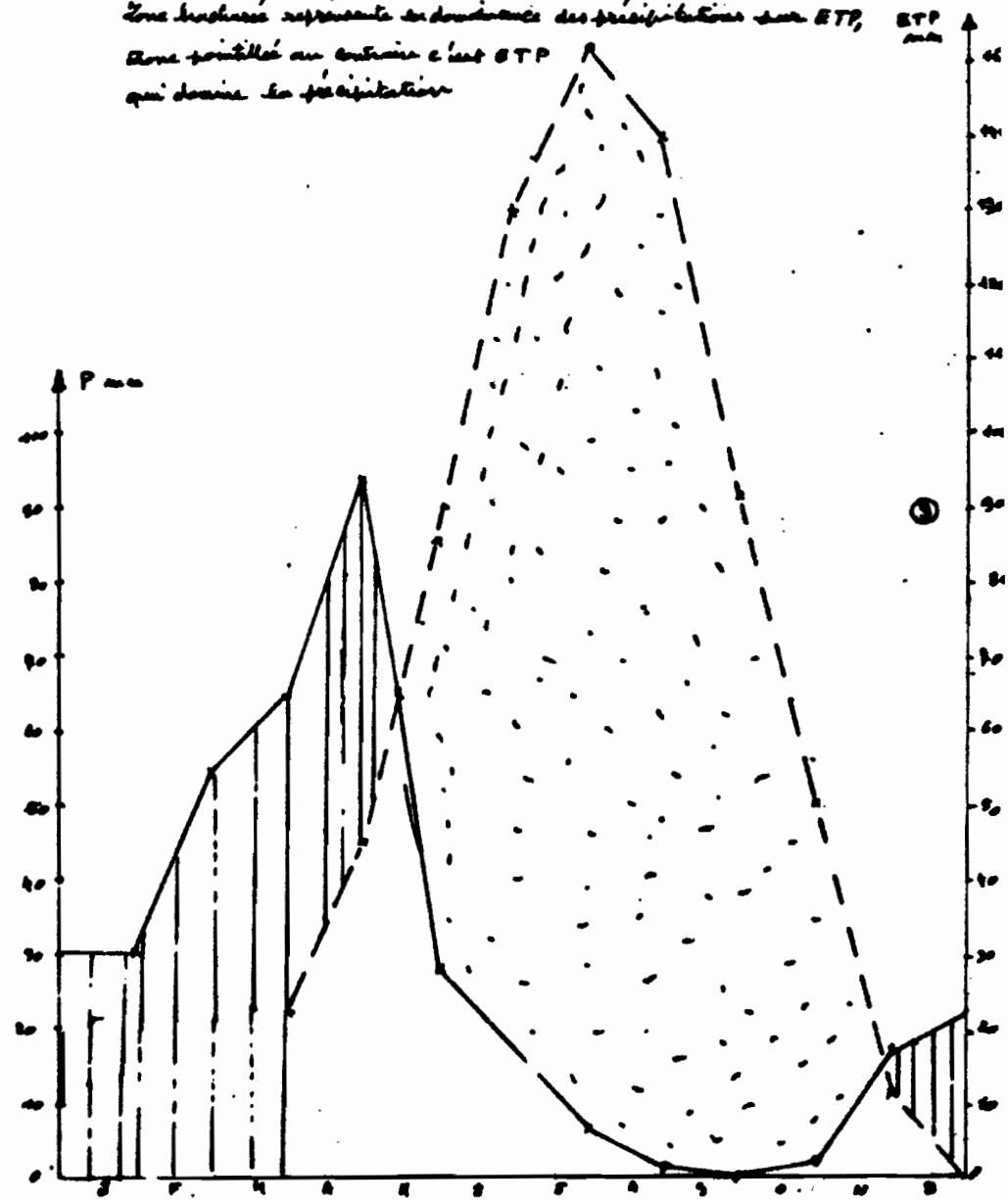
Courbe de débit mensuel en m<sup>3</sup>/s des deux rivières de notre région étudiée

— LOBAR  
 --- KABUL

1965

①

Courbe de P et ETP  
 Les hauteurs représentent en dominance des précipitations sur ETP,  
 donc pointées au contraire c'est ETP  
 qui domine la précipitation



Courbe ombre-thermique du bassin de Kabal

- 1- lorsque la courbe de P et T sont confondues, les besoins en eau théoriquement sont satisfaits pour une couverture végétale continue.
  - 2- si la courbe  $T > P$ , la période est déficitaire en eau.
  - 3- lorsque la courbe  $P > T$ , il ya excès d'eau.
- Remarque : hachure horizontalement représente la P sous forme de la neige (ou glace).  
 hachure horizontalement et verticalement, c'est la fonte de la neige, pointillé représente la période sèche.

## CHAPITRE II - PÉDOLOGIE ET CLASSIFICATION DES SOLS

---

Nous ne possédons pas de classification précise des sols du bassin de Kabul, car les études pédologiques n'existent que depuis peu de temps et sont encore peu importantes. Une étude de prospection sommaire, en vue de la mise en valeur a été faite par les pédologues de la F.A.O. qui distinguent les sols suivants:

- Sols bruns des hautes terrasses (les rives de la rivière de Kabul),
- Sols bruns à texture légère et calcaires (Dar-Amah)
- Sols peu évolués colluviaux à texture légère et calcaires (Tchehel-Stoune),
- Sols hydromorphes (Tchaman, Beni-Hessar, Wazir-Abad).

Dans la classification française, le premier type de sol (sols bruns des hautes terrasses) fait partie de la classe des sols peu évolués, sous classe de sol peu évolué non climatique, groupe de sol peu évolué d'apport alluvial.

Nous sommes en accord avec la classification de la F.A.O. en ce qui concerne les troisième et quatrième types de sol, mais nous avons un doute sur la classe II où dans la classification française on précise le degré de lessivage d'argile, la matière organique, le développement du profil. Or, à l'exception de la matière organique présente, il n'y a pas de développement de profil proprement dit dans ce type de sol.

Nos études sont situées dans les zones des sols hydromorphes. Nous avons étudié 3 profils qui sont décrits successivement, puis nous donnons les résultats d'analyses que nous interprétons.

### 2.1 - Les descriptions des profils

Profil n° 3 A :  
 Région de BENI-HESSAR - KABUL - AFGHANISTAN  
 Localité : Entrée de la ferme, en quittant la route  
 Kabul-Paktia à droite  
 Altitude : 1966 m.  
 Précipitations : 300 mm  
 Roche-mère : limon

.../...



Végétation : Salix, Acacia, Zyzypus, Marus, Carduus, Panicaut, Datura et quelques autres plantes épineuses en coussinet.

- 0 - 15 cm : Sec, 2,5 Y 5/2, compact, tassé, probablement dû aux passages de gros engins, sans tâches, un peu de matière organique bien mélangée avec le sol. Texture limono-sableuse, structure massive, porosité faible, effervescence à l'acide. Consistance à l'état humide, dur à l'état sec, quelques racines, transition diffuse.
- 15 - 30 cm : Sec, 2,5 5/2, un peu plus frais, sans tâches, effervescence à Hcl, texture limono-sableuse, structure massive à polyédrique éoussée, rigide, poreux, transition diffuse.
- 30 - 50 cm : 2,5, Y 5/4, texture qui devient plus limoneuse, structure massive, poreuse, quelques racines, transition diffuse.
- 50-80 cm : 2,5 Y 5/4, assez humide, texture limoneuse, fines pellicules luisantes autour des galeries de vers de terre, mais discontinue, structure massive à polyédrique éoussée, poreux, limite diffuse.
- 80 - 100 cm : 2,5 Y 5/4, les mêmes caractéristiques, mais moins poreux.

#### Caractéristiques de ce sol

Les drainages externe et interne semblent être bons; ces sols sont occupés par les cultures, la récolte principale consiste en blé d'hiver irrigué.

Au niveau 15/30 on trouve quelques petites tâches d'oxydo-réduction dues probablement aux effets de tassement du sol.

A 1 mètre dans le profil, on trouve des débris d'ossements désagrégés.

#### Classification de ce sol

L'ensemble du profil est à peu près homogène et, par ailleurs, ce sol est constamment rajeuni par des apports alluviaux (voisinage d'un canal d'irrigation). On peut le classer

../...

dans les sols peu évolués, sous-classe des sols peu évolués non climatiques et groupe de sols peu évolués d'apport alluvial.

Tableau 2 - Profil n° 3 A

Profondeur cm	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %	M.O. %	C/N	C.E. mmhos/cm
0/15	16.60	38.60	10.45	14.35	12.20	1.5	7.7	0.5
15/30	20.05	35.65	22.00	12.64	7.15	0.9	13.1	1.6
30/50	19.25	20.17	23.40	14.35	3.30	0.4	0.7	0.9
50/80	14.52	35.00	26.65	15.55	3.50	0.4	5.4	0.6
60/100	16.02	39.20	23.50	15.50	8.45	0.3	6.1	0.6

Nous trouvons, ci-dessus, les résultats granulométriques ainsi que la matière organique et sa répartition dans le profil et C/N. Nous constatons une nette dominance des limons sur les sables; le pourcentage d'argile est faible, le rapport A/LF est de 0,6 environ,  $r = LF/LG = 1,50$ ,  $r = LG/SF = 15$  et  $r = SF/SG = 15$ . La matière organique atteint 1,5% en surface et descend à 0,3% en profondeur.

Le tableau suivant indique la teneur en calcaire actif et total, en fonction de la profondeur du profil.

Tableau 3 : Profil n° 3 A

Profondeur	Calcaire total %	Calcaire actif %	pH Eau %	pH Kel	Conductivité C.E. mmhos/cm
0/15	16.99	11.6	8.2	7.7	0.5 pâte saturée
15/30	19.12	11.5	8.9	8.0	1.6
30/50	10.54	10.0	9.0	8.0	0.9
50/80	10.03	11.5	8.8	7.8	0.6
80/100 et plus	13.85	11.5	8.7	7.7	0.6

Nous constatons une répartition du calcaire total et actif sensiblement constante dans les horizons du profil. Les pH sont élevés dans l'ensemble du profil et les plus élevés s'observent entre 15 et 50 centimètres.

La conductivité électrique la plus élevée correspond également au niveau 15/50 cm (0,9 à 1,6 mmhos/cm). Dans le reste du profil, elle est de 0,5 à 0,6 mmhos/cm.

Tableau 4 : Profil n° 3A

Profondeur	Ca <sup>++</sup> méq/100	Mg <sup>++</sup> méq/100	Na méq/100	K méq/100	S	T
0/15	7.33	18.000	1.56	0.82	27.71	15.00
15/30	7.15	20.10	1.23	0.40	28.88	18.50
30/50	7.25	19.50	0.86	0.30	27.91	21.00
50/80	7.15	19.50	0.50	0.34	27.49	21.00
80/100 et +	7.51	11.10	0.30	0.37	19.28	20.00

Le tableau ci-dessus nous indique la répartition des bases échangeables du profil n° 3 A dans lequel nous constatons un taux élevé de Mg<sup>++</sup> (18 à 20 méq/100) à l'exception de l'horizon de profondeur (11.10 méq/100; le Ca<sup>++</sup> est constant dans le profil, quant au Na il est important à la surface 1.5 méq/100 et il diminue

K est de 0.82 méq/100 en surface, il diminue avec la profondeur (0.37 méq/100) parallèlement avec le sodium. Le profil est saturé dès la surface jusqu'à la profondeur.

Lorsque la somme des bases dépasse T, la différence correspond à la dissolution de MgCO<sub>3</sub>. On notera que le sol a été traité par l'acétate de Na normal à Ph 8.2.

Tableau 5 : Bases échangeables en méq.%

(Voir page suivante)

Lorsqu'il n'y a pas d'excès de Mg solubilisé, la capacité d'échange correspond à la somme des bases échangeables. On observe une dominance de magnésium et de sodium.

.../...

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>+</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S
0 - 15	0.16	1.02	0.90	0.10	2.18
15 - 30	0.12	0.42	0.50	0.01	1.04
30 - 50	0.12	0.33	0.40	0.01	0.85
50 - 80	0.12	0.33	0.30	0.01	1.54
80 - 100 et +	0.90	-	-	-	-

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mé/100	S
0 - 15	0.50	0.60	0.10	0.76	1.96
15 - 30	0.05	0.70	0.10	0.15	1.00
30 - 50	0.05	0.74	0.15	0.05	0.99
50 - 80	0.05	0.70	0.10	0.03	1.88
80 - 100 et +	0.03	0.50	0.04	0.02	0.59

Tableau 5 - Profil 3 A : Sels solubles en mé %.

Profil n° 5 B

Région de BENI-MESSAR - KABUL - AFGHANISTAN

Localité : à l'intérieur de la ferme à gauche de la route  
Kabul-Paktia

Altitude : 1966 mètres

Pluviosité : environ 300 mm

Roche-mère : limon

Végétation : Acacia, Salix, Marus, Champ de blé.

- 0-10 cm : Sec, 2,5 Y 5/2, sans tâches, morceaux de chaume de blé, 2 à 3% de matière organique, effervescence à l'acide, texture limono-argileuse, structure polyédrique moyenne et fine, fentes de retrait très importantes, porosité bonne, friable à l'état humide, mais dur à l'état sec, chevelu racinaire important, transition diffuse.
- 10-25 cm : Dur à l'état sec, 2,5 Y 5/2, friable à l'état humide, sans tâches, effervescence à l'acide, limono-argileuse, porosité importante, chevelu racinaire, galeries de vers de terre importantes, limite diffuse.
- 25-50 cm : Sec et dur, 2,5 Y 5/2, effervescence à l'acide limono-argileuse, structure polyédrique, activité biologique importante, limite diffuse.
- 50-70 cm : 2,5 Y 5/2 à 2,5 Y 5/2, les mêmes caractéristiques.
- 70-100 cm : 2,5 Y 6/2, les mêmes caractéristiques, mais l'activité biologique diminue.

#### Caractéristiques de ce sol

Les horizons de surface sont tassés par le passage de gros tracteurs; on observe quelques petites concrétions noires, mais très localisées et discontinues.

L'ensemble des horizons du profil est assez homogène, seulement les horizons de profondeur paraissent mais étant très sec, il est difficile de voir s'il s'agit d'un recouvrement de particules fines.

Le drainage externe est bon, le drainage interne est également favorable. Ces sols sont occupés par des cultures, surtout des céréales mais également les légumineuses : trèfle, luzerne et des betteraves fourragères. Ces sols sont intensément irrigués par les rivières de Kabul et de Logar, dont nous avons parlé précédemment.

.../...

### Classification du sol

Pour classer ce sol, il y a un petit problème. On ne peut pas constater un grand développement du profil ou plutôt des horizons, donc on doit envisager de le classer en sol peu évolué, mais il y a la présence de la matière organique (2 à 3%) de l'horizon de surface (10 premiers cms) et 1 à 2% à l'horizon profond. Cela ne nous permet pas, en toute rigueur, de classer ce sol en sol peu évolué (la matière organique des sols peu évolués doit être inférieure à 1,5%).

La matière organique est bien évoluée, le C/N est relativement bas et constant (voisin de 7,5), ce qui nous incite à le placer dans la classe des sols brunifiés. Mais il n'y a pas de différenciation dans le profil.

Dans l'immédiat, si on se base seulement sur le non développement du profil, on le classe comme sol peu évolué, sous-classe des sols peu évolués non climatiques, groupe des sols peu évolués d'apport.

Le tableau suivant donne l'analyse granulométrique, la matière organique, ainsi que le C/N de ce sol.

Tableau 6 : Texture et matière organique du profil 5 B

Profondeur cm	Argile	Limons fins %	Limons grossiers%	Sables fins%	Sables gros. %	M.O.	C/N
0/10	24.12	38.50	18.50	10.75	3.35	2.3	7.8
10/25	23-42	37-47	20-70	5.50	3.80	2.1	7.4
25/50	24.35	36.60	19.80	10.50	4.00	1.3	7.5
50/70	24.62	39.52	18.40	8.6	2.7	1.2	7.4
70/100	25.05	36.70	20.00	8.8	3.05	1.2	7.9
100/120	26.17	39.15	20.70	8.0	1.9	0,9	7.4

Nous remarquons une légère augmentation de l'argile 24,12%

.../...

à la surface, à 26,17% dans l'horizon du fond du profil ( A/LF = 0,6, LF/LG = 2, LG/SF = 2 et SF/SG = 2,5).

Les limons sont répartis dans le profil d'une manière relativement homogène (38,5% à la surface, contre 39,15% en profondeur).

La matière organique est assez bien répartie dans le profil, variant de 2,3% en surface à 0,9% à plus d'un mètre, et le C/N est voisin de 7,5 dans l'ensemble des horizons.

Tableau 7 - Calcaire, pH et conductivité du profil 5 B

Profondeur cm	Calcaire total %	Calcaire actif %	pH Eau	pH Kel	C.E. mmhos/cm
0/10	16.62	4.5	8.5	7.6	1.0 pâte saturée
10/25	16.80	4.5	8.4	7.4	1.2
25/50	16.97	4.00	8.6	7.6	0.9
50/70	17.07	4.00	8.5	7.6	0.8
70/100	17.14	4.5	8.7	7.6	0.9
100/120	19.60	7.5	8.5	7.7	1.3

En examinant ce tableau, on constate une augmentation de calcaire total avec la profondeur du profil (de 16.42 à 19.60%) le calcaire actif est de 4% jusqu'à 100 cm, puis augmente à 7,5% dans l'horizon inférieur.

Le pH eau est voisin de 8,5 de l'ensemble du profil; quant à la conductivité elle est de 1,2 mmhos/cm en surface, diminue jusqu'à 100 cm (0,9) puis remonte à 1,3 mmhos/cm en profondeur.

Tableau 8 (voir page suivante)

../...

Tableau 8

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> meq/100	Mg <sup>++</sup> még/100	Na <sup>+</sup> még/100	K <sup>+</sup> még/100	S	T
0/10	12.37	10.00	0.43	0.73	23.33	20.40
10/25	12.90	12.00	0.38	0.73	23.03	21.12
25/50	12.70	12.20	0.52	0.55	25.93	21.20
50/70	12.90	16.40	0.60	0.45	30.35	22.11
70/110	12.37	13.30	0.67	0.43	31.77	23.16
100/120	12.37	19.50	0.36	0.41	33.14	24.00

On constate une augmentation de Mg<sup>++</sup> avec la profondeur du sol (10 à 19,5 még/100), Ca<sup>++</sup> reste constant le long du profil, Na<sup>+</sup> augmente de 0,4 még/100 à la surface à 0,36 még/100 dans l'horizon de profondeur, K diminue avec la profondeur. Le profil est saturé.

Tableau 9 -(Voir page suivante).

Profil n° 4 C.

Région de BENI-HESSAR-KABUL-AFGHANISTAN

Localité : à droite de route KABUL-SHEWAKI, à l'intérieur de la ferme.

Altitude : 1966 mètres

Pluviosité : 300 mm

Roche-mère : Limon

Végétations : champ de blé, culture moissonnée.

- 0 - 10 cm : dur, sec, 2,5 Y 5/2, sans tâches, quelques morceaux de charbon de bois probablement dû aux apports de fumier, la matière organique est bien mélangée avec le sol, quelques brindilles de paille (chaume) à la surface du profil, effervescence aux acides, texture limono-argileuse, structure massive, fentes de retrait importantes (montmorillonite), bien poreux, friable à l'état humide, dur à l'état sec, quelques racines chevelues, horizon perturbé par la culture, activité biologique importante, limite diffuse.

.../...



Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mē/100	Mg <sup>++</sup> mē/100	Na <sup>++</sup> mē/100	K <sup>+</sup> mē/100	S
0 - 10	0.10	0.33	0.20	0.02	0.65
10 - 25	0.43	0.45	0.20	0.03	1.11
25 - 50	0.49	0.43	0.20	0.02	1.14
50 - 70	0.40	0.33	0.30	0.01	1.04
70 - 100	0.27	0.37	0.30	0.01	0.95
100 - 120	0.21	0.41	0.40	0.01	1.03

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mē/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mē/100	S
0 - 10	0.17	0.70	00	0.10	0.97
10 - 25	0.05	0.60	00	0.06	0.71
25 - 50	0.03	0.70	00	0.06	0.79
50 - 70	0.05	1.20	00	0.06	1.31
70 - 100	0.05	1.20	00	0.06	1.31
100 - 120	0.12	1.08	00	0.14	1.24

Tableau 9 - Profil 5 B : sels solubles.

- 10 - 20 cm : sec, dur, 2,5 Y 5/2, impénétrable, présence de poteries, effervescence avec l'acide, texture limono argileuse, structure massive à polyédrique grossière et éoussée, les fentes sont importantes, peu de racines, transition diffuse.
- 20 - 30 cm : légèrement moins sec, quelques poteries, matière organique non décelable à l'oeil nu, effervescence à l'acide, texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, structure massive, activité biologique importante, nombreuses galeries de vers de terre, racines, limite diffuse.
- 30 - 50 cm : frais, 2,5 Y 6/2, texture limono-argileuse, structure polyédrique limite diffuse.
- 50 - 80 cm : 2,5 Y 6/2, les mêmes caractéristiques.
- 80 - 105cm : 2,5 Y 6/2 à 7/2, apparition de concrétions noirâtres.

#### Caractéristiques de ce sol

Ce sol est occupé par les cultures et intensément irrigué, la récolte principale est constituée de céréales, mais les légumineuses (trèfle, luzerne) peuvent venir ensuite comme assolement.

Le drainage externe semble bon, mais le drainage interne fait défaut.

#### Classification de ce sol

Dans l'ensemble, le profil montre une sorte d'homogénéité dans les horizons, mais on a l'impression que le taux d'argile augmente avec la profondeur du profil (confirmé par les résultats analytiques). Il n'y a pas de lessivage ni de recouvrement par les agrégats.

On classe ce sol comme sol peu évolué, sous-classe des sols peu évolués non climatiques, groupe de sols peu évolués d'apport.

Nous trouvons, ci-après, les résultats granulométriques de ce sol.

.../...

Tableau 10 - Profil 4 C - Texture et matière organique

Profondeur	Argile %	Limon fin %	Limon Grossier %	Sable fin %	Sable grossier %	M.O. %	C/N
0/10	28.15	38.45	17.05	8.25	3.50	2.5	3.3
10/20	30.70	35.00	17.00	8.75	3.05	1.4	7.3
20/30	31.70	35.45	18.10	7.40	2.30	1.5	7.3
30/50	32.57	36.42	18.45	6.50	2.30	1.1	7.2
50/80	33.52	39.10	16.35	6.35	2.10	0.9	7.4
80/105	33.92	38.95	18.00	5.75	1.70	0.7	6.6

Ce tableau indique une augmentation régulière d'argile de la surface jusqu'à la profondeur (28.15 à 33.92%), les sables diminuent avec la profondeur,  $r = L/LF = 0,80$ ,  $r = LF/LG = 2$ ,  $r = LG/SF = 2$  et  $R = LG/SF = 2,4$ . La matière organique est de 2,5%, l'horizon de surface diminue et arrive à 0,7% à 1 mètre.

Tableau 11 - Profil 4 C : Calcaire, pH et C.E.

Profondeur cm	Calcaire total %	Calcaire Actif %	pH Eau	pH Kcl	C.E. (Pâte saturée) mmhos/cm
0/10	17.07	5.00	8.5	7.6	1.7
10/20	17.24	5.00	8.6	7.7	1.9
20/30	18.95	6.50	8.5	7.6	2.4
30/50	19.20	6.50	8.5	7.7	2.4
50/80	20.51	3.50	8.3	7.7	2.7
80/105	21.30	7.50	8.3	7.7	2.3

Nous remarquons une augmentation régulière du calcaire  
.../...

total de 17,07 en surface (0/10 cm) à 21.30% en profondeur du profil. Une légère augmentation de calcaire actif avec la profondeur, de 5% dans l'horizon de surface à 7.5% dans l'horizon de profondeur. Le pH, dans l'ensemble des horizons est supérieur à 8.5.

La conductivité est de 1.7 mmhos/cm dans l'horizon de surface, arrivant à 2.8 mmhos/cm dans l'horizon de profondeur.

Tableau 12 - Profil 4 C - Bases échangeables.

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> Még/100	Mg <sup>++</sup> Még/100	Na <sup>+</sup> Még/100	K <sup>+</sup> Még/100	S	T
0/10	11.32	13.00	1.09	1.15	22.86	20.50
10/20	11.62	12.75	1.13	0.97	26.92	21.00
20/30	11.62	12.25	1.33	0.82	25.02	22.60
30/50	12.37	12.20	1.22	0.59	25.38	22.14
50/80	12.60	10.20	0.75	0.63	24.18	21.80
80/105	12.60	-	-	-	-	-

Les bases échangeables du profil 4 C montrent une légère augmentation en calcium avec la profondeur; le magnésium est stable entre 10 à 50 cm, puis diminue en profondeur. Le taux maximum de sodium se situe entre 10 à 50 cm, puis il diminue. Quant au Potassium, il diminue avec la profondeur du profil qui est entièrement saturé, mais sans excès important de S sur T, ce qui correspond à une quantité de magnésium proche de celle du calcium.

Tableau 13 - (voir page suivante)

.../...

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mē/100	Mg <sup>++</sup> mē/100	Na <sup>+</sup> mē/100	K <sup>+</sup> mē/100	S
0 - 10	0.32	1.16	0.50	0.09	2.05
10 - 20	0.30	1.01	0.50	0.05	1.86
20 - 30	0.27	1.00	0.60	0.04	1.91
30 - 50	0.17	0.66	0.50	0.02	1.35
50 - 80	0.33	0.39	0.40	0.01	1.13
80 - 105	0.11	0.65	0.20	0.05	1.01

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mē/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mē/100	S
0 - 10	0.37	1.10	0.10	0.34	1.94
10 - 20	0.30	0.90	0.10	0.30	1.60
20 - 30	0.17	0.70	0.04	0.30	1.21
30 - 50	0.12	0.70	0.10	0.20	1.12
50 - 80	0.07	0.80	0.10	0.10	1.07
80 - 105	0.06	0.70	0.10	0.06	0.92

Tableau 13 - Profil 4 C : Bilan ionique.

Profil n° 6 D.

Région du BENI-HESSAR-KABUL-AFGANISTAN

Localité : Champ de blé, à gauche de la route KABUL-SHWAKI

Précipitations : 300 mm

Altitude : 1.966 m

Roche-mère : Limon

Végétation : Acacia, Salix, blé récolté.

- 0 - 25 cm : Sec, 2,5 Y 5/2, effervescence à l'acide, pas de tâches d'oxyde réduction, texture limoneuse, structure polyédrique éoussée fine et moyenne, activité biologique importante, galeries de vers de terre, petites buttes de terre dues à l'action des rats, transition diffuse.
- 25 - 50 cm : Sec, 2,5 Y 5/2, effervescence à l'acide, texture limoneuse à limono-argileuse, structure massive à polyédrique éoussée, quelques galeries de vers, la limite avec l'horizon suivant est diffuse.
- 50 - 70 cm : Sec, 2,5 Y 6/2, effervescence à l'acide, bonne activité biologique, texture limono-argileuse, structure polyédrique, transition diffuse.
- 70 - 90 cm : Sec, 2,5 Y 6/2-7/2, devient très sableux d'une façon nette.
- 90 -120 cm : Frais, assez dur, texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, effervescence à l'acide, pas de racines.

#### Caractéristiques de ce sol.

Les drainages externe et interne sont bons, la texture est assez homogène dans l'ensemble des horizons. Ce sol est intensément irrigué.

L'aptitude culturale de ce sol est principalement céréalière, les légumineuses viennent ensuite.

#### Classification de ce sol.

Malgré l'homogénéité texturale des horizons, il y a quand même une structuration vu la quantité de matière organique et sa répartition, On hésite à le classer dans la classe des sols

15,

.../...

peu évolués, mais en absence d'indice de lessivage (ni recouvrement argileux), il est difficile également de le classer dans les sols brunifiés.

De préférence, nous le classons comme sol peu évolué, sous classe des sols peu évolués non climatique, groupe des sols peu évolués d'apport.

Tableau 14 - Profil 6 D - Texture et matière organique

Profondeur cm	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sables fins	Sables grossiers %	M.O. %	C/N
0/25	21.35	44.85	19.30	8.20	2.10	1.90	7.7
25/50	26.40	38.50	22.20	7.20	0.80	1.1	7.1
50/70	30.15	39.50	16.6	7.10	2.40	1.0	7.0
70/90	19.80	32.20	16.3	17.20	11.10	0.9	6.8
30/120	32.000	28.90	14.25	5.50	9.80	0.6	7.0

La dominance de limon est nette, le taux d'argile augmente avec la profondeur, sauf au niveau 70/90 cm ( $\Delta/LF = 0.6$ ;  $LF/LG = 1.90$ ,  $LG/SF = 2.5$  et  $SF/SF = 2.8$ ). La matière organique est bien évoluée, elle est de 1,9% dans l'horizon de surface, et de 0.6% en profondeur du profil, et C/N est bas, de l'ordre de 7.

Tableau 15 - Profil 6 D - Calcaire, pH et C.E.

Profon-	Calcaire total %	Calcaire actif %	Ph Eau	Ph Kel	C.E (P.S.) mmhos/cm
0/25	17.67	4.0	8.7	7.7	1.3
25/50	19.37	4.5	8.8	7.8	1.2
50/70	19.17	6.0	8.8	7.8	0.9
70/90	19.65	5.5	8.7	7.6	1.0
90/120	21.21	7.5	8.7	7.6	1.0

.../...

On constate une légère augmentation du calcaire avec la profondeur du profil. Les pH sont relativement constants le long du profil; quant à la conductivité sur pâte saturée, elle diminue avec la profondeur.

Tableau 16 - Profil 3 D - Bases échangeables.

Profon-	Ca <sup>++</sup> még/100	Mg <sup>++</sup> Még/100	Na <sup>+</sup> még/100	K <sup>+</sup> még/100	S	T
0/25	12.15	15.00	0.67	0.62	28.44	22.00
25/50	12.15	15.50	0.75	0.46	28.86	22.50
50/70	12.00	15.60	0.86	0.45	29.91	22.60
70/90	11.77	15.10	0.86	0.47	29.20	23.00
90/20	12.15	15.10	0.79	0.61	28.65	23.00

On remarque une stabilité de Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> échangeables dans les horizons du profil, alors que Na<sup>+</sup> augmente légèrement avec la profondeur, K<sup>+</sup> diminue au fur et à mesure qu'on descend au fond du profil. Le sol est saturé en bases sur tout le profil.

Tableau 17 - Voir page suivante)

Profil n° 2 E

Région de BENI-HESSAR-KABUL AFGANISTAN

Localité : TCHAMAN, au bord de la route, à gauche  
en allant de KABUL vers SHEWAKI.

Altitude : 1966 m.

Précipitations : 309 mm.

Roche-mère : Limon

Végétation : Tapis de Cynodon-dactylon, un peu plus  
loin, champ de maïs.

- 0 - 10 cm : Sec, gris, 5 Y 6/2-5/2, matière organique 2,5%, quelques trainées noirâtres, effervescence à l'acide, pas d'élément grossier, texture limono-argileuse, structure polyédrique fine et moyenne, assez poreux, racines nombreuses et fines, horizon ayant subi des phénomènes de réduction hydromorphie très marquée dès la surface, malgré  
.../...



Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>+</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S
Ap 0 - 25	0.37	0.56	0.40	0.03	1.36
25 - 50	0.27	0.45	0.30	0.01	1.03
50 - 70	0.15	0.37	0.40	0.01	0.93
II 70 - 90	0.12	0.41	0.30	0.01	0.84
90 - 120	0.16	0.39	0.40	0.01	0.96

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mé/100	S
Ap 0 - 25	0.17	0.80	0.10	0.13	1.20
25 - 50	0.11	0.70	0.10	0.11	1.02
50 - 70	0.05	0.70	0.10	0.08	0.93
II 70 - 90	0.10	0.80	0.14	0.11	1.15
90 - 120	0.10	0.64	0.12	0.11	1.07

Tableau 17 - Profil 6 D : Bilan ionique (extrait 1/2)

l'absence de l'eau, dans l'état actuel. Jusqu'au fond du profil la transition est diffuse.

- 10 - 20 cm: Gris à gris pâle 5 Y 6/1-7/1, devient plus frais, la matière organique diminue, texture argilo-limoneuse structure polyédrique à prismatique grossière, friable à l'état humide, quelques racines, effervescence à l'acide, limite diffuse.
- 20 - 40 cm: Gris à gris pâle 5 Y 6/1-7/1, frais, présence de poteries, texture argilo-limoneuse, structure prismatique à polyédrique, dur à l'état sec, effervescence à l'acide, quelques racines, limite diffuse.
- 40 - 65 cm: Frais, 5 Y 5/2, présence de petites pierres gréseuses, texture argilo-limoneuse, structure polyédrique, quelques racines chevelues, limite diffuse.
- 65 - 100 cm: Argilo-limoneuse, les mêmes caractéristiques.

#### Caractéristiques de ce sol

Les drainages externe et interne semblent être médiocres. Ce sol est abandonné à la pâture dont c'est l'aptitude principale.

#### Classification de ce sol

Ce sol est classé comme sol hydromorphe, sous-classe des sols hydromorphes minéraux, groupe des sols hydromorphes à gley, sous-groupe des sols hydromorphes à gley alcalin.

Tableau 18 - Profil 2 E - Texture et matière organique

Profondeur cm	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sables fins %	Sables grossiers %	M.O	C/N
0/10	35.62	37.5	15.55	5.2	1.0	2.5	11.9
10/20	39.60	26.22	14.55	5.55	1.8	1.8	7.1
20/40	41.15	35.39	13.60	4.50	1.35	1.1	7.3
40/65	38.10	35.15	14.04	4.20	1.4	1.0	7.0
65/100 et plus	39.10	35.02	14.04	4.30	1.6	0.9	7.3

Dans ce tableau, nous constatons un taux d'argile élevé de 35,62% dans l'horizon de surface et de 41,15% entre 20. à 40 cm. Dans les autres horizons, le pourcentage est voisin de 33%. Nous remarquons la faible teneur en sables grossiers ( $A/LF = 1$ ,  $LF/LG = 2,5$ ,  $LG/SF = 2,7$ ,  $SF/SG = 4$ ).

Le rapport C/N est bas (7) à l'exception de l'horizon de surface (11.9), la matière organique diminue avec la profondeur du profil.

Tableau 19 - Profil 2 E - Calcaire, pH et C.E.

Profondeur cm	Calcaire total %	Calcaire actif %	pH Eau	pH Kel	C.E. (P.S.) en mmhos/cm
0/10	23.69	10.0	8.7	7.7	1.20
10/20	24.93	13.5	8.7	7.7	1.10
20/40	24.29	16.5	8.7	7.7	0.90
40/65	23.48	16.5	8.6	7.6	0.60
65/100 et plus	22.54	15.0	8.7	7.7	0.60

Ce tableau nous indique un taux relativement stable et élevé de calcaire total le long du profil, variant de 22.54% en profondeur à 24.93% entre 10 à 20 cm. Le calcaire actif est élevé le pH est presque constant (8.7), la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée atteint son maximum : 1,2 mmhos/cm dans l'horizon de surface et diminue régulièrement jusqu'à 0.6 mmhos/cm à un mètre de profondeur.

Tableau 20 - Profil 2 E - Bases échangeables

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> méq/100	Mg <sup>++</sup> Méq/100	Na <sup>+</sup> Méq/100	K <sup>+</sup> Méq/100	S	T
0/10	6.00	17.50	2.42	2.48	28.45	19.00
10/20	6.60	16.90	1.62	1.61	24.78	19.20
20/40	7.35	17.70	1.42	1.18	28.05	22.0
40/65	7.75	16.50	1.12	1.05	26.42	24.00
65/100	7.75	13.30	0.97	0.99	23.03	16.00

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mg/100	Mg <sup>++</sup> mg/100	Na <sup>+</sup> mg/100	K <sup>+</sup> mg/100	S
0 - 10	0.16	1.04	1.40	0.41	3.01
10 - 20	0.18	0.85	0.60	0.07	1.70
20 - 40	0.22	0.89	0.40	0.06	1.57
40 - 65	0.33	0.97	0.30	0.05	1.65
65 - 100	0.72	0.85	0.40	-	2.01

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mg/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mg/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mg/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/100	S
0 - 10	0.60	1.35	0.40	0.59	2.94
10 - 20	0.14	1.00	0.30	0.20	1.64
20 - 40	0.10	1.00	0.20	0.15	1.45
40 - 65	0.10	1.10	0.20	0.14	1.54
65 - 100	0.30	1.15	0.25	0	1.70

Tableau 21 - Profil 2 E : Sels solubles (extraits au 1/2)

Dans ce tableau, nous constatons un taux élevé de magnésium échangeable variant de 13.3% en profondeur à 17,7 méq/100 entre 20 et 40 cm. Quant au calcium échangeable, il est de 6 méq/100 dans l'horizon de surface et de 7.75% à un mètre de profondeur. Le  $\text{Na}^+$  échangeable est de 2.42 dans l'horizon de surface et tombe à 0,97 méq/100 au fond du profil. De même avec le Potassium. Le profil est entièrement saturé en bases.

Tableau 21 - (Voir page suivante)

Profil n° 1 F

Région de BENI-HESSAR-KABUL-AFGANISTAN

Localité : à côté des maisons des vachers, en allant de la ferme vers TCHAMAN sur la gauche.

Précipitations : 309 mm.

Altitude :

Roche-mère : Limon basique

Végétations : Strate arbustive : *Morus alba*, *Salix nigra*,  
*Tamarix africana*, *Zyzyphus vulgaris*.

Strate herbacée : *Cynodon dactylon*.

- 0 - 20 cm : Sec, brun gris 2,5 Y 5/2, matière organique plus ou moins mélangée au sol (4%), quelques concrétions noires, bien réparties, quelques débris de poteries dans cet horizon, texture limono-argileuse, structure polyédrique fine à moyenne, assez poreux, consistance rigide, quelques racines fines et grossières en bon état, transition diffuse.
- 20 - 40 cm : Sec, matière organique bien mélangée au sol, brun gris, 2,5 Y 5/2, texture limono-argileuse, structure polyédrique plus ou moins anguleuse, poreux, consistance semi-rigide, quelques racines très fines, transition diffuse.
- 40 - 55 cm : Sec, gris brun, 2,5 Y 6/2. Cet horizon a les mêmes caractéristiques que les précédents, la matière organique diminue avec la profondeur, mais elle est toujours existante.
- 55 - 85 cm : Gris brun, 2,5 Y 6/2, plus frais, texture limono-argileuse, structure polyédrique grossière anguleuse, passage diffus.
- 85 - 105 cm : 2,5 Y 6/2, gris brun, les mêmes caractéristiques, semble tassé, peu de pores.

.../...

### Caractéristiques de ce sol

Dans ce sol, on constate, dès la surface et jusqu'à la profondeur du profil, une effervescence à l'acide; dans les horizons de surface, les activités biologiques sont importantes et elles diminuent ensuite.

Actuellement, il y a une absence complète de l'eau dans le profil, mais il est immergé durant plusieurs mois de l'année (4-5 mois). Il subit donc l'influence de l'hydromorphie; l'oxydation ne se fait plus, le milieu devient asphyxiant.

Les drainages externe et interne semblent être médiocres malgré l'existence de fossés de drainage. Ces sols sont occupés occasionnellement par des céréales, mais sans grand succès, puis abandonnés ou laissés pour les prairies naturelles, ce qui est plus normal.

### Classification de ce sol

Nous classons ce sol comme sol hydromorphe, avec classe des sols sodiques à structure non dégradée.

Tableau 22 - Profil 1 F - Texture et matière organique

Profondeur cm	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sables fins %	Sables grossiers %	M.O. %	C/N
0/20	20.9	42.7	13.3	10.7	2.1	4.3	13.4
20/40	27.4	46.6	17.3	4.3	1.7	1.5	8
40/55	25.1	47.3	13.3	5.0	2.4	1.1	7.6
55/85	28.2	45.2	15.6	5	2.8	0.8	6.3
85/105	23.35	44.	22.6	1.2	6.2	0.5	6.4

La teneur en argile des horizons <sup>est</sup> de 20.9% dans l'horizon de surface (0-20 cm), en moyenne 26.5% entre 20-85 cm, puis diminue à 23.35% à 105 cm; les sables fins diminuent avec la profondeur du profil, de 10.7% en surface à 1.9% à 105 cm; par contre, les sables grossiers augmentent avec la profondeur de

.../...

2.1% dans l'horizon de surface, à 6,2% à 105 cm. La matière organique est bien répartie dans le profil de 4.6% dans l'horizon de surface; elle tombe à 0,5% à 105 cm. C/N est élevé seulement dans l'horizon de surface (18.4).

Tableau 23 - Profil 1 F : Calcaire, pH et C.E.

Profondeur cm	Calcaire total %	Calcaire actif %	pH Eau	pH Kel	Conductivité mmhos/cm
0/20	19	6	9	3.1	5.5
20/40	27.2	9.5	8.8	7.8	1.5
40/55	23.7	10	8.6	7.6	0.8
55/85	23.8	12.5	8.6	7.6	0.6
85/105	26.2	12.5	8.6	7.6	0.6

Le calcaire total est un peu plus faible dans l'horizon de surface (19%), maximum entre 20-40 cm (27.2%) puis il diminue à 23.7% en profondeur. Quant au calcaire actif, il augmente régulièrement avec la profondeur (6% dans l'horizon de surface à 12.5% à 105 cm). Le pH est très élevé entre 0 et 40 cm, puis il baisse légèrement. La conductivité des pâtes saturées est au maximum (5.5 mmhos/cm) dans l'horizon de surface et diminue avec la profondeur 0.6 mmhos/cm à 105 cm.

Tableau 24 - Profil 1 F - Bases échangeables

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> méq/100	Mg <sup>++</sup> méq/100	Na <sup>++</sup> méq/100	K <sup>+</sup> Méq/100	S	T
0/20	5.0	14.0	5.19	3.19	29.38	18.0
20/40	6.25	19.3	1.21	1.26	28.02	17.0
40/55	6.25	18.3	1.03	1.02	26.65	17.0
55/85	6.25	18.0	0.84	0.96	26.05	18.0
85/105	6.25	15.0	0.61	0.72	22.61	15.5

.../...

Le calcium échangeable est stable de 20 à 105 cm, le magnésium a son maximum entre 20-40 cm, puis il diminue avec la profondeur.

La forte différence entre magnésium et calcium explique la dominance de S sur T. Il y a dissolution du carbonate de magnésium par l'acétate de sodium.

Le maximum de sodium échangeable est dans l'horizon de surface (5,17 még/100) puis il diminue régulièrement et arrive à 0.64 még/100 à 105 cm, de même le potassium échangeable est plus élevé dans l'horizon de surface (8,19 még/100) et diminue au-dessous de 3.72 még/100 à 105 cm. Le profil est saturé.

Tableau 25 - Profil 1 F - Sels solubles  
(voir page suivante).

Profil n° 7 G

Région de BENI-HESSAR, KABUL, AFGANISTAN

Localité : TCHAMAN, près des bâtiments des vachers,  
en allant de la ferme vers Tchamou, sur la  
droite

Précipitations : 200 mm

Roche-mère : limon loessique

Végétation : Salix, Tamarise, Cynodon-Dactylon.

- 0 - 13 cm : Sec, 2,5 Y 5/2, matière organique assez bien évoluée, assez bien mélangée avec le sol, des petites touches d'oxydo-réduction s'observent dès la surface, l'horizon est perturbé par l'homme, texture limono-argileuse, activité biologique importante, friable, beaucoup de racines, effervescence à l'acide, transition assez nette.
- 13 - 25 cm : Sec, 2,5 YR 5/2, matière organique bien évoluée 3,8%, effervescence à l'acide, l'oxydo-réduction devient importante, texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, structure polyédrique moyenne et fine, bonne activité biologique, friable à l'état humide, dur à l'état sec, racines importantes, transition diffuse.
- 25 - 40 cm : 2,5 Y 5/2, la réduction est très importante, texture limono-argileuse, structure polyédrique moyenne à grossière, effervescence à l'acide, galeries de vers de terre, friable à l'état humide, quelques racines, transition diffuse.

.../...



Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mē/100	Mg <sup>++</sup> mē/100	Na <sup>+</sup> mē/100	K <sup>+</sup> mē/100	S
0 - 20	0.17	0.55	2.40	0.51	3.63
20 - 40	0.10	0.75	0.5	0.07	1.22
40 - 55	0.12	0.79	0.4	0.05	1.21
55 - 85	0.14	0.79	0.3	0.04	1.23
85 - 105	0.14	0.80	0.4	0.04	1.02

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mē/100	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mē/100	S
0 - 20	0.5	2.4	0.40	0.61	3.91
20 - 40	0.2	1.1	-	0.08	1.38
40 - 55	0.1	0.9	-	0.06	1.06
55 - 85	0.1	0.84	-	0.05	1.10
85 - 105	0.1	0.8	-	0.05	0.95

Tableau 25 - Profil 1 F : Sels solubles.

- 60 - 100 cm : 2,5 Y 6/2, devient un peu plus frais, effervescence à l'acide, texture limono-argileuse à argilo-limono-seuse, structure polyédrique éoussée à massive, limite diffuse.
- 100 - 115 cm : Humide, 2,5 Y 5/2, facilement pénétrable au couteau, texture sablo-limoneuse, à limono-sableuse, pas de racine, limite nette.
- 115 - 125 cm : 2,5 Y 5/4, redevient limono-argileuse, effervescence à l'acide.

### Caractéristiques de ce sol

Les drainages externe et interne de ces sols sont mauvais pour les raisons suivantes :

- les sols restent plusieurs mois sous l'eau,
- l'aération est donc presque nulle.

Ils sont impropres aux cultures (Cynodon dactylon).

### Classification de ce sol

Nous avons classé ce sol comme sol hydromorphe, sous classe des sols hydromorphes minéraux, groupe des sols hydromorphes à gley, sous groupe des sols hydromorphes à gley alcalin.

Tableau 25 - Profil 7 G - Texture et matière organique

Profondeur cm	Argile %	Limon fin %	Limon gros-sier %	Sables fins %	Sables gros-siers %	M.O.	C/N
0/13	20.5	35.2	14.0	7.3	0.35	4.3	5.5
13/23	31.3	45.0	7.3	9.7	0.4	3.3	5.4
23/60	26.2	41.0	22.4	5.6	1.3	2.5	9.6
60/100	33.9	33.7	19.9	4.8	1.3	0.5	7.3
100/115	27.3	30.2	8.25	19.5	1.3	0.3	6.5
115/125	23.3	34.9	14.25	9.5	9.3	0.6	7.4

.../...

L'argile est répartie dans le profil d'une manière quelconque; la matière organique est de 4,3% dans l'horizon de surface, 2,5% à 60 cm et 0,3% à 115 cm.

Tableau 27 - Profil 7 G - Calcaire, pH et conductivité

Profondeur cm	Calcaire total %	Calcaire actif %	pH Eau	pH Kel	Conductivité mmhos/cm
0/13	27	6.5	8.6	7.9	1.3
13/23	28	10.3	8.4	7.8	1.2
23/60	23.5	10	8.6	7.3	0.9
60/100	27.1	5	9	8.1	0.8
100/115	20.8	4.5	9	8.1	0.9
115/125	20.5	5	8.9	7.9	1.3

Le calcaire total augmente jusqu'à 60 cm de 27 à 23%, après il diminue de 27% à 100 cm, de 20.5% à 125 cm.

Le pH est élevé jusqu'à 60 cm, très élevé de 60 à 125 cm; la conductivité de l'extrait de pâte saturée est de 1.3 mmhos/cm en horizon de surface, 0.9 mmhos/cm à 115 cm, puis de nouveau 1.3 mmhos/cm.

Tableau 28 - Profil 7 G - Bases échangeables.

Profon- deur cm	Ca <sup>++</sup> méq/100	Mg <sup>++</sup> Még/100	Na <sup>+</sup> méq/100	K <sup>+</sup> méq/100	S	T
0/13	8.02	19.9	1.93	0.83	30.78	25.1
13/23	8.4	17.7	1.54	0.81	27.45	25
23/60	8.25	17.4	1.54	0.83	23.02	24.13
60/100	8.15	18.2	0.35	0.68	27.88	29
100/115	8.25	13.8	0.64	0.41	26.1	23.7
115/125	9.15	10.9	1.51	0.93	27.49	23.4

.../...

Prof. cm	Ca <sup>++</sup> mē/100	Mg <sup>++</sup> mē/100	Na <sup>++</sup> mē/100	K <sup>+</sup> mē/100			al <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mē/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
0-13	-	-	-	-	-	-	-	1.3	0.1	-
13-23	0.23	1.33	1.2	0.09	2.85	2.40	0.55	1.0	0.1	0.75
23-60	0.16	1.04	1.1	0.09	2.39	2.00	0.37	0.9	0.04	0.69
60-100	0.10	0.51	0.6	0.06	1.27	1.04	0.12	0.7	0.10	0.12
II 100-115	0.09	0.47	0.5	0.05	1.11	0.9	0.07	0.64	0.1	0.09
115-125	-	-	-	-	-	-	-	0.84	0.04	-

Tableau n° 29 - Bilan ionique du profil n° 7 G.

Nous remarquons une stabilité du calcium échangeable dans le profil, 8.02 méq/100 à l'horizon de surface et 8.25 méq/100 à 115 cm. Quant au magnésium échangeable il est au maximum (19.9 méq/100) dans l'horizon de surface et 16.8 méq/100 à 115 cm. Les taux les plus élevés de sodium et de potassium sont observés entre 0-60 cm et ils diminuent avec la profondeur. Il y a une légère remontée en surface du sodium et du magnésium.

Profil n° 3 H

Région de BENI-BESSAR KABUL AFGANISTAN

Localité : Grand TCHAMAN

Altitude : 1101 m

Pluviosité : 800 mm

Végétation : Salix, Tamarise, Zyzyphus, Cynodon-dactylon.

- 0 - 25 cm : Sec, 2,5 Y 5/4, matière organique importante 5%, effervescence à l'acide, texture argilo-limoneuse à limono-argileuse, dur, structure polyédrique fine et moyenne, l'activité biologique est importante, beaucoup de racines, la limite avec l'horizon suivant est diffuse.
- 25 - 55 cm : 2,5 Y 6/2, devient un peu plus frais, effervescence à l'acide, les tâches de réduction couvrent tout l'horizon, texture limono-argileuse, structure polyédrique, l'activité biologique reste importante en haut de l'horizon, galeries de vers de terre, friable à l'état humide, dur à l'état sec, moins de racines, transition diffuse.
- 55 - 85 cm : Humide, 5 Y 6/1, effervescence à l'acide, texture argilo-limoneuse, structure polyédrique à prismatique, la limite avec l'horizon suivant est diffuse.
- 85 - 100 cm : Humide, 5 Y 7/1, effervescence à l'acide, texture argilo-limoneuse, structure polyédrique à prismatique, la limite est diffuse.
- 100 - 130 cm : plus humide, 5 Y 7/1, massive.

#### Caractéristiques de ce sol

Les drainages externe et interne sont mauvais, malgré l'existence des fossés de drainage un peu partout. Ce sol est envahi par l'eau durant plusieurs mois de l'année (4-5 mois) et ne peut être utilisé qu'en pâturage.

.../...

Classification de ce sol

Nous avons classé ce sol comme sol Sodique, sous-classe sols sodiques de structure non dégradée.

Remarques : nous n'avons pas constaté d'effervescence saline, ni dans les horizons du profil, ni ailleurs également. Nous n'avons pas décelé d'influence salée sur la structure du profil. Par ailleurs, l'influence humaine, à l'époque de l'observation est très importante, l'horizon de surface est complètement décapé (en raison de la sécheresse et de l'alimentation du bétail). Peut-être est-ce pour cette raison que nous n'avons pas observé l'efflorescence saline à la surface du sol.

Tableau 30 - Profil 3 H - Analyse granulométrique.

Profondeur cm	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sables fins %	Sables grossiers %	M.O	C/N
0/25	31-37	49	7.3	9.7	0.3	4.9	10.5
25/95	31-75	41.4	15.4	4.6	0.4	2.2	7.3
55/85	35.5	40.3	14.8	5.3	1.3	0.8	7.6
85/100	36.9	40.7	13.9	4.	0.3	1.4	8.1
100/130	34.3	44.2	13.2	4.5	1.3	1.5	7.3

Le taux d'argile est situé entre 31% dans l'horizon de surface et 36,9% de 85 à 100 cm. A l'exception de l'horizon de surface, les sables fins ont à peu près une répartition homogène, la matière organique est bien évoluée, elle est de 4.9% dans l'horizon de surface, 0.3% à 85 cm et 1.5% à 130 cm.

Tableau 31

.../...

Tableau 31 - Profil 3 H - Calcaire - pH et conductivité

Profondeur cm	Calcaire total %	Calcaire actif %	pH Eau	pH Sol	Conductivité mmhos/cm
0-25	19.1	8.5	8.7	7.7	5.1
25-55	24.1	18	9	8.2	2.7
55/85	20.3	8.5	9	3	1.3
85/100	24.3	11.5	8.6	7.6	1.0
100/130	29.2	14.	8.6	7.6	1.0

Le tableau ci-dessus indique une répartition hétérogène du calcaire dans les horizons du profil, les pH sont très forts pour les trois premiers horizons (8.7 à 9) et forts dans les horizons suivants (8.6).

La conductivité de l'extrait de pâte saturée montre une conductivité relativement élevée dans l'horizon de surface (5.1 mmhos/cm) puis elle diminue régulièrement avec la profondeur

Tableau 32 - Profil 3 H - Bases échangeables.

Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> még/100	Mg <sup>++</sup> még/100	Na <sup>+</sup> még/100	K <sup>+</sup> még/100	S	T
0/25	9.9	14.7	3.8	3.2	34.10	25.5
25/55	7.5	18.9	5.0	2.9	34.8	25.8
55/85	10.5	17.0	1.1	0.6	31.2	24.0
85/100	10.6	19.2	1.2	0.8	32.0	24.9
100/130	9.0	20.1	1.0	0.7	31.9	23.8

Dans l'ensemble des horizons, le calcium échangeable reste voisin de 10 még/100, sauf dans l'horizon 25/55 où le calcium est de 7.5 még/100.

.../...

La répartition du magnésium échangeable est variable, et augmente avec la profondeur; le maximum de sodium échangeable se trouve dans les horizons de surface (3.2 méq/100 et 5 méq/100 à 0/55 cm) puis diminue à 1 méq/100 à 130 cm. Il en est de même pour le potassium échangeable 3.2 méq/100 à 0/25 cm, 0.7 méq/100 à 130 cm. Le profil est saturé en bases avec un excédent de S sur T dû à la dissolution du carbonate de magnésium.

Nous retrouvons, page suivante, un tableau du bilan ionique du profil S H.

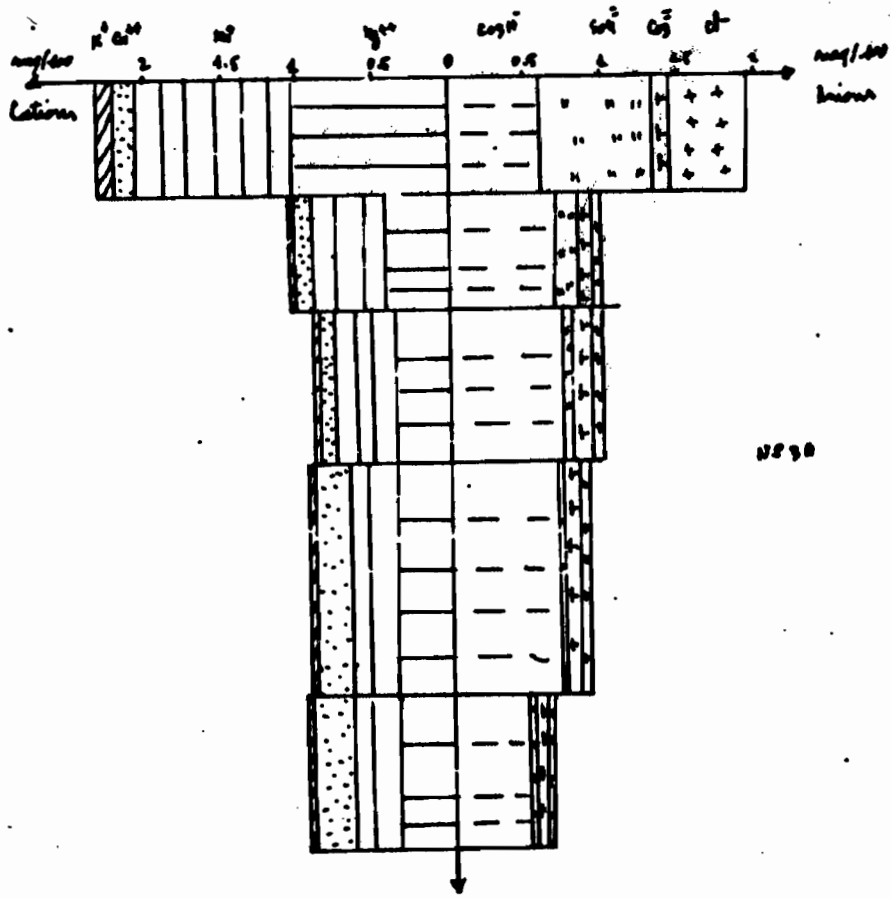


Profondeur cm	Ca <sup>++</sup> mē/100	Mg <sup>++</sup> mē/100	Na <sup>+</sup> mē/100	K <sup>+</sup> mē/100	S
0 - 25	0.41	1.25	2.8	0.3	4.75
25 - 55	0.16	0.83	1.8	0.1	2.89
55 - 85	0.12	0.66	1.6	0.04	2.42
85 - 100	0.10	0.83	0.7	0.04	1.67
100 - 130	0.10	0.75	0.5	0.03	1.38

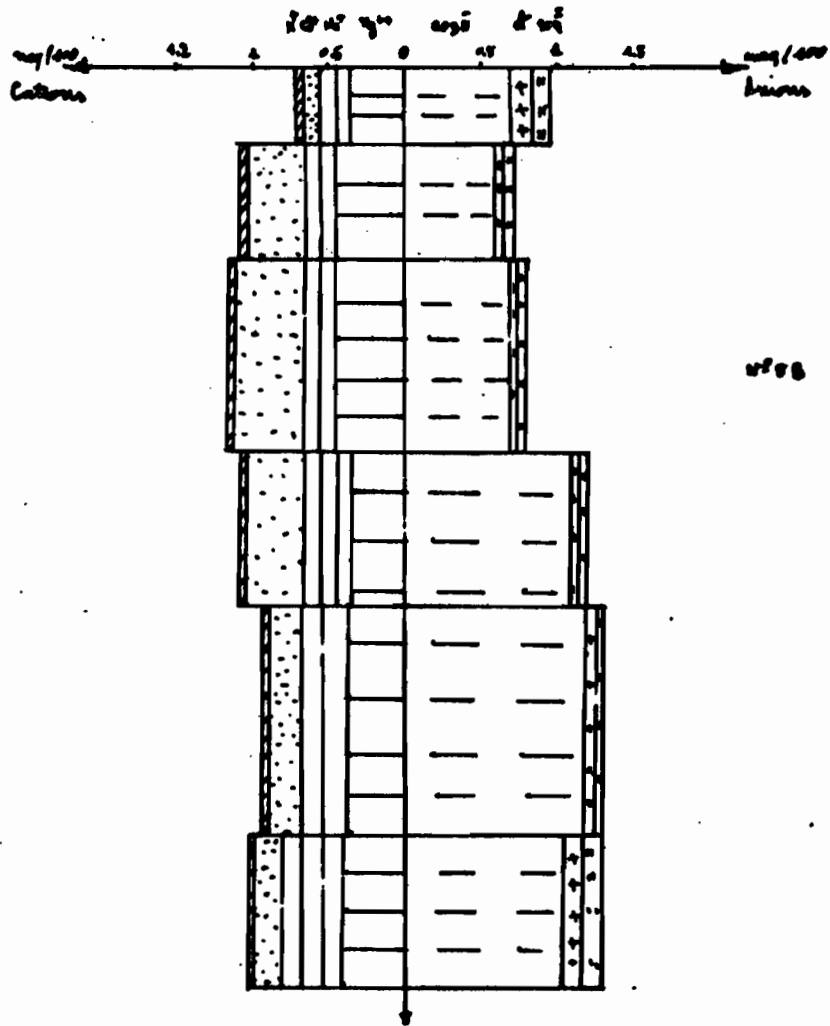
  

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mē/100	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mē/100	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mē/100	S
0 - 25	0.90	1.7	0.3	1.05	3.95
25 - 55	0.47	1.5	0.2	0.6	2.87
55 - 85	0.21	1.2	0.1	0.22	1.83
85 - 100	0.17	1.15	0.1	0.22	1.64
100 - 130	0.10	0.84	0.1	0.17	1.21

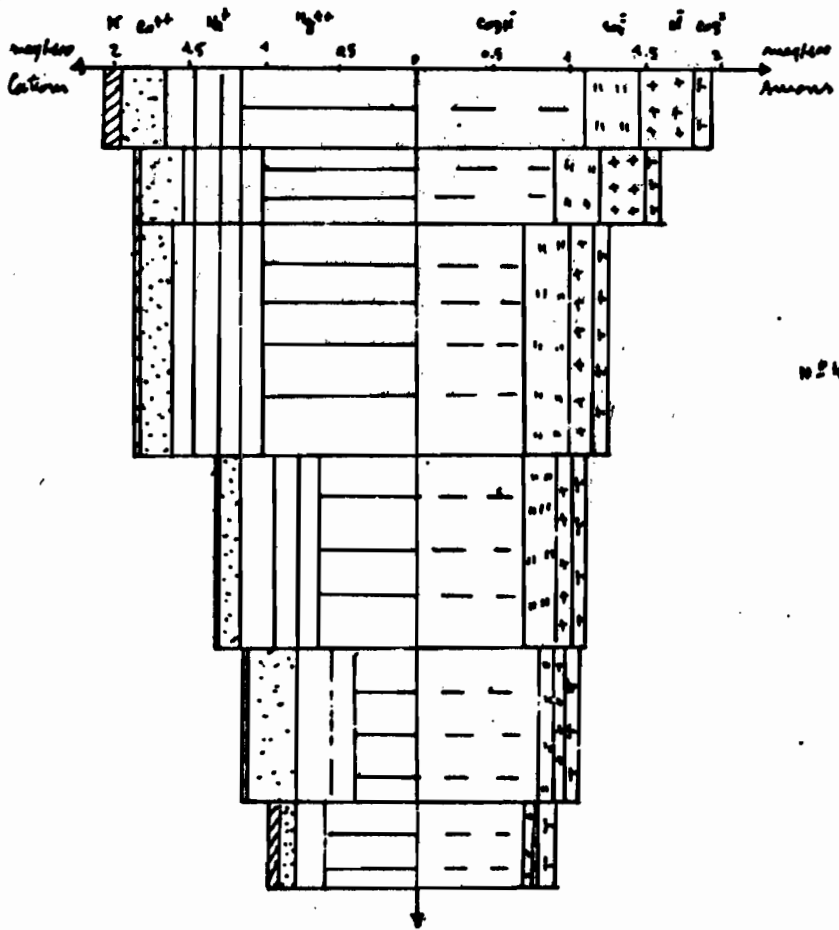
Tableau 33 - Profil 8 H : Bilan ionique.



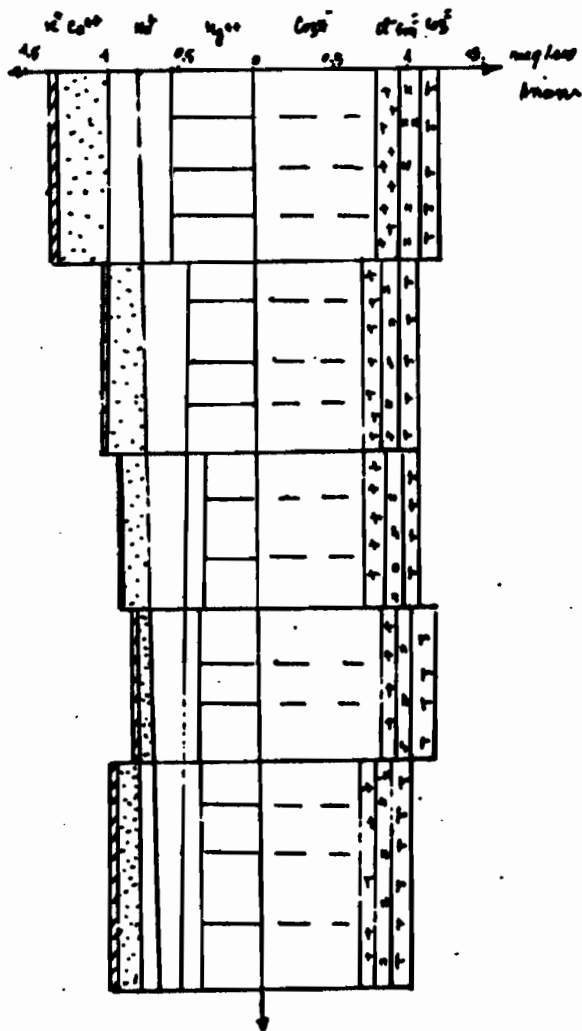
1270



1275

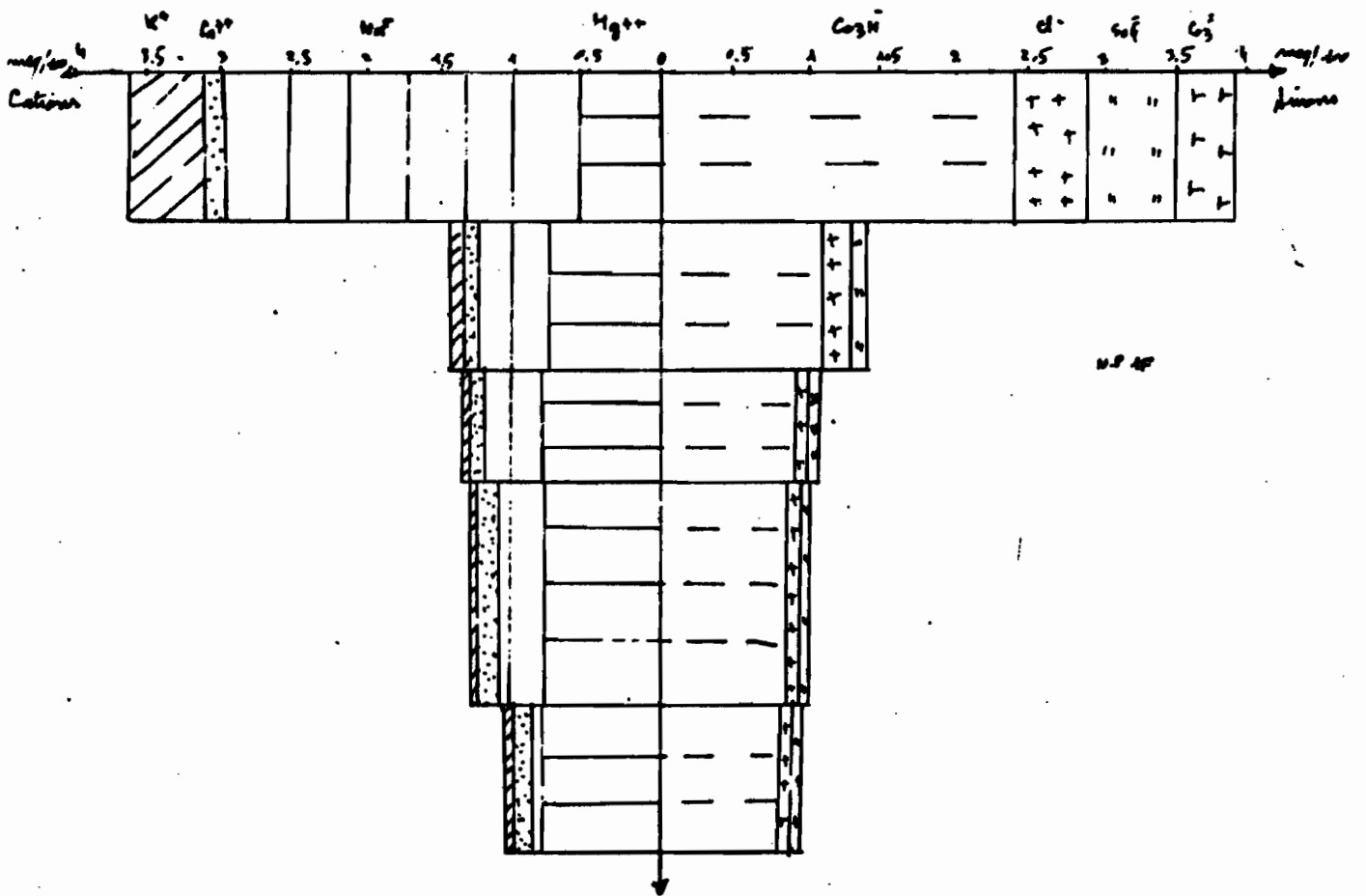
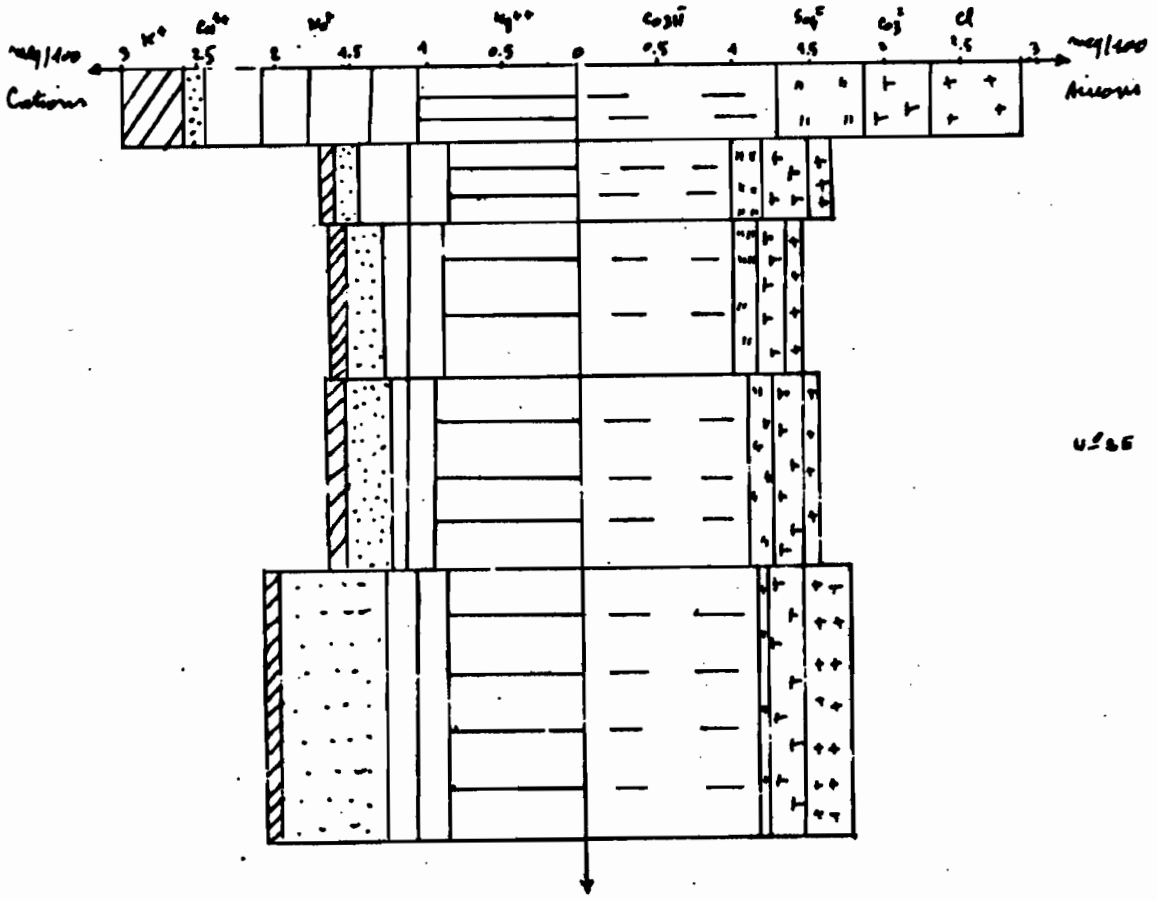


W24C



W26D

graph. ⑥



graph ⑦

## DEUXIEME PARTIE

ANALYSE DE BORE DANS LES SOLS, LES EAUX ET LES PLANTESINTRODUCTION

Les dosages de Bore des différents échantillons (sols, eaux et plantes) sont effectués par diverses méthodes :

- méthode de spectrographie d'arc
- méthode de l.l - dianthrimide (calorimétrie)
- méthode de l'azométhane (colorimétrie).

Pourquoi nous avons étudié ces trois méthodes ?

La première est une méthode qualitative et semi quantitative, et la sensibilité de l'appareil est de 2 à 30%. Nous avons eu à faire face à plusieurs difficultés dues à la sensibilité qui change d'une plaque à l'autre, et à un problème de remplissage des électrodes. En outre, il n'y a pas de norme de quantité, parfois l'échantillon est trop tassé, parfois pas assez, ce qui donne des résultats aberrants. Après avoir effectué de nombreux essais qui ont permis d'acquérir un tour de main, on a finalement conservé la méthode.

La méthode de dianthrimide est intéressante car la sensibilité est à 1% près, mais comme on travaille avec l'acide sulfurique pur, la viscosité est gênante.

Enfin, la méthode à l'azométhane est également intéressante car le seuil de sensibilité est de 1%, donc significatif.

x

x

x

## CHAPITRE I : Etude du bore des sols de la région de Kabul.

11. Récolte des échantillons : nous avons décrit dans la première partie (chapitre II) huit profils, accompagnés de quelques résultats analytiques classiques. Nous les reprenons ici simplement en vue de la détermination du bore, soit huit profils (43 échantillons) que nous analysons successivement.

12. Préparation des échantillons : les échantillons sont recueillis dans des sachets de polyéthylène, ramenés au laboratoire ; nous laissons dessécher à l'air à l'abri de toute source de contamination (si possible), puis nous tamisons à 2 mm, les échantillons du sol, nous les mettons dans des boîtes en carton et nous les conservons.

### 13. Dosage de bore total :

13.1. Préparation des échantillons pour dosage de bore total : on pèse un gramme de sol tamisé, on le met dans un petit creuset en porcelaine de 3 cm de diamètre, environ, (exempt de bore), on laisse pendant une journée dans un four à moufle, à une température de 450° C.

A cette température l'humidité et la matière organique ont complètement disparu.

### 13.2. Méthode de dosage (Spectrographie d'arc) :

On pèse 20 mg de chaque échantillon de sol calciné, on met dans un broyeur en agathe, on pèse également 20 mg de graphite, on les mélange dans le broyeur.

On prépare les électrodes en graphite ainsi que les contres électrodes, on met les mélanges et on remplit les électrodes, on essaye de tapoter les électrodes afin de chasser l'air emprisonné avec les échantillons, et également pour bien remplir les électrodes.

On prépare une gamme étalon de 3 - 10 - 30 - 100 - 300 - 1000 et 3000 ppm (partie par million). Après une mise au point du spectrographe (l'ouverture de fente 7 microns, la sortie 2 mm, la longueur d'onde 2430 à 3500 Å°), on prépare une plaque photographique (Kodak spectrum analysis n° 1), position + 1 avec une intensité de courant de 12 ampères. Le temps d'excitation est d'une minute avec une lentille de n° 956.

Les échantillons sont excités et atomisés. Le retour des électrons à leur niveau initial provoque une émission de rayonnement qui est immédiatement photographiée sur la plaque.

Par la suite, l'opération consiste à révéler et à fixer la plaque (comme un développement de pellicule de photographie ordinaire), à l'eau courante, puis à l'eau distillée et on laisse dessécher la plaque photographique.

Enfin, la dernière opération consiste dans la lecture des résultats qui s'effectue à l'aide d'une plaque de référence, on compare les échantillons par rapport à la gamme étalon.

### 1.3.3. - Résultats et conclusions.

Après avoir effectué les calculs, nous donnons les résultats en ppm. Nous présentons ci-joint les résultats en Bore total des différents horizons des 3 profils, avec trois répétitions.

D'une manière générale, nous constatons, dans l'ensemble des profils étudiés, une forte teneur en Bore dans les horizons de surface, puis une diminution régulière jusqu'au fond du profil.

x

x

x

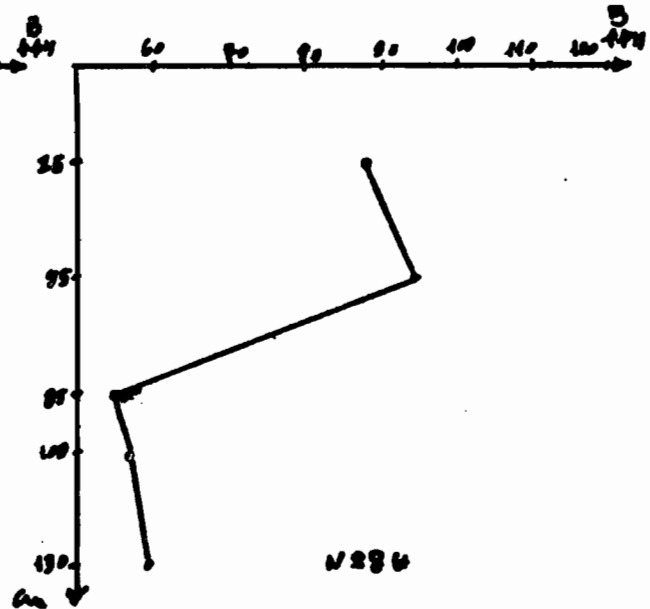
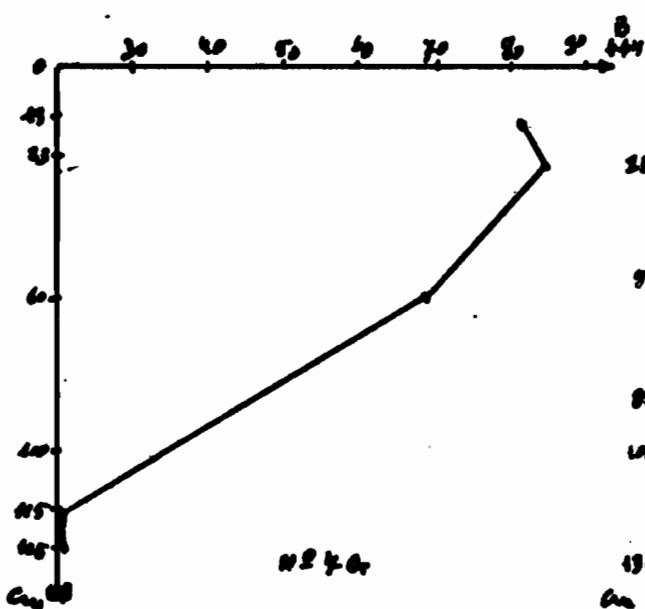
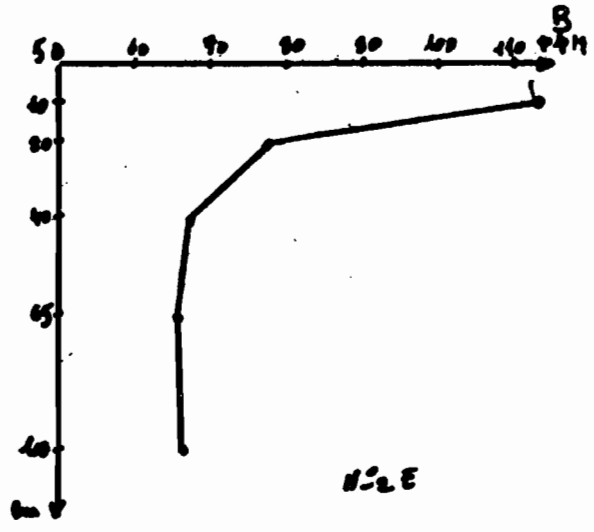
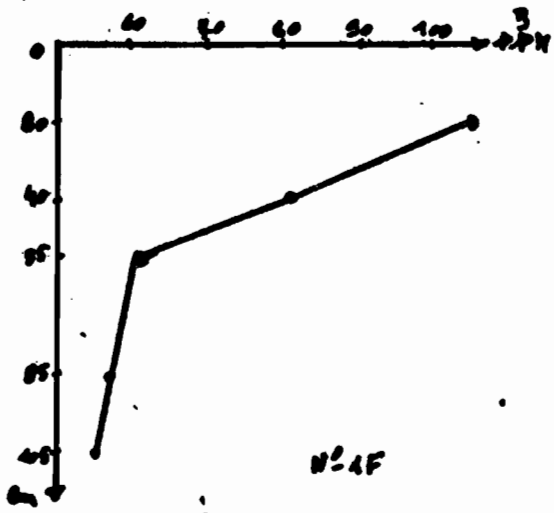
Tableau 34 - Dosage de Bcre total par spectrographie d'arc  
en ppm

	1	2	3	M OYENNE
N° 1F	0/20	180.0	185.0	182.9
	20/40	80.0	82.3	81.1
	40/55	60.5	61.0	60.5
	55/85	58.3	57.1	57.4
	35/105	57.2	55.5	54.3
N° 2E	0/10	128.0	128.2	126.3
	10/20	76.4	73.2	79.0
	20/40	67.8	67.1	65.3
	40/65	66.1	65.5	64.9
	65/100	67.6	64.3	65.3
N° 3A	0/15	40.3	39.1	39.7
	15/30	33.5	35.0	33.1
	30/50	35.2	35.1	34.3
	50/80	33.3	32.9	30.9
	30/100	29.0	28.0	28.3
N° 4 C	0/10	50.1	48.2	47.6
	10/20	44.3	42.5	43.3
	20/50	45.1	-	44.0
	50/75	44.3	43.9	42.1
	75/95	40.0	39.9	39.5
	95/100	41.2	40.2	38.5



Tableau 35 - (Suite)

		1	2	3	MOYENNE
	0/10	45.1	45.0	44.4	44.8
	10/25	44.8	44.8	43.9	44.3
	25/50	43.1	43.0	42.1	42.7
N° 5B	50/70	36.0	35.9	35.4	35.7
	70/100	35.6	35.0	34.6	35.0
	100/120	40.2	39.9	37.5	39.2
	0/25	40.5	41.3	40.0	40.3
	25/50	37.1	36.5	35.0	36.2
N° 6D	50/70	36.5	35.0	35.1	35.5
	70/90	35.1	35.4	35.0	35.1
	90/120	35.5	33.9	34.0	34.4
	0/10	35.5	30.3	29.5	31.7
	10/25	37.2	35.2	30.9	34.4
N° 7G	25/60	70.4	70.0	68.1	69.5
	60/100	35.0	33.9	34.1	34.6
	100/125	19.3	17.2	13.3	13.3
	0/25	90.4	35.9	33.3	33.2
	25/50	95.0	94.2	94.4	94.5
N° 8E	50/85	60.5	54.3	51.0	55.1
	85/100	59.3	57.3	54.5	57.2
	100/120	60.3	60.0	58.2	59.5



## 1.4 - Dosage de Bore soluble à l'eau chaude

Le dosage de Bore soluble à l'eau chaude est très important car il correspond à la quantité de Bore qui est facilement assimilée par les plantes.

### 1.4.1 - Préparation des échantillons

On pèse 20 g de sol et on les met dans un becher en téflon, on ajoute 50 ml d'eau distillée et on porte sur les plaques chauffantes pour une durée de cinq minutes à partir de l'apparition de la première bulle. On laisse refroidir l'échantillon et on filtre.

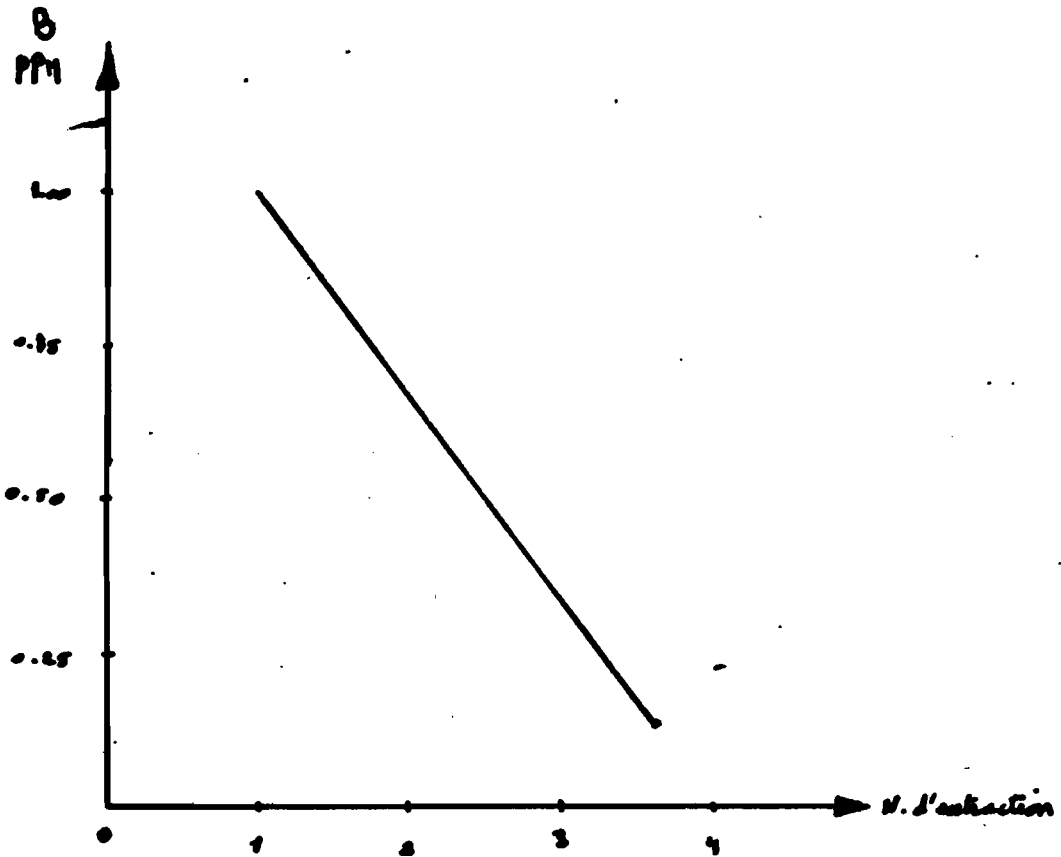
On recommence l'opération plusieurs fois jusqu'à ce que l'échantillon soit épuisé en Bore. Le graphique ci-dessous montre quand on doit arrêter le nombre d'extractions. On peut continuer l'opération jusqu'à ce que la courbe tombe à zéro.

### 1.4.2 - Précautions

On a été amené à faire plusieurs séries d'expériences. Nous avons fait une expérience avec les bechers ordinaires (Pyrex), des béchers en téflon et des erlens en quartz. Nous avons obtenu les meilleurs résultats avec les béchers en téflon (0.005 ppm), en quartz (0.01 ppm). Donc, on a choisi les béchers en téflon pour les extractions.

Un autre problème était celui de se procurer en entonnoirs

.../...



④

en plastique (chose possible). Les filtrats sont recueillis dans des fioles jaugées (malheureusement en pyrex) et ces dernières sont mises dans un frigidaire.

Nous avons fait une première détermination, puis une autre quinze jours plus tard, après un mois une troisième détermination. On espère le temps, on refait des dosages afin de voir si le facteur temps joue un rôle sur la teneur en Bore des extraits.

On sait que le tabac contient une quantité importante de Bore (G.BERTRAND : 7,5 à 10 ppm) et que celui-ci est très volatile. On a essayé d'empêcher de fumer dans le laboratoire et on a fait des essais sur une dizaine d'échantillons. On a observé une légère contamination des échantillons due à la fumée des cigarettes.

Dans le Bore total, au moment de la calcination, nous avons fait l'expérience sur six échantillons de sol et quatre échantillons de plantes. On a varié leur position (entrée, milieu et le fond) dans le four à moufle, pour tester une influence sur la teneur en Bore des échantillons. Nous n'avons pas constaté de modification anormale.

#### 1.4.3. - Méthode de dosage

##### Dosage du Bore soluble par l'azométhane

##### 1.4.3.1 - Les réactifs

On prépare une solution d'acide sulfurique normale et une solution masquante. On dissout 250 g. d'acétate d'ammonium dans 500 ml d'eau distillée et on ajoute 125 ml d'acide acétique à 99%. Dans cette solution, on dissout 6,7 g de Naz-E.D.T.A. et 6 ml d'acide thioglycole 30%.

On dissout 0,9 g. d'azométhane H et 2 g. d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée. On prépare au moment du dosage et on conserve tous les réactifs dans des flacons plastiques.

##### 1.4.3.2. - Préparation des échantillons

Nous avons déjà parlé des techniques d'extraction (20 g de sol avec 50 ml d'eau distillée). Nous prenons 2 ml de l'extrait; nous ajoutons quatre ml de la solution masquante et nous agitons quelques minutes. Puis on met 2 ml de la solution d'azométhane et on agite de nouveau quelques minutes puis on laisse reposer durant deux heures dans une pièce à l'abri de

../...

la lumière. Ensuite, on commence à mesurer (longueurs d'onde 410 mm en spectrophotométrie).

#### 1.4.3.3. - Résultats d'analyses

Nous trouvons, ci-après, les résultats d'analyses sur les huit profils avec quatre répétitions différentes.

Chaque répétition est faite avec un intervalle d'un mois, sur des préparations séparées et semblables.

#### Dosage du Bore soluble à l'eau chaude par spectrographie d'arc

Par cette méthode, l'extraction est semblable à celle de la méthode à l'azométhane, mais après l'extraction on change de mode opératoire.

On prend 100 ml de l'extraction, on met dans une capsule en silice et on transporte sur les plaques chauffantes. On ajoute. On ajoute quelques gouttes d'eau oxygénée pour détruire la matière organique des échantillons et on ajoute également 1 ml  $H_2SO_4$  (50 mg/ml).

On chauffe sur plaques chauffantes jusqu'à 100° pour évaporer toute l'eau, on sépare le résidu sec des parois et du fond des capsules. Ces dernières sont pesées avec et sans échantillon et l'on met les échantillons dans des tubes que l'on garde.

L'inconvénient de cette méthode est d'être longue. On obtient l'extrait sec après une ou deux journées (étuve à 105°). Si l'on chauffe fort, un débordement survient ce qui entraîne une perte d'extrait aqueux, par conséquent d'extrait sec et c'est là une première source d'erreur. Si l'on chauffe moins fort, on évapore lentement mais on augmente le temps d'opération de deux à trois fois (plaque chauffante).

Le plus simple consiste à place les échantillons dans une étuve aux environs de 100°. Après 24 h., on obtient l'extrait sec. On pèse 20 mg d'échantillon (extrait sec) et 20 mg de graphite, puis on mélange. Le reste de l'opération est identique à celui que nous avons déjà décrit.

../...

**Tableau 36** - Dosage de Bore soluble par la méthode d'azométhane en ppm

	1	2	3	4	MOYENNE	
N° 1 F	0/20	3.75	3.80	3.30	3.92	3.76
	20/40	1.10	1.00	1.15	1.20	1.11
	40/55	0.85	0.90	0.95	0.80	0.87
	55/85	0.60	0.62	0.59	0.60	0.60
	85/105	0.50	0.52	0.51	0.50	0.50
N° 2 E	0/10	2.95	2.90	2.93	2.95	2.93
	10/20	1.25	1.20	1.22	1.24	1.22
	20/40	0.80	0.80	0.79	0.80	0.79
	40/65	0.75	0.74	0.76	0.75	0.74
	45/100	0.50	0.50	0.49	0.51	0.50
N° 3 A	0/15	1.20	1.23	1.22	1.21	1.21
	15/30	0.65	0.62	0.64	0.65	0.64
	30/50	0.35	0.35	0.32	0.33	0.34
	50/80	0.30	0.29	0.31	0.30	0.30
	80/100	0.25	0.25	0.26	0.24	0.25
N° 4 C	0/20	2.60	2.59	2.60	2.61	2.60
	10/20	1.95	1.90	1.94	1.93	1.94
	20/50	1.20	1.19	1.20	1.21	1.20
	50/75	1.05	1.02	1.00	1.03	1.03
	75/95	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84
	95/106	0.50	0.48	0.40	0.50	0.47

Tableau 37

	1	2	3	4	MOYENNE
0/10	0.95	0.95	0.94	0.96	0.95
10/25	0.85	0.83	0.87	0.85	0.85
25/50	0.80	0.80	0.81	0.79	0.80
50/70	0.55	0.50	0.53	0.55	0.53
70/100	0.65	0.62	0.64	0.64	0.63
100/120	0.70	0.68	0.71	0.69	0.69
-----					
0/25	1.20	1.13	1.22	1.20	1.20
25/50	0.80	0.90	0.92	0.89	0.87
50/70	0.85	0.83	0.85	0.87	0.85
70/90	0.75	0.75	-	0.75	0.75
90/120	0.75	0.74	0.74	0.73	0.74
-----					
0/10	2.95	2.94	2.96	2.95	2.95
10/23	2.40	2.44	2.42	2.40	2.41
23/60	2.15	2.20	2.19	2.13	2.18
60/100	1.95	1.25	1.28	1.22	1.42
100/125	1.01	1.00	1.00	1.02	1.00
-----					
0/25	5.50	5.40	5.45	5.43	5.45
25/50	6.20	5.90	5.90	5.93	6.01
50/85	2.15	2.21	2.18	2.03	2.15
85/100	1.10	1.15	1.10	1.10	1.11
100/120	1.20	1.18	1.19	1.22	1.19



#### 1.4.3.4. - Résultats d'analyses

Nous avons opéré plusieurs répétitions (trois répétitions). Au début, les résultats n'étaient pas très bons, par la suite ils se sont améliorés, et nous avons fait plusieurs fois l'analyse des échantillons. Quand on a obtenu une stabilité des résultats, on a entrepris trois déterminations à des intervalles d'un mois.

Nous présentons ces résultats dans les tableaux ci-après.

Nous faisons les mêmes remarques que dans le cas de dosage du Bore soluble par l'azométrine, Le maximum de Bore soluble se trouve dans les horizons de surface et il diminue régulièrement avec la profondeur du profil.

#### Remarques

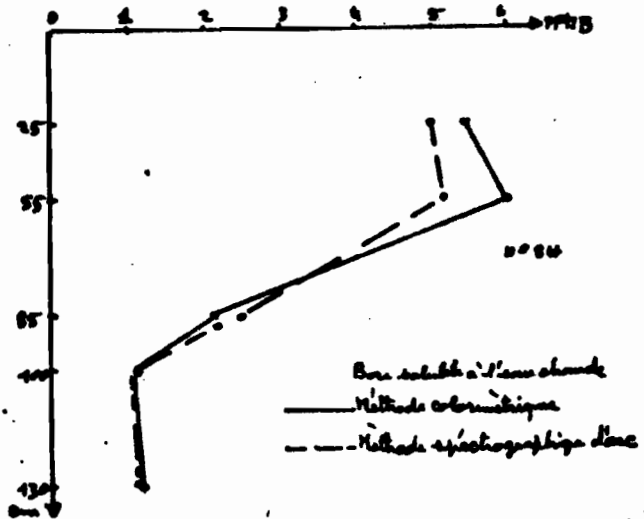
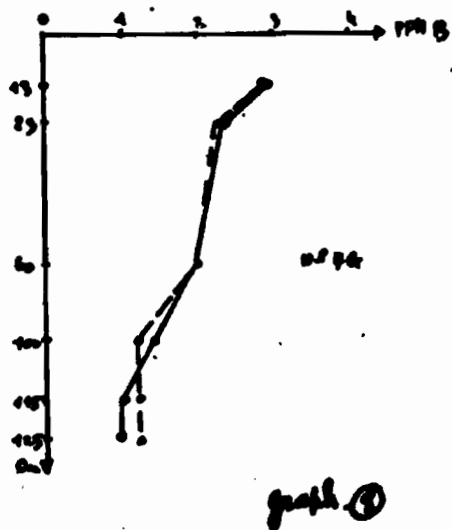
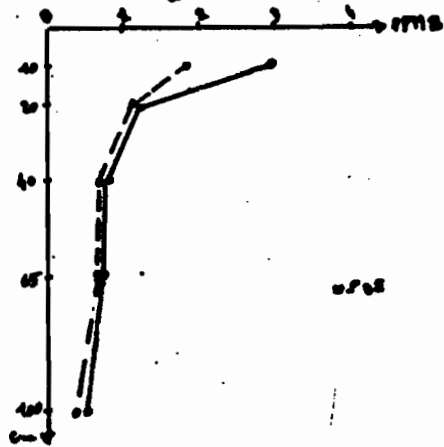
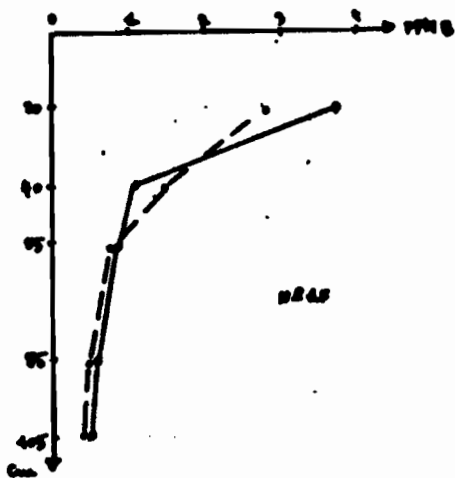
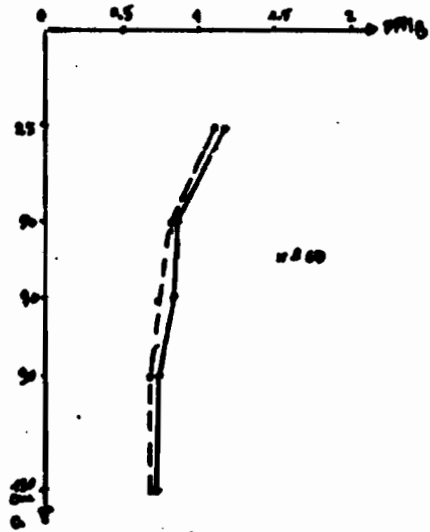
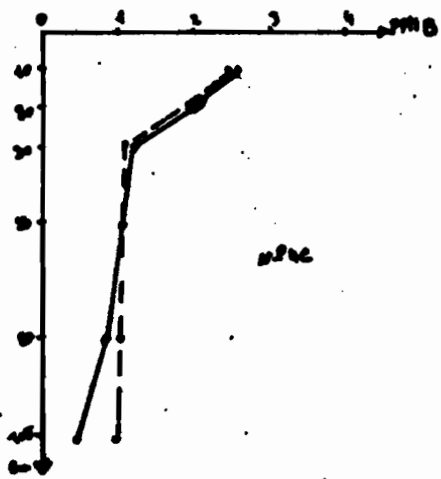
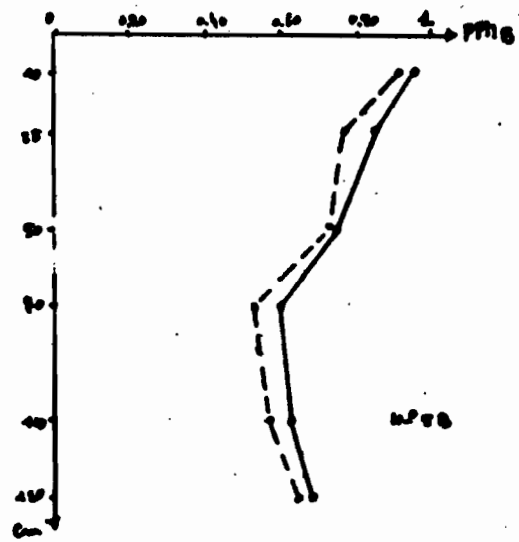
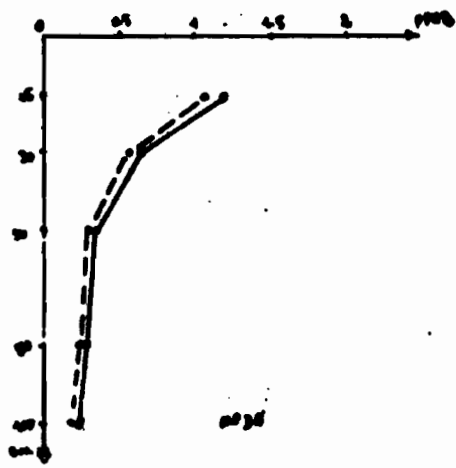
Nous montrons également un tableau récapitulatif des autres oligo-éléments tels que le Cobalt, le Plomb, le Cuivre, etc... et nous verrons s'il existe une corrélation entre ces oligo-éléments et les éléments majeurs vis à vis du Bore.

**Tableau 38 - Dosage de Bore soluble à l'eau chaude par spectrographie d'arc en ppm**

	1	2	3	MOYENNE	
	0/20	2.50	2.10	2.95	2.83
	20/40	1.25	2.00	1.53	1.49
N° 21E	40/55	0.70	0.83	0.80	0.81
	55/85	0.50	0.53	0.55	0.51
	85/105	0.45	0.44	0.39	0.41
	0/10	2.11	2.19	2.50	2.36
	10/20	1.20	1.00	1.25	1.13
N° 2 E	20/40	1.00	0.85	0.90	0.70
	40/65	0.75	0.72	0.70	0.70
	65/100	0.50	0.35	0.42	0.40
	0/15	1.15	1.10	1.13	1.12
	15/30	0.70	0.60	0.50	0.52
N° 3 A	30/50	0.40	0.41	0.38	0.35
	50/80	0.30	0.30	0.25	0.28
	80/100	0.20	0.18	0.19	0.18
	0/10	2.50	2.53	2.55	2.51
	10/20	1.30	1.32	1.30	1.35
N° 4 C	20/50	1.20	1.15	1.20	1.13
	50/75	1.00	1.02	1.01	1.03
	75/95	1.00	1.01	1.00	1.01
	95/100	0.30	-	-	1.00

Tableau 39 -

		1	2	3	MOYENNE
	0/10	0.90	0.89	0.91	0.92
	10/25	0.80	0.81	0.79	0.77
N° 5 B	25/50	0.75	0.74	0.73	0.73
	50/70	0.55	0.56	0.54	0.53
	70/100	0.60	0.59	0.61	0.57
	100/120	0.70	0.62	0.65	0.65
	0/25	1.20	1.21	1.17	1.16
	25/50	0.90	0.86	0.85	0.85
N° 6 D	50/70	0.80	0.82	0.78	0.77
	70/90	0.71	0.72	0.73	0.70
	90/120	0.70	0.70	0.72	0.71
	0/10	2.39	2.38	2.31	2.30
	10/23	2.40	2.41	2.33	2.37
N° 7 G	23/60	2.10	2.11	2.15	2.13
	60/100	1.20	1.22	1.23	1.21
	100/125	1.30	1.29	1.25	1.27
	0/25	5.10	5.03	5.19	5.00
	25/50	5.32	5.90	5.35	5.14
N° 8 H	50/85	2.12	2.31	2.10	2.50
	85/100	1.10	1.07	1.11	1.1
	100/120	1.20	1.19	1.24	1.3



Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zu	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 20	0.80	0.20	0.10	0.20	tr	1.02	tr	1.08	2.55	2.04
20 - 40	0.80	0.16	0.82	0.24	0.001	1.64	tr	1.08	1.62	1.23
40 - 55	0.70	0.14	1.14	0.21	tr	1.44	0.05	2.18	1.08	0.07
55 - 85	0.70	0.14	1.19	0.21	tr	0.73	tr	2.18	1.40	0.07
85 - 105	0.60	0.12	1.19	0.24	tr	0.66	tr	1.92	1.32	0.06

**Tableau 40 - Profil n° 1 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.**

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zu	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 10	0.10	0.03	0.03	0.05	0.09	0.40	0.03	1.09	3.27	2.18
10 - 20	0.09	0.02	0.02	0.04	0.04	0.36	0.02	2.88	2.88	2.88
20 - 40	0.04	tr	0.10	0.04	0.05	0.25	0.03	2.52	2.52	2.52
40 - 65	0.05	0.03	0.10	0.05	0.05	0.41	0.02	3.06	2.55	1.70
65 - 106	0.02	0.08	0.08	0.02	0.02	0.24	tr	1.80	1.70	2.12

**Tableau 41 - Profil n° 2 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.**

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zn	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 15	0.03	tr	0.03	0.02	0.03	0.12	0.010	1.02	1.70	1.02
15 - 30	0.01	tr	0.03	0.02	0.01	0.05	0.009	0.40	1.02	0.04
30 - 50	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	0.03	tr	0.30	1.00	0.09
50 - 80	0.01	0.006	0.01	0.02	0.01	0.02	0.009	0.37	0.06	0.03
80 - 100	0.01	tr	0.01	0.01	tr	0.01	tr	0.20	0.05	0.04

Tableau 42 - Profil n° 3 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zn	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 10	0.04	0.08	0.01	tr	0.04	0.09	tr	0.04	0.11	0.07
10 - 20	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.05	0.008	0.03	1.20	0.07
20 - 50	0.04	0.07	0.05	0.01	0.02	0.04	tr	0.06	0.80	0.06
50 - 75	0.08	0.09	0.05	0.01	0.04	0.07	0.01	0.07	0.79	0.07
75-95-106	0.01	0.03	0.06	0.01	0.01	0.06	0.01	0.05	0.76	0.07

Tableau 43 - Profil n° 4 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zn	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 10	0.01	0.005	0.05	0.01	0.016	0.015	0.010	0.50	0.16	-
10 - 25	0.01	0.005	0.05	0.01	0.016	0.016	0.011	0.49	0.11	-
25 - 50	0.05	0.005	0.05	0.015	0.05	0.026	0.005	0.52	0.15	-
50 - 70	0.04	0.004	0.04	0.013	0.04	0.035	0.004	0.44	0.13	-
70 - 100	0.04	0.004	0.04	0.013	0.04	0.040	0.004	0.42	0.11	-
100 - 120	0.04	0.004	0.02	0.012	0.04	0.020	0.008	0.40	0.12	-

Tableau 44 - Profil n° 5 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zn	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 25	0.045	0.005	0.022	0.013	0.013	0.045	tr	tr	0.110	-
25 - 50	0.043	0.016	0.021	0.021	0.012	0.043	tr	0.012	0.086	-
50 - 70	0.041	0.015	0.021	0.020	0.020	0.041	tr	tr	0.041	-
70 - 90	0.041	-	0.012	0.041	0	0.041	tr	0.012	0.041	-
90 - 120	0.053	-	0.05	0.053	0	0.015	tr	0.015	0.053	-

Tableau 45 - Profil n° 6 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zn	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 10	0.025	tr	0.012	0.007	0.007	0	0.005	0.250	0.50	-
10 - 23	0.025	0.005	0.012	0.007	0.007	0.025	0.002	0.250	0.50	-
23 - 60	0.013	tr	0.009	0.006	0.009	0.025	0.001	0.130	0.39	-
60 - 100	0.028	0.007	0.010	0.027	0.016	0.036	tr	0.108	0.36	-
100 - 115	0.096	tr	0.036	0.022	0.013	0.045	tr	0.113	0.135	-
115 - 125	0.096	tr	0.014	0.017	0.017	0.048	0.001	0.113	0.154	-

Tableau 46 - Profil n° 7 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.

Prof. cm	Mn	Pb	Cu	MO	Zn	V	Rb	Li	Sr	Ba
0 - 25	0.048	0.001	0.024	0.048	0.014	0.124	0.009	0.14	0.048	-
25 - 50	0.060	tr	0.032	0.020	0.012	0.120	0.004	0.12	0.012	-
50 - 85	0.039	tr	0.009	0.024	0.030	0.147	tr	0.07	0.014	-
85 - 100	0.053	tr	0.001	0.042	0.031	0.159	tr	0.10	0.016	-
100 - 120	0.044	tr	0.001	0.055	0.033	0.250	tr	0.11	0.016	-

Tableau 47 - Profil n° 8 : Recherche des oligo-éléments des différents horizons.



## CHAPITRE II - Etude de Bore des eaux de la région de KABUL.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les eaux de nappe qui ont été prélevées en cinq points différents, et les eaux de rivières de LOGAR et de KABUL que nous avons décrites au chapitre I, première partie (Hydrologie de la zone étudiée).

### 2.1 - Les eaux de nappe.

Ces eaux sont utilisées à l'époque de grande sécheresse, pour l'irrigation des sols et parfois même pour l'usage domestique des paysans.

#### 2.1.1 - Récolte des échantillons.

Le niveau de la nappe à cette période (Juillet-Octobre) de l'année, est à environ 10 mètres de la surface du sol. Heureusement, il existe plusieurs endroits (des puits d'eau à l'air libre) où à l'aide d'une longue corde tressée et un sac en caoutchouc (fabrication artisanale) on peut se procurer de l'eau.

Après avoir prélevé l'eau limpide des puits, on l'a filtrée dans une fiole en polyéthylène de 500 ml, puis on a conservé les flacons dans un endroit frais.

#### 2.1.2 - Méthode d'analyse.

Le choix d'une méthode d'analyse est très important car la sensibilité (spectrographie d'arc et photométrie par exemple) change d'une méthode à l'autre.

Nous avons fait le dosage par deux méthodes différentes, spectrographie d'arc et colorimétrie. La première méthode s'avère non intéressante (3 à 30% près) en raison de la faible quantité de Bore, et nous avons obtenu des résultats aberrants, alors que la seconde méthode montre une stabilité des résultats dès le début de l'opération.

Nous avons deux choix : soit abandonner la méthode de spectrographie d'arc, et continuer avec la méthode colorimétrique, soit continuer la spectrographie d'arc jusqu'à l'obtention des résultats stables et proches des résultats obtenus par les autres méthodes.

Nous avons, en tout cas, maintenu la méthode par spectrographie et nous avons fait plusieurs tests. Nous rappelons que nous avons pris l'extrait sec des échantillons d'eau, et en ce

.../...

qui concerne le procédé analytique, nous nous référons au chapitre 2. de la première partie (Bore soluble dans l'eau chaude). Nous trouvons, ci-après, les résultats d'analyse de Bore obtenus au cours de quatre répétitions, ainsi que les résultats d'analyses de Bore par la méthode colorimétrie (azométhane) dont nous avons déjà signalé le détail de l'opération.

Tableau 48-a) Analyse de Bore par la méthode colorimétrie en ppm (1,1'Dianthrémide)  
b) Analyse de Bore par la méthode de spectrographie d'arc en ppm.

Echantillons des eaux de nappe	Première répétition	Deuxième Répétition	Troisième Répétition	Quatrième répétition	Moyenne ppm
N°1 a	0,177	0,174	0,176	0,176	0,175
b	0,095	0,120	0,102	0,102	0,127
N°2 a	0,195	0,193	0,192	0,143	0,164
b	0,132	0,133	0,201	0,143	0,164
N°3 a	0,069	0,039	0,064	0,065	0,066
b	0,012	0,095	0,083	0,022	0,053
N°4 a	0,073	0,072	0,075	0,074	0,073
b	0,057	0,042	0,055	0,059	0,055
N°5 a	0,033	0,039	0,039	0,071	0,039
b	0,072	0,025	0,033	0,091	0,056

Pour les échantillons a, nous constatons, pour chacun d'eux, une ressemblance des résultats ainsi qu'une stabilité de dosage. Les deux premiers échantillons contiennent respectivement 0,175 et 0,194 ppm, les trois autres échantillons contiennent des teneurs en Bore plus faibles et se situent entre 0,06 à 0,07 ppm.

Quant aux échantillons b, ils indiquent premièrement des valeurs moyennes (plus faibles de Bore pour chacun d'eux) et deuxièmement des résultats différents dans les répétitions.

On a les résultats suivants : 0,127 ppm pour le premier échantillon au lieu de 0,194 ppm. De la même façon nous trouvons 0,053 ppm au lieu de 0,066 et 0,056 ppm au lieu de 0,069 ppm.

.../...

Tableau 50 - Gammes étalons utilisées pour la détermination de chaque élément et leur longueur d'onde

Eléments	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
Gammes g/ml	0.25-0.5- 1-2.5-5	50-75- 100-200 300-400	10-20 40-60- 30	5-10- 20-30- 50	9-10- 20-30- 50	1-2-5- 3-10	0.1-0.5- 1-2-3-4
= AO	580	43	-	290	333	211	2352

Tableau 51 - Bilan Ionique de l'échantillon n° 1

Echantil- lon n° 1	Ca	Mg	Na	K	S	Cl	NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	SO <sub>4</sub>	S
me/l	0.12	7.32	4.15	0.15	12.25	2.33	0.01	3.10	1.72	12.57
%	0.97	58.64	33.33	1.22	99.69	21.25	0.07	24.7	13.63	99.69

Tableau 52 - Bilan Ionique d'échantillon n° 2

Echantil- lon n° 2	Ca	Mg	Na	K	S	Cl	NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	SO <sub>4</sub>	S
me/l	0.10	14.0	10.82	1.00	25.6	10.47	0.01	12.93	0.37	24.83
%	0.33	54.32	40.35	4.11	99.69	21.25	0.07	34.7	13.63	99.65

Tableau 53 - Bilan Ionique d'échantillon n° 3

Echantil- lon n° 3	Ca	Mg	Na	K	S	Cl	CO <sub>3</sub> H	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	S
me/l	0.15	5.50	3.37	0.23	9.25	2.19	.5	100.09	1.50	0.13
%	1.62	59.45	33.43	2.50	100.00	23.93	53.37	0.97	13.21	99.74

Tableau 54 - Bilan ionique d'échantillon n° 4

Echantillon n° 4	Ca	Mg	Na	K	S	Cl	CO <sub>3</sub> H	NO <sub>3</sub> H	SO <sub>4</sub>	S
Me/l	0.14	6.41	3.00	0.29	10.53	2.7	0.24	0.0	1.72	10.03
%	1.23	59.03	24.99	2.11	97.4	20.43	32.21	0.0	17.14	99.93

Tableau 55 - Bilan ionique d'échantillon n° 5

Echantillon n° 5	Ca	Mg	Na	K	S	Cl	CO <sub>3</sub> H	NO <sub>3</sub> H	SO <sub>4</sub>	S
me/l	0.14	6.0	3.26	0.16	0.30	2.09	0.2	0.01	1.9	0.5
%	1.14	52.36	24.99	1.69	99.95	20.50	60.33	0.09	13.60	99.95

Dans les tableaux du bilan ionique, on constate, en général, que le taux de calcium varie de 0.12 à 0.15 mé/l, alors que dans l'échantillon n° 2 il est de 0.10 mé/l. La teneur en magnésium a doublé dans l'échantillon n° 2 (14 m/l) alors que dans les autres échantillons elle ne dépasse pas 7.3 me/l. On a fait la même observation pour le Sodium qui a doublé en 2 (10.5 mé/l) alors que dans les autres, elle ne dépasse pas 4.1 mé/l.

Le bicarbonate est d'environ 13.4 mé/l dans l'échantillon n° 2, 0,1 mé/l dans l'échantillon n° 1 et est plus faible dans les autres échantillons. La teneur la plus élevée en sodium se trouve dans l'échantillon n° 2 (10.4 mé/l) et la plus faible dans l'échantillon n° 4 (2,97 mé/l). Par contre, l'échantillon n° 2 possède une faible teneur en SO<sub>4</sub> (0.3 mé/l) par rapport aux autres échantillons (au moins 1.5 mé/l).

#### Utilisation des eaux de nappe pour l'irrigation

Nous savons que certaines de ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, nous devons chercher si un risque d'alcalinité est à craindre. Pour cela nous allons déterminer le S.A.R. (sodium, absorption ratio) de ces eaux en utilisant la formule suivante :

.../...

$$S.A.R. = \frac{Na^{++}}{Vca^{++} + Mg^{++}/2}$$

dans laquelle nous avons  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  qui représentent la concentration des ions en  $me/l$ . Après une période de contact, l'équilibre entre S.A.R. et E.S.P (échangeable - sodium, pour cent) s'établit, ce dernier est déterminé par la formule suivante :

$$E.S.P. = \frac{100 (0.01475 SAR - 0.0126)}{1 + (0.01475 SAR - 0.0126)}$$

Nous avons calculé, pour chacun de nos échantillons leur S.A.R. et E.S.P. que nous trouvons dans le tableau ci-dessous :

Tableau 55 - S.A.R et E.S.P. calculés sur échantillons d'eau de nappe

N° Echantillon	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
S.A.R.	2.03	3.38	2.02	2.11	1.33
E.S.P.	1.7	7.3	1.6	1.7	1.4

Nous pouvons classer ces eaux en fonction de leur conductivité. Cinq classes sont retenues (cf Hydropédologie : J. BOULAINÉ 1971-1972) :

Classe 1 :	ayant une conductivité	250 mmhos/cm
Classe 2 :	"	entre 250 et 750 mmhos/cm
Classe 3 :	"	entre 750 et 2250 "
Classe 4 :	"	entre 2250 et 5000 "
Classe 5 :	"	entre 5000 et 2000 "

A l'exception de l'échantillon n° 2, les quatre autres échantillons sont classés en classe 3. Ils ont une conductivité électrique comprise entre 1000 et 1200 mmhos/cm. Quant à .../...

l'échantillon n° 2 qui a une conductivité électrique de 3000 mmhos/cm, il satisfait les conditions de la classe 4.

Nous pouvons également classer les eaux en fonction du danger d'alcalinisation. Pour cela nous prenons le S.A.R. qui dépend de la salinité globale dans "Saline and calcalis soils". RICHARD préconise quatre classes :

- Classe 1 : les eaux faiblement sodiques : peu de danger de fixation de N. échangeable - S.A.R. = 2 à 10.
- Classe 2 : les eaux moyennement sodiques : S.A.R. = 10 - 18
- Classe 3 : les eaux fortement sodiques : S.A.R. = 18 - 26
- Classe 4 : les eaux très fortement sodiques : S.A.R. = 26.

Le diagramme de la classification des eaux d'irrigation montre que l'ensemble de nos échantillons, à l'exception du n° 2, a une salinité forte et que le danger d'alcalinisation est faible, alors que l'échantillon n° 2 a une très forte salinité et que le danger d'alcalinisation est moyen.

#### 2.1.4 - Conclusion

On peut irriguer avec ces eaux, mais avec prudence. Si l'on arrive à irriguer avec de l'eau douce, on diminue la teneur du sel du sol. Quant à l'échantillon n° 2, on doit l'éviter pour des irrigations.

#### 2.2 - Les eaux des rivières

Ces eaux ont été prélevées par Monsieur PIAS, <sup>et</sup> ramenées au laboratoire. On les a immédiatement filtrées et préparées pour les analyses d'éléments majeurs et celui du Bore.

##### 2.2.1 - Rivière de LOGAR

Nous avons décrit cette rivière en ce qui concerne son origine et son débit moyen annuel au chapitre de l'Hydrologie de la région de Kabul, et nous avons également signalé que notre région étudiée bénéficie des eaux de cette rivière pour l'irrigation.

Nous donnons simplement les résultats des analyses de ces eaux dans le tableau ci-dessous sous forme d'un bilan ionique :

././...

**Tableau 53** - Bilan ionique des eaux de rivières  
LOGAR et KABUL.

	Ca <sup>++</sup> me/l	Mg <sup>++</sup> me/l	Na <sup>++</sup> me/l	K <sup>+</sup> me/l	S	CO <sub>3</sub> H me/l	Cl me/l	NO <sub>3</sub> me/l	SO <sub>4</sub> me/l	S me/l
LOGAR	0,50	3,83	1,08	-	5.41	2.74	1.24	0.08	0.92	4.98
KABUL	0.42	4.08	1.30	-	5.80	2.80	1.38	0.07	1.16	5.80

### 2.2.2. - Rivières de KABUL

Nous avons déjà donné des renseignements sur le débit moyen annuel de cette rivière et aussi sur les autres caractéristiques ainsi que les résultats analytiques ci-dessus.

### 2.3.3. - Analyse du Bore

Nous avons analysé le Bore par la méthode colorimétrique (à l'azométhane) et nous trouvons les résultats dans le tableau ci-après :

**Tableau 57** - Teneur en Bore des eaux des rivières  
KABUL-LOGAR

Rivières	1 Répéti- tion ppm	2 Répéti- tion ppm	3 Répéti- tion ppm	4 Répéti- tion ppm	5 Répéti- tion ppm	6 Répéti- tion ppm	Moyen ppm
LOGAR	0.108	0.112	0.106	0.111	0.110	0.111	0.109
KABUL	0.108	0.105	0.111	0.111	0.112	0.112	0.109

### 2.2.3.1 - Conclusion

Les eaux des rivières Kabul et Logar paraissent posséder des teneurs relativement faibles en Bore et équivalentes.

.. / ...

Pour classer les eaux en fonction de la conductivité, on les classe dans la catégorie 2 (Hydropédologie : J.BOULAINÉ 1971-1972) car celles-ci ont respectivement une conductivité de 5.60 micro mmhos/cm (0.56 mmhos/cm).

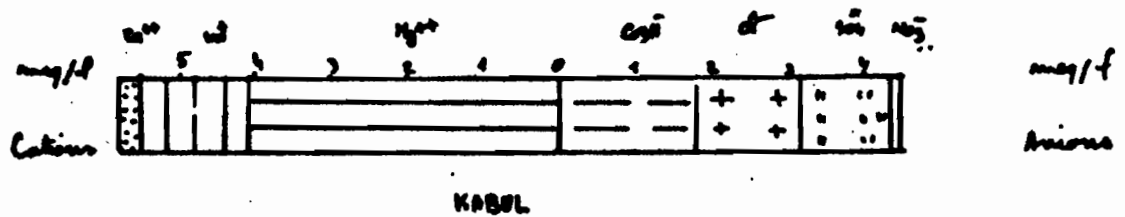
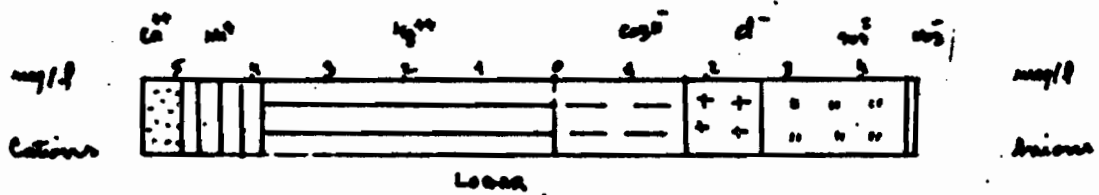
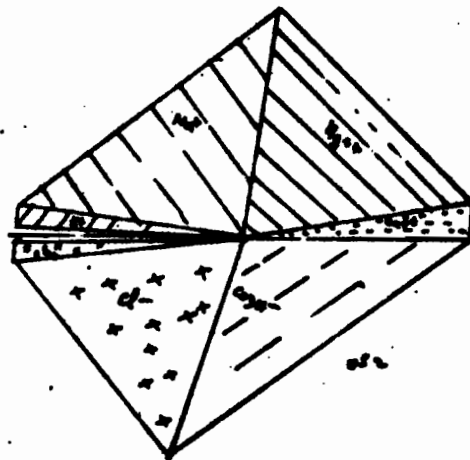
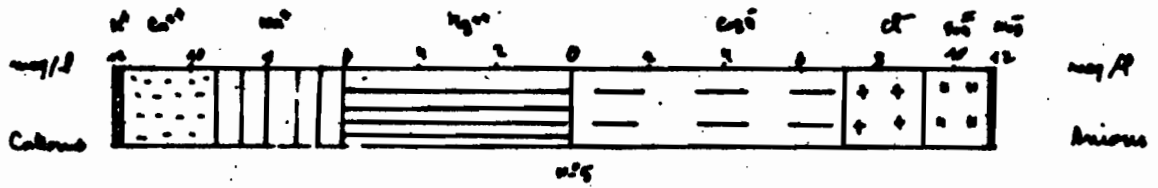
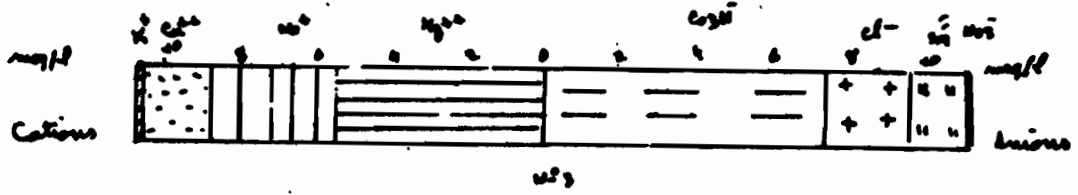
Quant à la classification en fonction du danger d'alcalinisation, ces eaux ont les S.A.R suivants :

- 0.73 pour LOGAR
- 0.33 pour KABUL,

ce qui veut dire que ces eaux ne sont pas sodiques et que le danger d'alcalinisation est nul.

On a raison d'utiliser ces eaux pour l'irrigation car elles ne présentent aucun danger. Par contre, on a constaté que dans le cas des eaux de nappe fortement sodiques, il y a un danger d'alcalinisation. Avec les eaux de rivière ce danger est atténué et le sol peut acquérir un autre équilibre cationique.





## CHAPITRE III - Etude de Bore dans les plantes cultivées de KABUL

Comme nous avons fait les analyses sur les sols et les eaux, il nous paraissait indispensable de faire une petite étude en ce qui concerne les plantes de la région, voir les différents constituants, et rechercher s'il y a une relation entre les éléments constitutifs des plantes et le milieu sur lequel elles se trouvent.

Nous avons analysé les éléments majeurs : calcium, magnésium, etc... et puis nous nous sommes intéressés au Bore. Nous ne donnons pas la méthode d'analyse pour chaque élément mais par contre, nous donnons un tableau récapitulatif d'ensemble des éléments.

### 3.1 - Récolte des échantillons

Lors de notre prospection sur le terrain, nous avons prélevé des échantillons de luzerne, de maïs, de topinambour. Nous les avons mis dans des sachets en polyéthylène, étalés sur des nattes à l'abri de la poussière et de toute contamination. Après dessiccation, nous les avons broyés à la main et remis dans des sachets plastique. Au laboratoire, nous les avons broyés en poudre fine, pour le dosage des éléments.

### 3.2 - Technique utilisée, méthode d'analyse

Nous avons utilisé la méthode colorimétrique (1.1 Dianthrémide) pour le dosage de Bore, sur la poudre préparée précédemment, que l'on a calcinée à 450° pendant quatre heures au four à moufle.

#### 3.2.1 - Réactifs et matériels

- 1 - Magnésie calcinée 1% en solution aqueuse
- 2 - Acide acétique, 25% en volume
- 3 - Sulfate d'hydrozine 4% solution aqueuse
- 4 - Acide sulfurique  $d = 1.83$  exempt de Bore
- 5 - Solution mère de Bore : 0.1 g/l de bore
- 6 - solution fille de Bore: diluer 1/10 la solution mère 100/ml
- 7 - Solution mère dianthrémide : 400 mg dans 100 ml acide sulfurique  $d = 1.83$
- 8 - Solution fille : 10 ml de solution mère, compléter à 200 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.

.../...

- 9 - Creusets en porcelaine de 35 mm de diamètre et 40 mm de hauteur  
 10 - Tubes à essai en verre 10 x 200 mm.

### 3.2.2. - Mode opératoire

On prend 0,5 gramme de poudre (préparée précédemment) et on l'a met dans un creuset en porcelaine. On ajoute 2 ml de solution 1. On dessèche puis on calcine les échantillons dans un four à moufle à 450° pendant 4 heures.

On laisse refroidir les échantillons et on ajoute 5 ml d'acide acétique à 25% en volume. On centrifuge 10 minutes à 3 ou 3500 tours par minute et on prélève 0.7 ml de la solution claire obtenue après filtrage que l'on introduit dans un tube à essai en verre.

On ajoute 0.3 ml le sulfate hydrozine à 4%, puis 10 ml de la solution fille de dianthrimide. On agite avec prudence car la solution est visqueuse et elle est difficile à mélanger (c'est un inconvénient de cette méthode).

On met les tubes dans une étuve à 90° pour une durée de 3 heures, puis on retire les tubes et on les laisse refroidir à l'obscurité dans un dessiccateur.

On prépare une gamme étalon de 1 - 2.5 - 5 - 7  $\gamma$ /ml de Bore. On prélève 0.1 - 0.25 - 0.5 et 0.7 ml de la solution fille de Bore et on complète à 0.7 ml avec l'acide acétique à 25%.

On règle le colorimètre à 6800  $\text{\AA}$ .

On a effectué trois répétitions sur des solutions différentes et à des intervalles différents. On trouve les résultats pour chaque échantillon dans le tableau ci-après :

Tableau 53 - Analyse de Bore par colorimétrie (dianthrimide) en ppm

	1	2	3	4
L.P.N. (1)	5.30	5.30	5.50	5.08
L.P.S. (1)	4.90	5.20	5.40	5.50
Maïs	1.08	1.10	1.07	1.08
Topinanbour	1.70	1.00	1.30	1.60

(1) L.P.N = Luzerne parcelle nord - L.P.S. = Luzerne parcelle sud.

Nous avons également utilisé la méthode à l'azoméhrine (colorimètre) et nous avons trouvé les résultats semblables que nous présentons dans le tableau ci-dessous :

Tableau 59 - Analyse de B par colorimétrie (Azoméhrine)

	1 ppm	2 ppm	3 ppm	Moyenne ppm
Luzerne P.N.	5.00	5.53	5.57	5.53
Luzerne P.S.	4.92	5.24	5.26	5.14
Maïs	1.19	1.19	1.09	1.30
Topinanbour	1.70	1.64	1.63	1.63

### 2.2.3. - Conclusion sur le Bore dans les plantes

Les deux méthodes sont intéressantes, nous avons les mêmes résultats au point de vue pratique mais la première demande un peu plus de soin car on travaille avec l'acide concentré, ce qui est gênant au moment du dosage.

Quant à la teneur trouvée dans les plantes, elle nous paraît une teneur normale que l'on peut trouver généralement dans les plantes (2 à 100 ppm physiologie des Plantes Paris SEDMS)

Nous trouvons, ci-après, le tableau récapitulatif des éléments majeurs, recherchés sur nos échantillons de plantes.

Tableau 60 - Analyse chimiques des plantes cultivées

Plantes	P	K	Ca	Na	Mg	N.Tot	S	Cl	Fe	Mn
L. P.N.	0.27	2.33	1.20	0.03	0.77	4.45	0.55	1.01	0.03	0.005
L. P.S.	0.42	2.21	1.20	0.03	0.73	4.39	0.55	0.72	0.03	0.004
Maïs	0.20	1.92	0.37	0.04	0.70	1.32	0.15	0.55	0.03	0.003
Topinan- bour	0.31	2.44	1.53	0.14	0.95	2.29	0.24	0.79	0.03	0.011

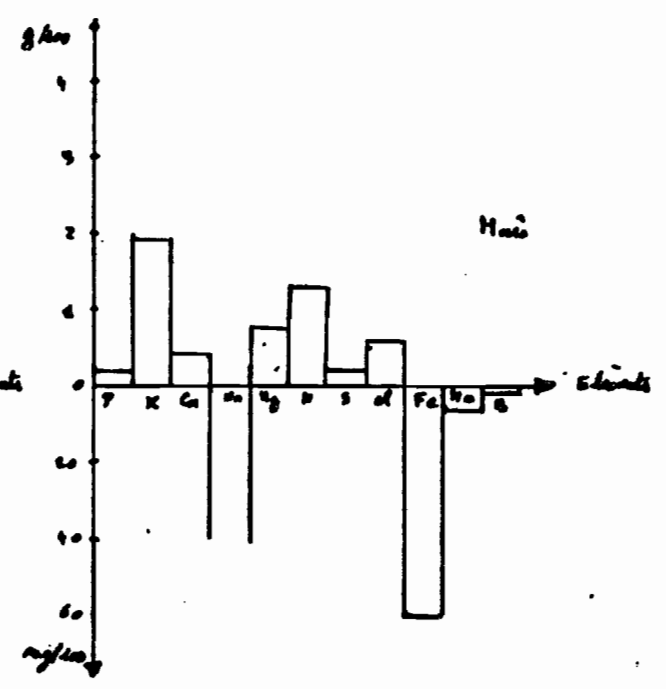
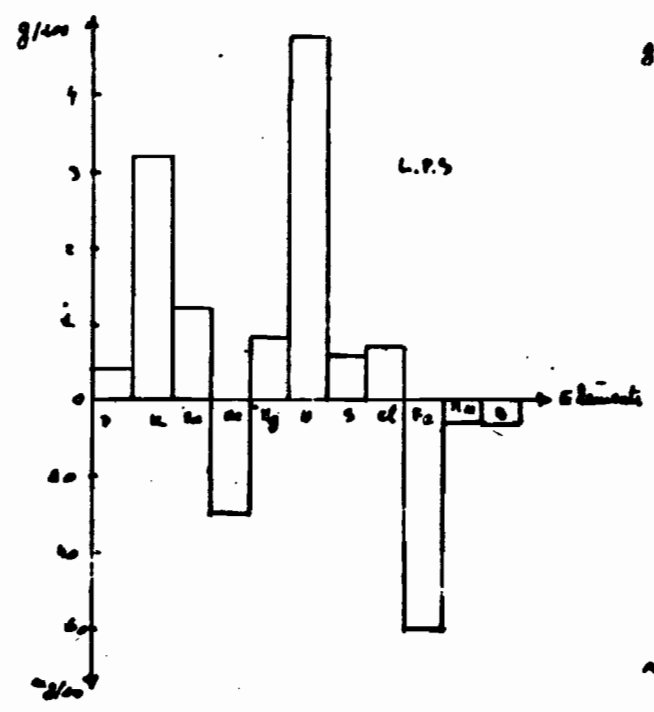
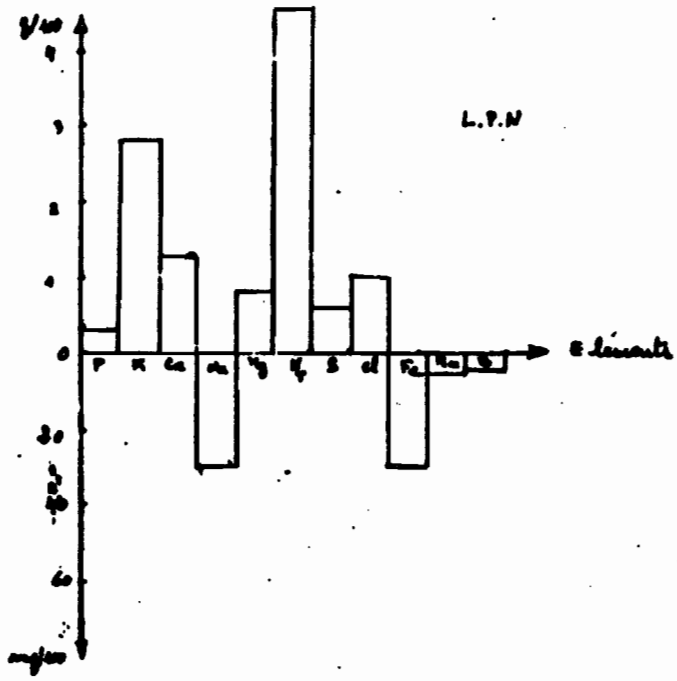
Nous déduisons de ce tableau que les échantillons de nos plantes sont moyennement riches en phosphore et calcium (respectivement de 0,20 à 0,42 g/100 en phosphore, et de 0,37 à 1,56 g/100 en calcium) alors que normalement on doit avoir pour P entre 0,1 à 1 g/100 et pour Ca entre 0,5 à 3,5 g/100.

Le taux de soufre et de chlore est normal. Nous remarquons que l'ensemble des échantillons est très riche en potassium 1,92 g/100 pour le Maïs, 3,44 g/100 pour le topinanbour..etc..., alors que normalement le taux de potassium dans les plantes varie de 0,3 à 1 g/100. Quant au magnésium sa teneur est légèrement supérieure (0,77 à 0,95 g/100) à ce qu'on trouve normalement (0,65 à 0,75 g/100).

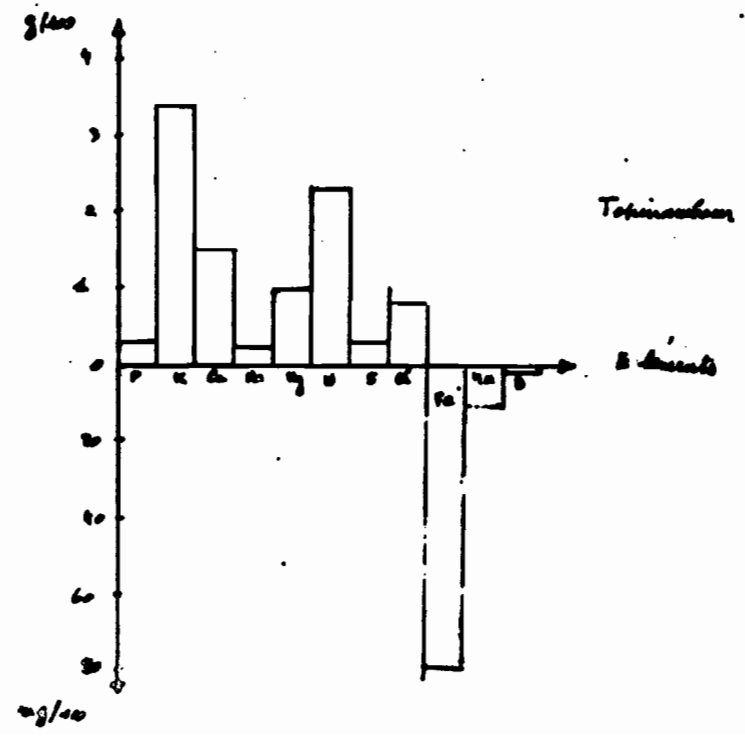
#### 3.2.4 - Conclusion d'ensemble

Les taux d'éléments dans les plantes sont en général moyens, sauf pour le potassium et le magnésium où ils sont élevés.

Nous avons remarqué également un taux élevé de magnésium dans les bases échangeables (sols) et aussi un taux élevé dans les eaux des rivières (Kabul et Logar) et dans les eaux de nappe.



Composition chimique  
des plantes cultivées  
de KABUL  
graph (16)



## TROISIEME PARTIE

### LA DYNAMIQUE DU SORE DANS LES SOLS

#### CHAPITRE I - Expérience de laboratoire sur des colonnes de sol.

##### 1.1 - Origine du sol pour l'expérimentation

Comme nos études portent sur les sols d'Afghanistan, nous n'avions pas assez de terre pour expérimenter sur ces sols. Nous avons donc cherché un sol qui soit proche de nos échantillons. C'est ainsi que nous avons choisi le sol brun lessivé de Grignon, en raison de sa granulométrie (horizon limono-argileux) et de sa teneur en calcaire (calcaire total environ 13% et calcaire actif 5%).

##### 1.2 - Préparation des colonnes de sol

Les colonnes sont en polyéthylène transparent, de diamètre 3,4 cm et de longueur de 50 cm. La transparence des colonnes nous permet de voir si le remplissage est homogène et d'observer la remontée des solutions par capillarité.

Nous avons préparé nos colonnes de la manière suivante : les tubes étaient découpés dans le sens de la longueur, nous les avons recollés par un ruban adhésif qui ne se détache pas au contact de l'humidité.

La partie inférieure de la colonne est bouchée avec un bouchon en caoutchouc, puis serrée par un anneau métallique à vis.

Le bouchon en caoutchouc est percé au centre et traversé par un petit tube en verre, relié par un autre tube en caoutchouc à un réservoir en verre que lui-même est surmonté par une fiole jaugée contenant 500 ml de la solution.

Les dix premiers centimètres inférieurs de la colonne sont remplis de laine de verre (pour ne pas empêcher la remontée des solutions). Le restant de la colonne est rempli de sol tamisé à 2 mm, à l'aide d'un entonnoir. En même temps que nous avons versé le sol dans la colonne, nous avons tourné l'entonnoir pour obtenir un remplissage homogène.

.../...

La partie supérieure de la colonne est nue, pour favoriser l'évaporation des solutions. Nous pouvons remarquer que la surface du cercle (partie supérieure de la colonne) est très petite, ce qui entraîne une évaporation très lente. Nous avons pu pallier cette difficulté en utilisant une lampe à filament de carbone qui, placée à une distance convenable favorise l'évaporation des solutions.

...

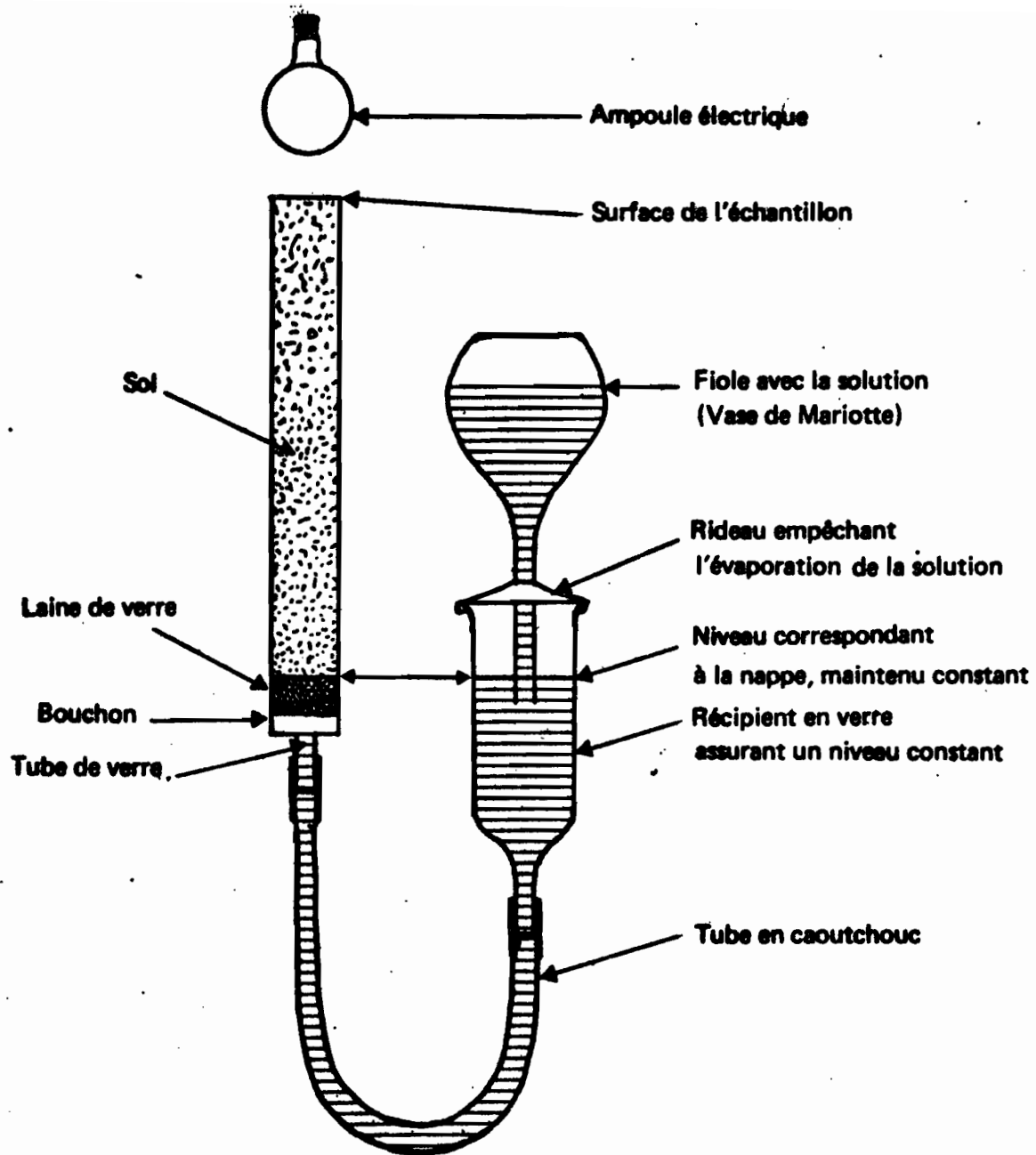
Nous trouvons, ci-après, un schéma sommaire du montage :

### 1.3 - Les solutions utilisées

Nous avons essayé de reconstituer approximativement les eaux de nappe de Kaboul.

.../...





Pour tenir compte de notre prélèvement d'échantillon n° 2 qui est plus salé que les autres, nous avons préparé deux solutions différentes.

Nous trouvons, ci-après, les compositions des solutions dans lesquelles sont ajoutées les quantités de Bore variables :

Tableau 31 - Solutions I et II

	Na CO <sub>3</sub> H	Mg (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub>	Mg cl <sub>r</sub>	Kcl	Nacl	Mg SO <sub>4</sub>
Solution I	3.3 me/l	1.3 me/l	2.2 me/l	0.2 me/l	3.1 me/l	1.0 me/l
	Na CO <sub>3</sub> H	Mg (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub>	Mg cl <sub>r</sub>	Ca (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub>	Nacl	Mg SO <sub>4</sub>
Solution II	10.94 me/l	1.7 me/l	3.3 me/l	1.3 me/l	3.5 me/l	0.37 me/l

La solution I est destinée au cinq premières colonnes et la solution II est préparée pour les deux dernières.

#### 1.4 - Description des colonnes

Toutes les colonnes contiennent le même sol, mais reçoivent des traitements différents.

La colonne n° 1 contient 1% de matière organique, elle reçoit la solution n° 1 avec 0.56 ppm de Bore.

Les colonnes n° 2 et 3 ne contiennent pas de matière organique; elles sont traitées avec la solution I qui renferme également 0.56 ppm de Bore.

.../...

Les colonnes n° 4 et n° 5 sont deux répétitions, sans matière organique, avec la solution I, mais contiennent 0.50 ppm de Bore.

Les colonnes n° 6 et 7, toujours sans matière organique, sont traitées avec la solution II, contenant 1 ppm de Bore. En plus, la colonne 7 a reçu une petite quantité de gypse à la base.

La colonne n° 3 est une colonne témoin, traitée seulement avec l'eau distillée.

### 1.5 - Résultats de l'expérimentation

L'expérience a duré plusieurs mois (cinq mois). L'évaporation était très lente et l'opération délicate car les colonnes étaient "scotchées" et collées par la paraffine, et au moment des fortes chaleurs de l'été (35°) la paraffine a fondu, ce qui a entraîné une fuite de la solution. Par conséquent, il fallait recommencer l'opération.

Nous trouvons, ci-après, les tableaux de résultats des expériences.

Nous essayons ensuite de montrer l'évolution de chaque élément et spécialement du Bore sur la hauteur des différentes colonnes, en fonction des traitements.

Prof. cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>++</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mé/100	S
0 - 10	3.37	1.54	1.60	0.82	7.33	2.50	3.75	0.25	0.80	7.30
10 - 20	1.05	0.12	0.26	0.62	2.05	0.05	1.75	0.20	0.45	2.45
20 - 30	0.55	0.12	0.30	0.46	1.43	0.05	1.00	0.25	0.55	1.85
30 - 40	0.55	0.12	0.26	0.26	1.19	0.05	1.00	0.25	0.40	1.20

Tableau 62 - Colonne n° 1 avec 1 % de M.O.

Prof. cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>++</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mé/100	S
0 - 10	2.35	0.20	1.60	0.02	4.17	1.02	0.60	1.25	2.87
10 - 20	1.30	0.12	1.30	0.02	2.74	0.90	0.60	0.80	2.30
20 - 30	1.30	0.12	0.32	0.03	1.77	0.07	1.75	0.10	1.92
30 - 40	0.60	0.16	0.34	0.04	1.14	0.07	1.75	0	1.82

Tableau 63 - Colonne n° 2.

Prof. cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>+</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mé/100	S
0 - 10	2.00	0.24	1.56	0.04	3.84	1.00	0.75	1.25	2.00
10 - 20	1.90	0.24	1.34	0.04	3.62	0.80	0.85	0.80	2.45
20 - 30	1.80	0.12	0.34	0.03	2.29	0.25	0.90	0.15	1.30
30 - 40	0.95	0.19	0.34	0.04	1.52	0.25	0.75	0.05	1.05

Tableau 64 - Colonne n° 3.

Prof.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	S
cm	mé/100	mé/100	mé/100	mé/100		mé/100	mé/100	mé/100	
0 - 10	1.35	0.24	1.26	0.03	2.88	0.87	1.80	1.05	2.62
10 - 20	1.60	0.18	0.26	0.07	2.11	0.05	1.70	0.45	2.20
20 - 30	1.60	0.18	0.26	0.06	2.10	0.05	1.70	0.40	2.15
30 - 40	1.55	0.14	0.56	0.07	2.32	0.05	1.85	0.35	2.25

Tableau 65 - Colonne n° 4

Prof.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	S
cm	mé/100	mé/100	mé/100	mé/100		mé/100	mé/100	mé/100	
0 - 10	1.50	0.28	1.34	0.04	3.66	0.82	1.80	1.04	3.66
10 - 20	1.49	0.28	0.43	0.01	2.21	0.06	1.80	0.42	2.22
20 - 30	1.45	0.24	0.47	0.02	2.18	0.05	1.80	0.37	2.22
30 - 40	1.40	0.14	0.60	0.02	2.46	0.10	1.75	0.36	2.21

Tableau 66 - Colonne n° 5.

Prof.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	S
cm	mé/100	mé/100	mé/100	mé/100		mé/100	mé/100	mé/100	
0 - 10	1.90	0.16	2.91	0.04	5.01	3.62	0.65	0.70	1.97
10 - 20	0.50	0.12	1.17	0.07	2.96	1.37	1.10	0.45	2.63
20 - 30	0.45	0.12	1.30	0.07	1.94	0.37	1.25	0.50	2.17
30 - 40	0.40	0.16	1.65	0.11	2.32	0.37	1.50	0.56	2.43

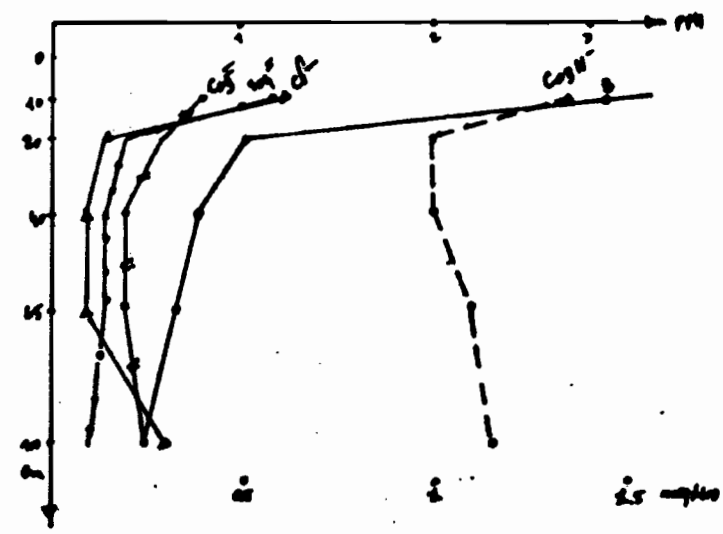
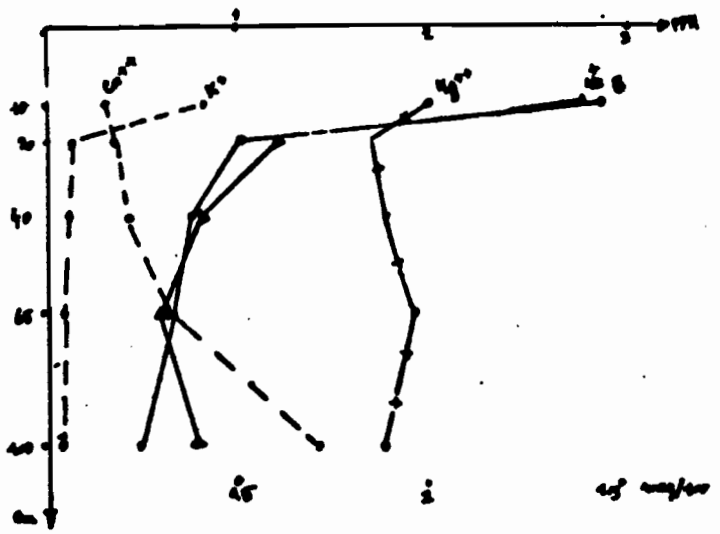
Tableau 67 - Colonne n° 6.

Prof. cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>+</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mé/100	S
0 - 10	5.00	0.61	3.04	0.02	8.67	1.75	0.75	5.50	8.00
10 - 20	2.55	0.20	0.95	0.02	3.72	0.50	0.75	1.10	2.25
20 - 30	1.00	0.12	0.95	0.02	2.09	0.50	0.75	1.05	2.30
30 - 40	1.45	0.20	1.00	0.02	2.67	0.52	0.75	1.50	2.77

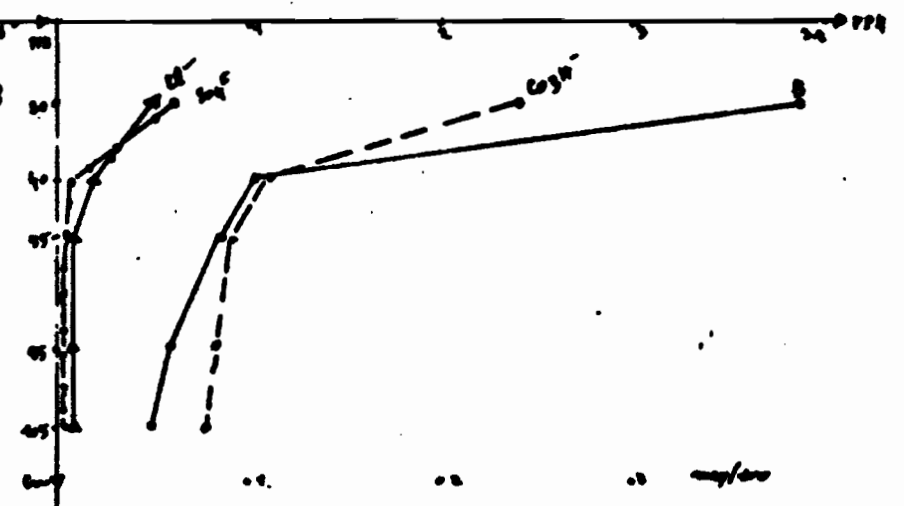
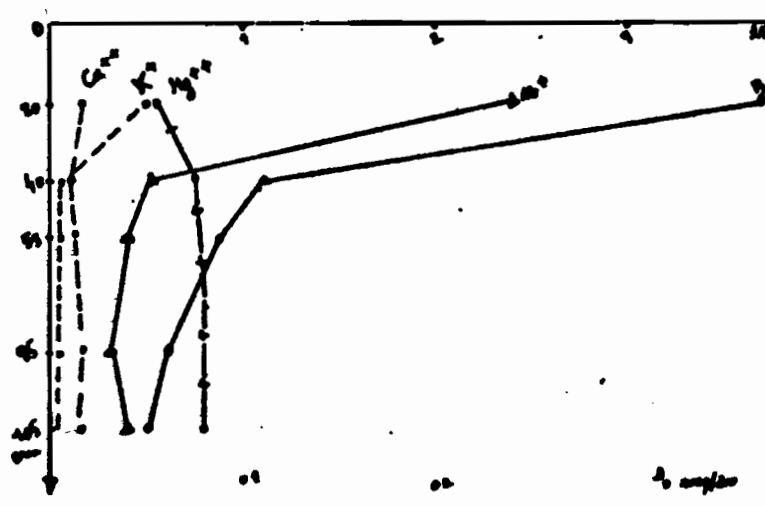
Tableau 68 - Colonne n° 7

Prof. cm	Ca <sup>++</sup> mé/100	Mg <sup>++</sup> mé/100	Na <sup>+</sup> mé/100	K <sup>+</sup> mé/100	S	Cl <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> mé/100	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mé/100	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mé/100	S
0 - 10	0.60	0.14	0.04	0.02	0.80	0.03	0.17	-	0.60	0.80
10 - 20	0.50	0.12	0.03	0.02	0.67	0.02	0.15	-	0.50	0.67
20 - 30	0.50	0.13	0.03	0.01	0.57	0.02	0.15	-	0.40	0.57
30 - 40	0.50	0.12	0.03	0.02	0.67	0.02	0.15	-	0.40	0.57

Tableau 69 - Colonne n° 8 (Témoïn).

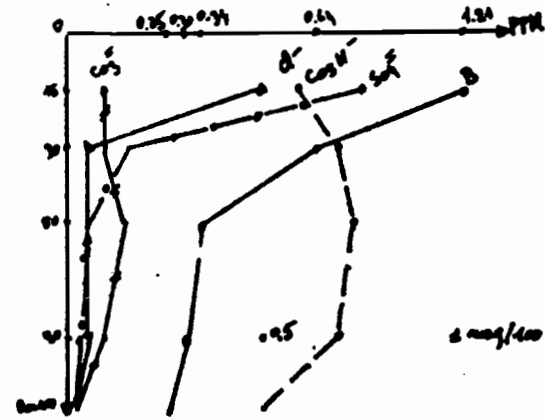
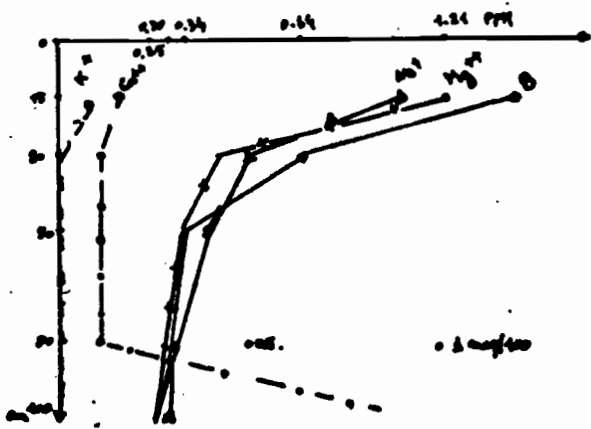


(32)



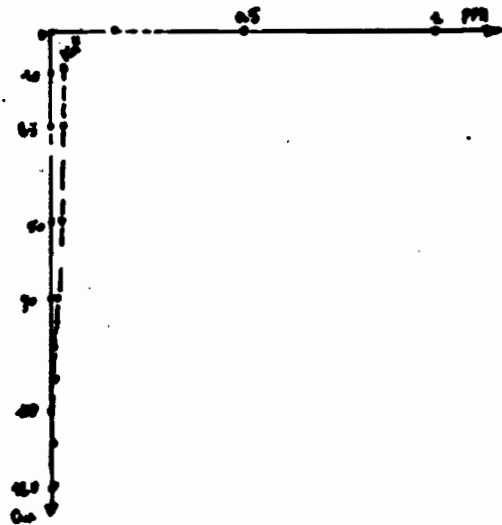
(33)

graph (34)

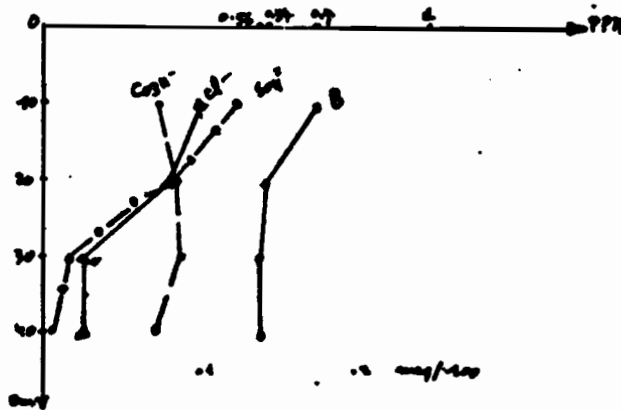
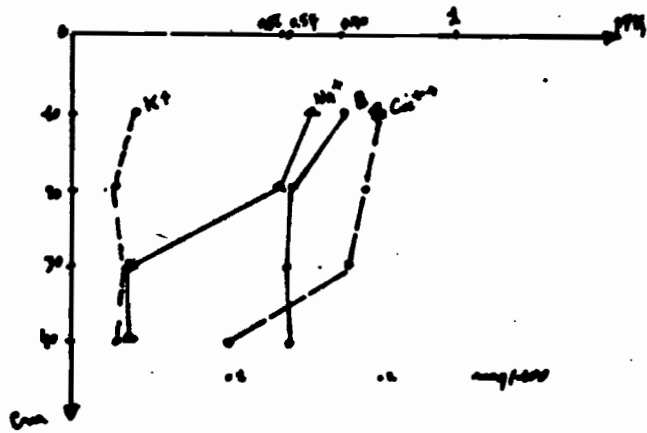
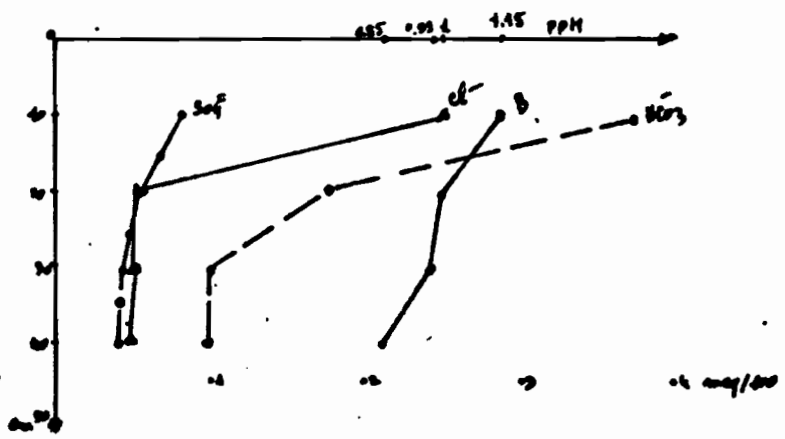
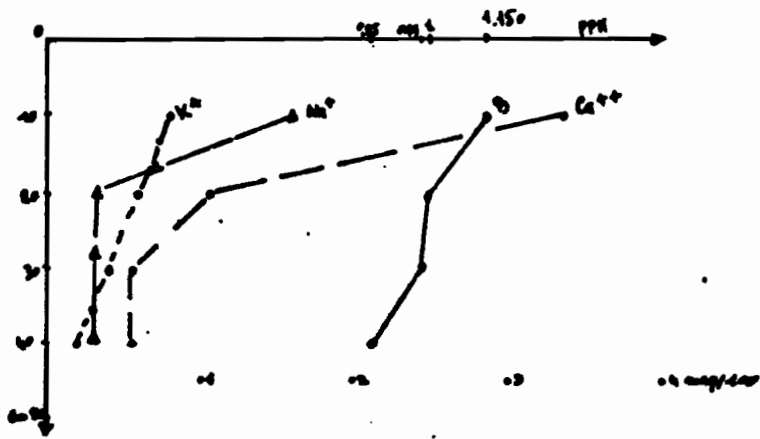


24

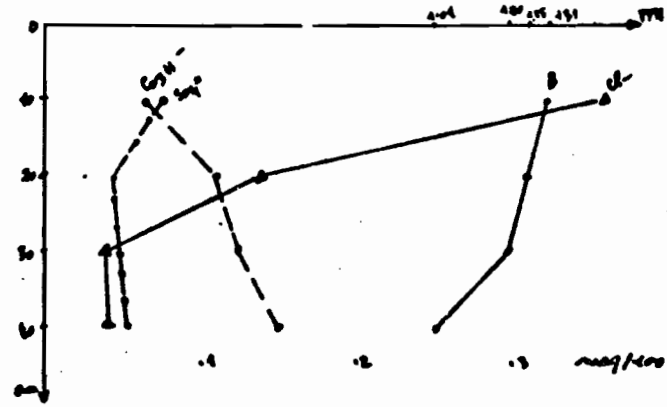
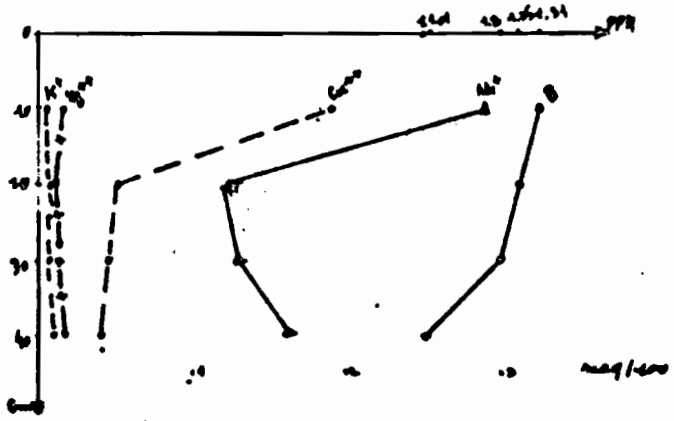
graph 24



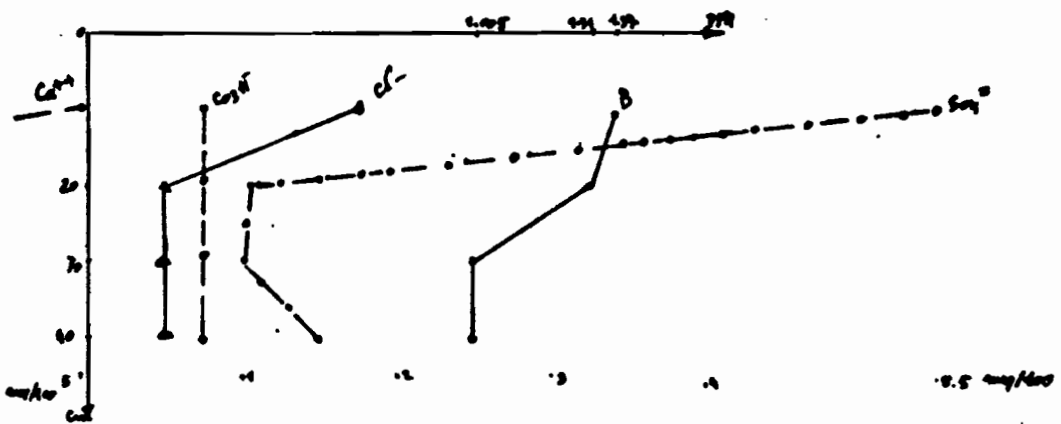
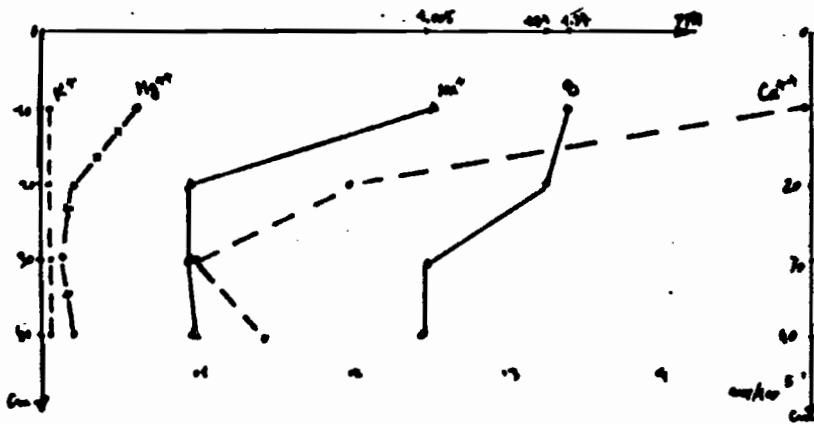




Graph ④



graph 15



Colonne 1		Colonne 2		Colonne 3		Colonne 4	
Prof.	B ppH	Prof.	B ppH	Prof.	B ppH	Prof.	B ppH
1	1.150	1	0.625	1	0.700	1	0.875
2	1.000	2	0.562	2	0.570	2	0.653
3	0.990	3	0.587	3	0.560	3	0.651
4	0.850	4	0.575	4	0.575	4	0.642
Colonne 5		Colonne 6		Colonne 7		Colonne 8	
Prof.	B ppH	Prof.	B ppH	Prof.	B ppH	Prof.	B ppH
1	0.882	1	1.312	1	1.375	1	0.015
2	0.733	2	1.250	2	1.312	2	0.010
3	0.651	3	1.212	3	1.000	3	0.010
4	0.650	4	1.010	4	1.005	4	0.010

Blanc = 0.005 Teflon

Spectrophotométrie (à l'azométhine).

Tableau 70 - indique la remontée par capillarité de base expérimentalement.

## CHAPITRE II - DYNAMIQUE DU BORE DANS LES SOLS

Dans ce chapitre, nous essayons d'interpréter l'ensemble des résultats présentés dans la deuxième partie, puis ceux des expériences en colonnes réalisées au laboratoire.

Nous avons fait une étude statistique que sur l'ensemble de nos résultats, et nous avons cherché à savoir s'il existe une corrélation entre les formes du Bore (Bore soluble et Bore total) et les autres éléments de nos sols.

Nous constatons, sur l'ensemble, qu'il existe une relation apparente entre le Bore total et la profondeur des profils, le maximum des teneurs en Bore se rencontre dans les horizons de surface, puis au fur et à mesure que la profondeur augmente la quantité de Bore total diminue.

De même en ce qui concerne la teneur en Bore soluble à l'eau chaude, elle est maximum dans les horizons de surface, puis elle diminue quand la profondeur augmente.

Nous constatons également l'existence d'un certain rapport entre le Bore soluble à l'eau chaude et le Bore total, dans les profils, le rapport du Bore soluble sur le Bore total est en moyenne de 2% dans les horizons de surface, puis il diminue quand la profondeur augmente.

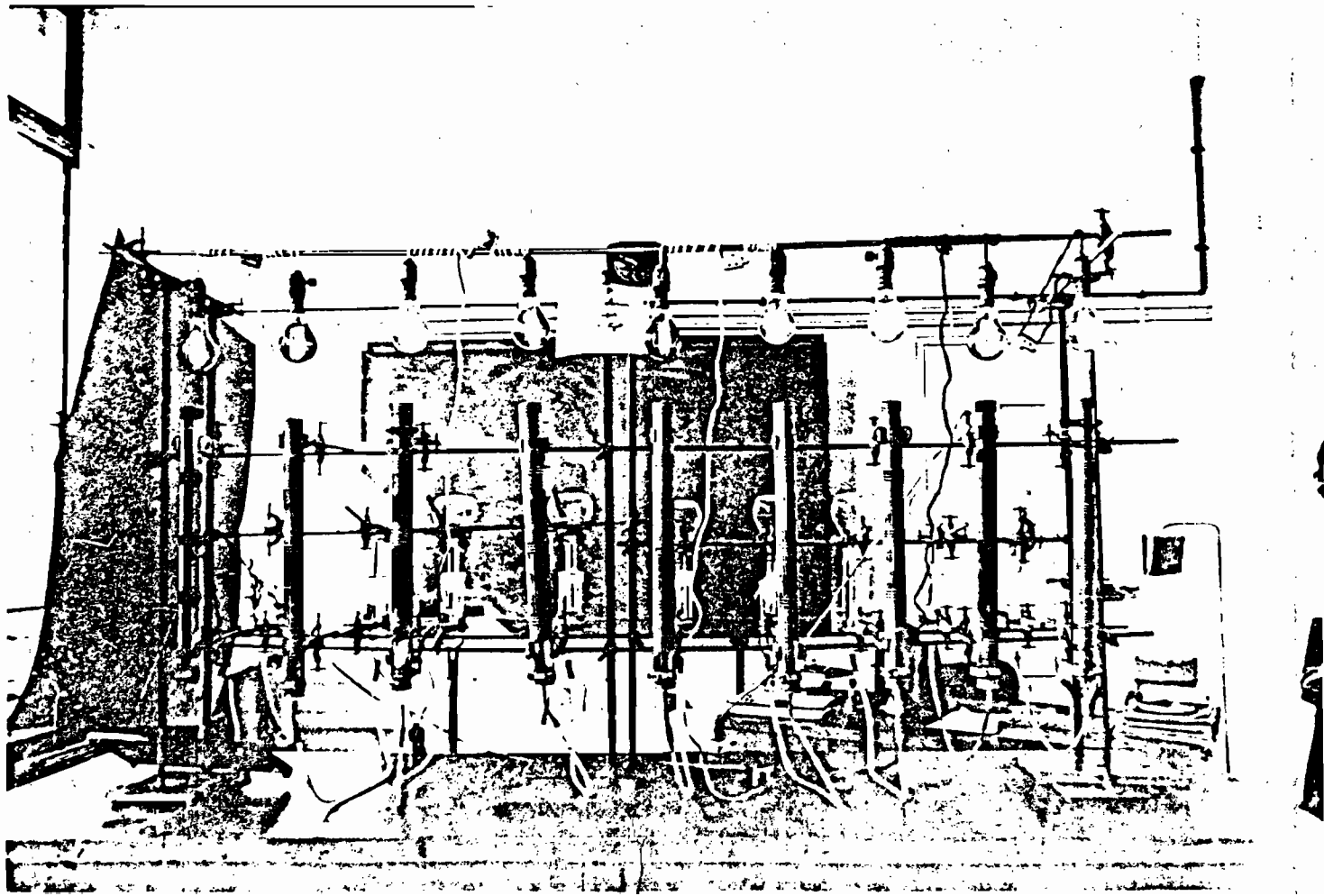
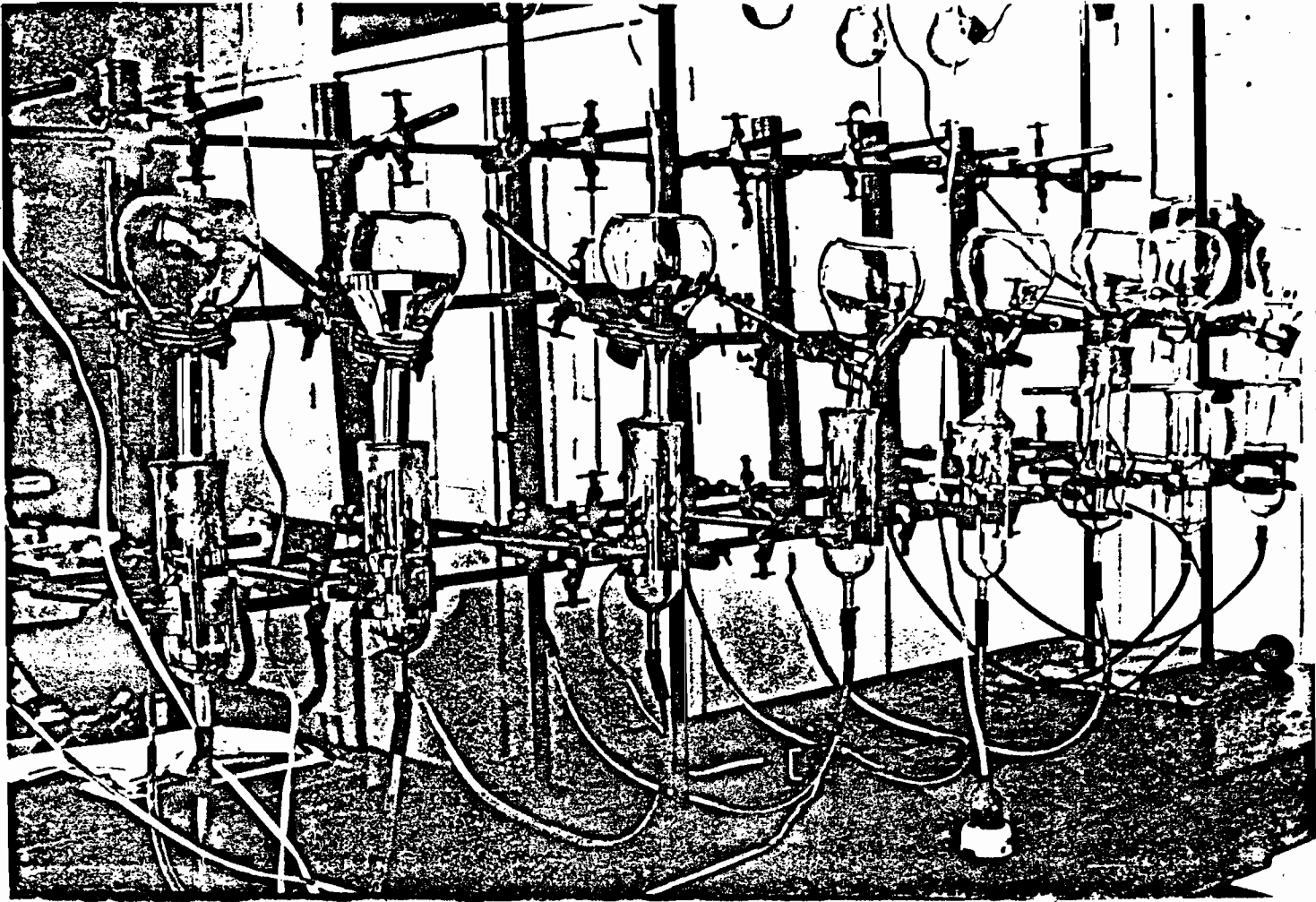
Nous pouvons remarquer d'autres relations entre les formes du Bore et les autres éléments des sols que nous essayons de reprendre cas par cas.

### 2.1 - Bore total et Argile

Après avoir dépouillé nos résultats statistiques, nous avons trouvé une corrélation positive entre le Bore total et l'Argile. Nous trouvons nos résultats traduits sous forme d'un graphique n° et nous avons cherché l'équation correspondante :

.../...

Etude au laboratoire de la remontée du bore par capillarité - Vue des installations



$$B_T = 17,26 + 1,31 \text{ Argile}^*$$

B ppm  
Argile %

### 2.2 - Bore total et Limon fin

Nous trouvons également une corrélation (négative) entre le Bore total et le Limon fin.

L'équation correspondante est la suivante :

$$B_T = 108,59 - 1,27 \text{ LF}$$

Voir graphique  
n°

### 2.3 - Bore total et Sables fins

A l'inverse de la relation Limon fin et Bore, nous trouvons une corrélation positive entre le Bore et les Sables fins. La figure n° montre le nuage des points. Nous avons trouvé l'équation suivante de la droite:

$$B_T = 35,41 + 2,47 \text{ SF}$$

Nous allons voir maintenant, dans le cas du Bore soluble dans l'eau chaude, s'il existe une corrélation entre cette forme et les autres éléments.

### 2.4 - Bore soluble et Bore total

Comme nous avons déjà signalé qu'il y a une corrélation positive entre le Bore soluble à l'eau chaude et le Bore total dans les profils, le graphique n° montre clairement cette corrélation.

Comme la répartition de nos échantillons n'était pas Gaussienne, nous n'avons pas pu calculer la corrélation de Regression mais nous avons calculé la corrélation de rangs (Spearman) pour tous les échantillons.

Nous pouvons trouver, ci-après, l'équation de la droite correspondante.

$$B_S = 0,17 + 0,02 B_T$$

### 2.5 - Bore soluble et conductivité électrique

Nous avons pris l'extrait de pâte saturée sur lequel nous avons déterminé les sels solubles totaux (conductivité électrique) au lieu de considérer les éléments séparés comme TELLIER, AGUTHON, LAMOUR (Ca, Na, K) qui ont signalé leur influence sur la teneur en Bore des sols et plantes. Nous avons trouvé l'existence d'une corrélation positive entre le Bore soluble à l'eau chaude (facilement utilisable par les plantes) et les sels solubles totaux (conductivité électrique). La figure n° indique cette corrélation. Nous trouvons, ici, l'équation de la droite :

$$B_S = 1,01 + 0,28 EC$$

### 2.6 - Bore soluble et Limon fin

Nos résultats statistiques indiquent qu'il y a une corrélation négative entre le Bore soluble et le Limon fin, comme dans le cas du Bore total. L'équation trouvée est la suivante :

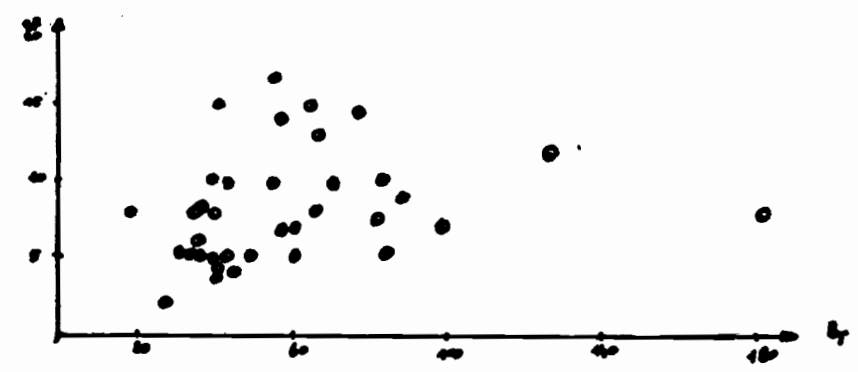
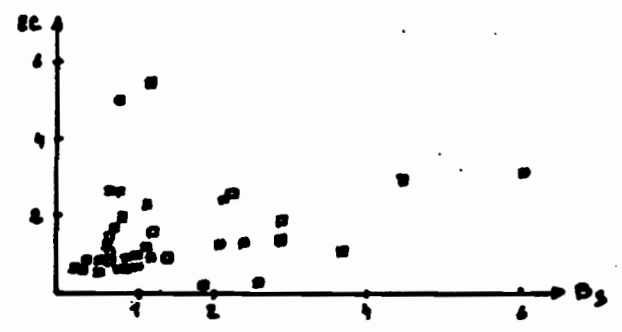
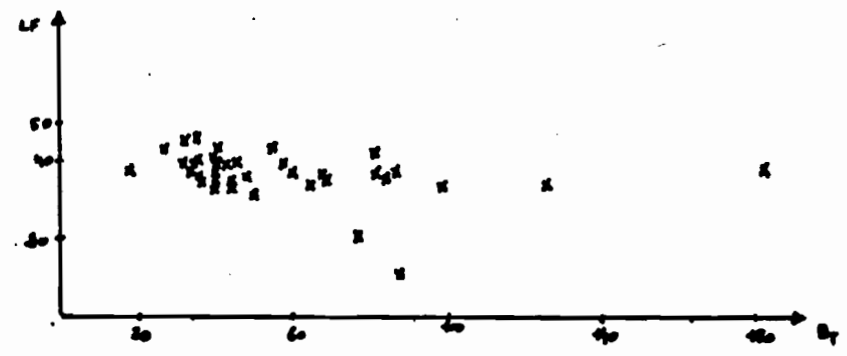
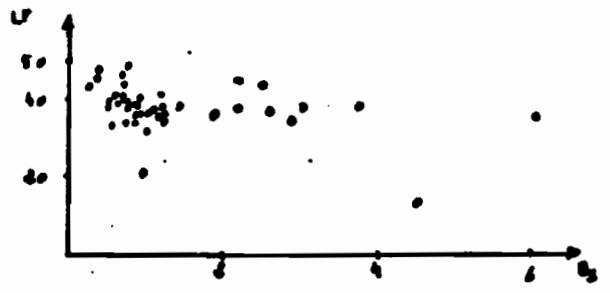
$$B_S = 3,31 - 0,06 CF$$

### 2.7 - Bore soluble et la Matière Organique

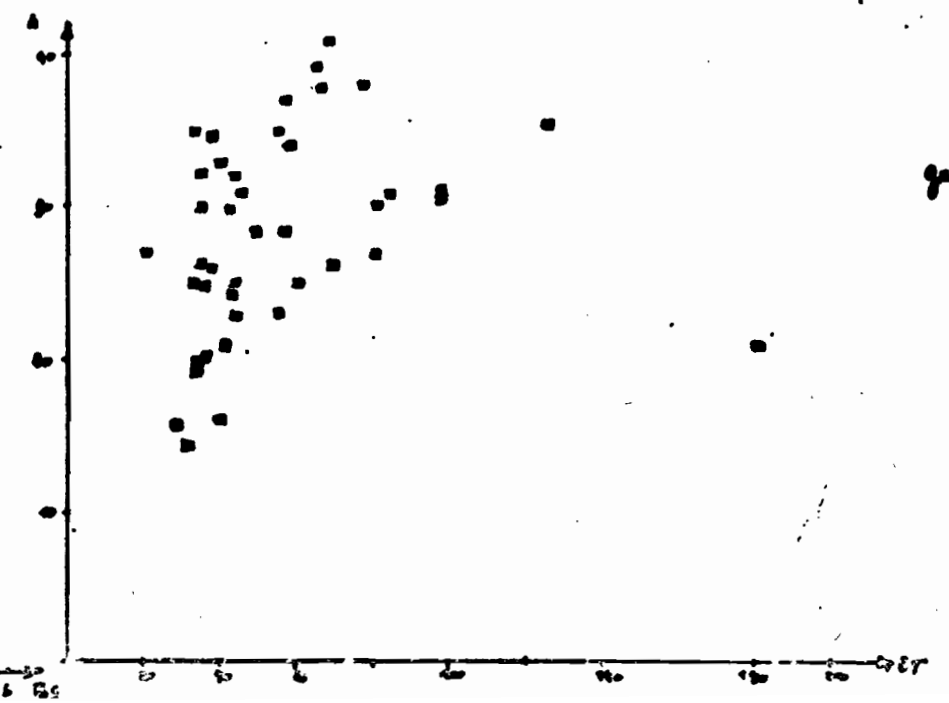
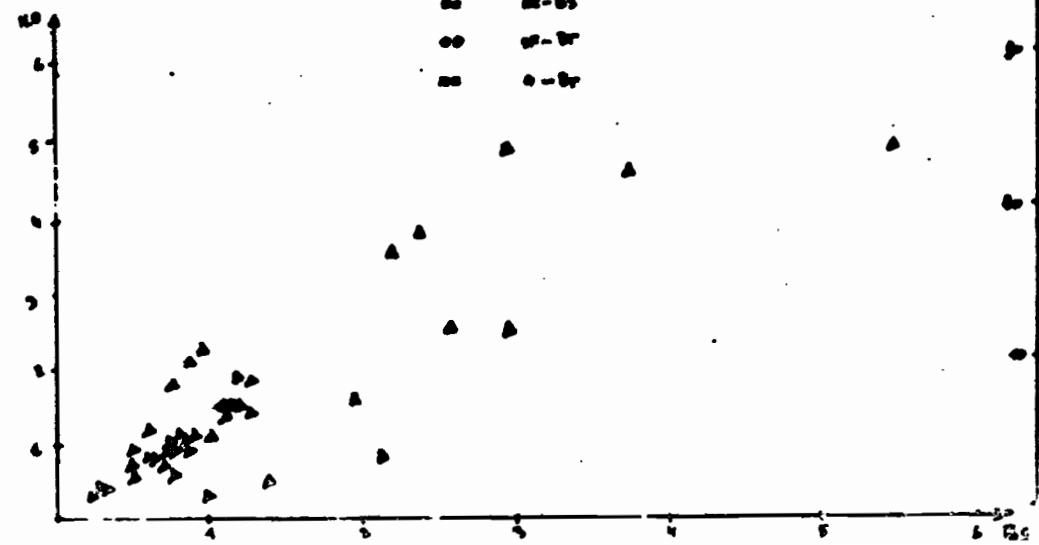
Nous avons trouvé une relation apparente entre le Bore soluble et la Matière Organique dans nos échantillons. D'autres auteurs : BEAR, BERGEN, OLSON, RICARDO et TRUOG ont signalé également une relation entre la Matière Organique et le Bore. Ceci a été confirmé par notre expérience au laboratoire. Les graphiques n° mettent en évidence cette hypothèse.

.../...

"Correlation des rangs"

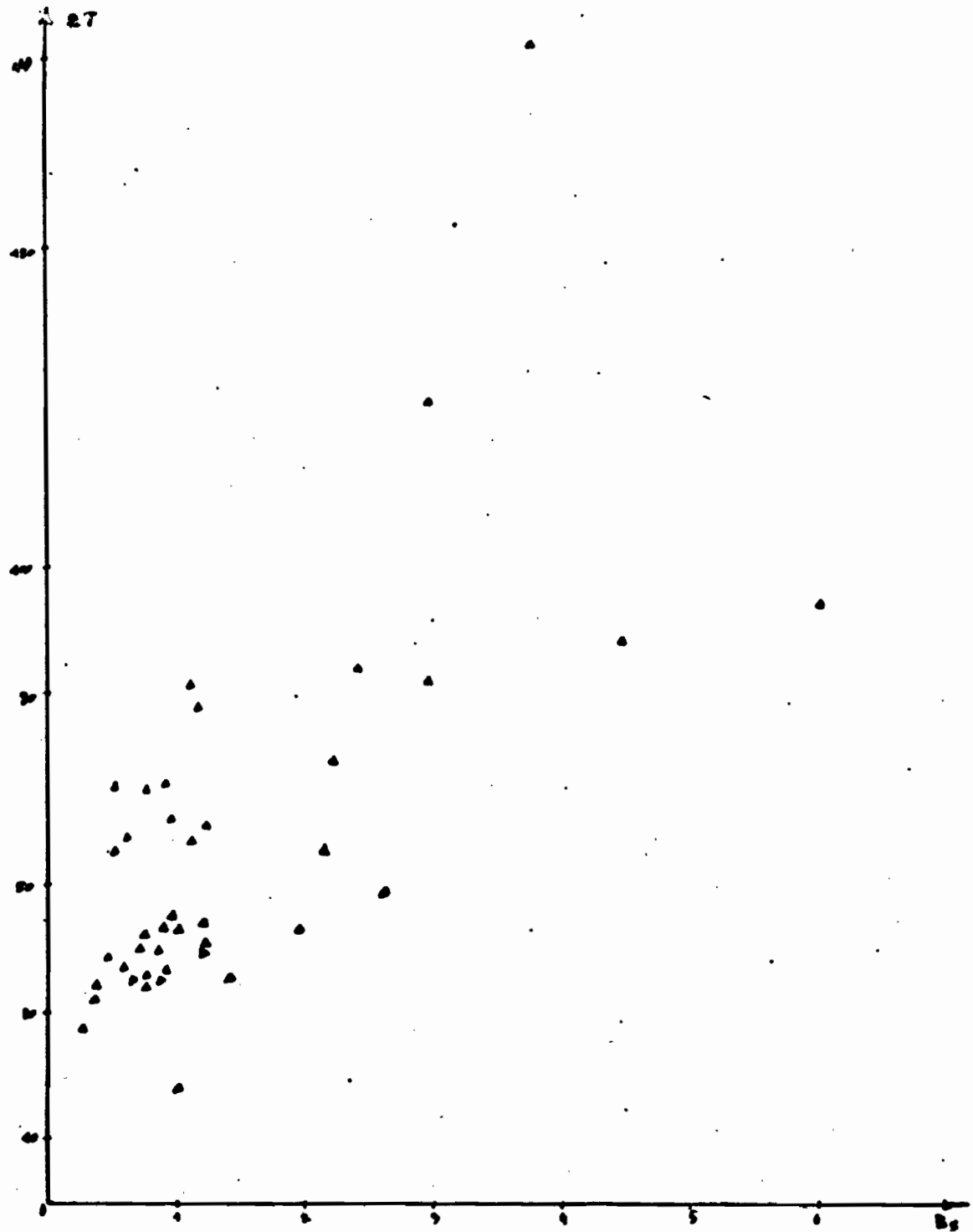


- ▲ ST-D1
- △ M.A-D1
- LF-D1
- × W-D1
- M-D1
- W-D2
- D-D2



graph 26





9-11 (17)

## CHAPITRE III - DYNAMIQUE DU BORE DANS LES EAUX

Etant donné que le nombre d'échantillon d'eau est très limité, nous ne pouvons pas faire une étude statistique. Ces eaux sont analysées et nous avons établi le bilan pondique.

### 3.1 - Bore et les sels solubles

Comme nous avons vu dans le chapitre précédent qu'il existe une relation apparente entre le Bore soluble et la conductivité électrique, dans nos échantillons, plus les sels solubles sont importants plus on rencontre une teneur élevée de Bore, par exemple l'échantillon n° 2 (eau de nappe) possède une conductivité élevée (8 mmhos/cm) et nous avons le maximum de Bore (0,194 ppm).

Par contre, nos échantillons n° 3 et 7 (rivières) qui ont une conductivité minimum (0,53 mmhos/cm), possèdent le minimum de Bore (0,10 ppm).

### 3.2 - Bore et le S.A.R. des eaux

Nous constatons (TABLEAU) également une relation entre la teneur en Bore des échantillons et leur S.A.R. En effet, nous avons S.A.R. = 2,93 - 3,63 - 2,1 - 2,11 et 1,83 pour les échantillons des eaux de nappe et S.A.R. = 0,73 et 0,36 pour les eaux de rivières.

L'échantillon n° 2 (nappe) avec S.A.R. = 3,63 contient 0,194 ppm de Bore, le n° 3 (nappe) avec S.A.R. 2,91 contient une teneur en Bore de 0,083 ppm.

Les échantillons n° 6 et n° 7 (rivières) ont respectivement S.A.R. = 0,73 et 0,36 et possèdent 0,10 ppm de Bore.

### 3.3. - Conclusions

Les eaux des rivières et parfois les eaux de nappes (période sèche) sont utilisées pour l'irrigation de la région étudiée.

.../...

Dans l'ensemble, ces eaux ne posent pas de problème particulier, il faut éviter l'eau de l'échantillon n° 8 (nappe).

Quant aux eaux de rivières, elles sont encore moins dangereuses que les eaux de nappes.

#### CHAPITRE IV - INTERPRETATION DES ANALYSES DES PLANTES

Dans ce chapitre, nous reprenons l'analyse des plantes et cherchons s'il y a une relation entre le Bore et les autres constituants.

Le tableau n° 60 nous montre les résultats d'analyses faites sur chacune des plantes. Nous remarquons, spécialement, la colonne du Potassium et la colonne du Magnésium qui sont cadrées d'une manière plus grasse. Elles indiquent une légère supériorité des teneurs en Magnésium et en Potassium par rapport à ce qu'on trouve normalement (dans la bibliographie).

Les autres éléments ont des teneurs voisines de ce qu'on a obtenu jusqu'à nos jours, et ils se placent dans leurs limites fixées.

La teneur élevée de Magnésium peut être expliquée du fait de la richesse des sols et des eaux en cet élément que nous avons déjà signalé, mais la teneur élevée des plantes en Potassium ne s'explique pas clairement car elle est nulle dans les eaux de rivières et assez peu importante dans les eaux de nappes. Le sol, également, ne contient pas une teneur élevée et les plantes en contiennent beaucoup et cela est surprenant.

Par contre, nous pensions trouver une teneur élevée de Sodium (sols riche en Sodium) et nous constatons une teneur normale de cet élément dans nos échantillons de plantes.

##### 4.1 - Bore et le Potassium

Nous avons constaté une teneur relativement faible en Calcium et nous venons de voir que par contre nos échantillons de plantes sont riches en Potassium. D'après REEVE et SHIVE (cités par THELLIER) une forte teneur de potassium des plantes augmente

.../...

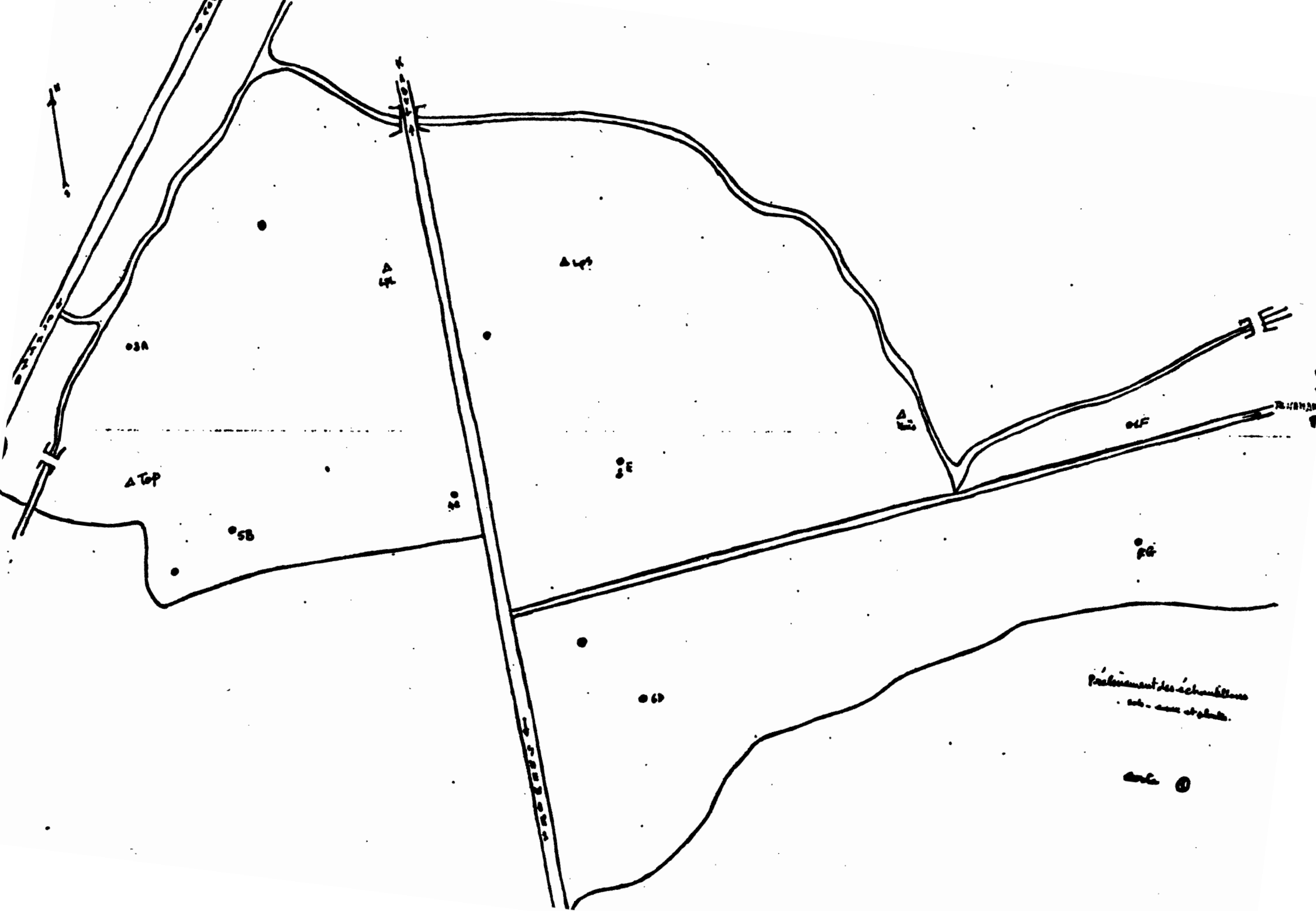
la quantité de Bore des tissus de celle-ci. En effet, cette hypothèse peut-être appliquée dans nos échantillons pour le taux de Bore; cependant, dans nos plantes, il reste entre les limites habituelles fixées (Physiologie des plantes vasculaires).

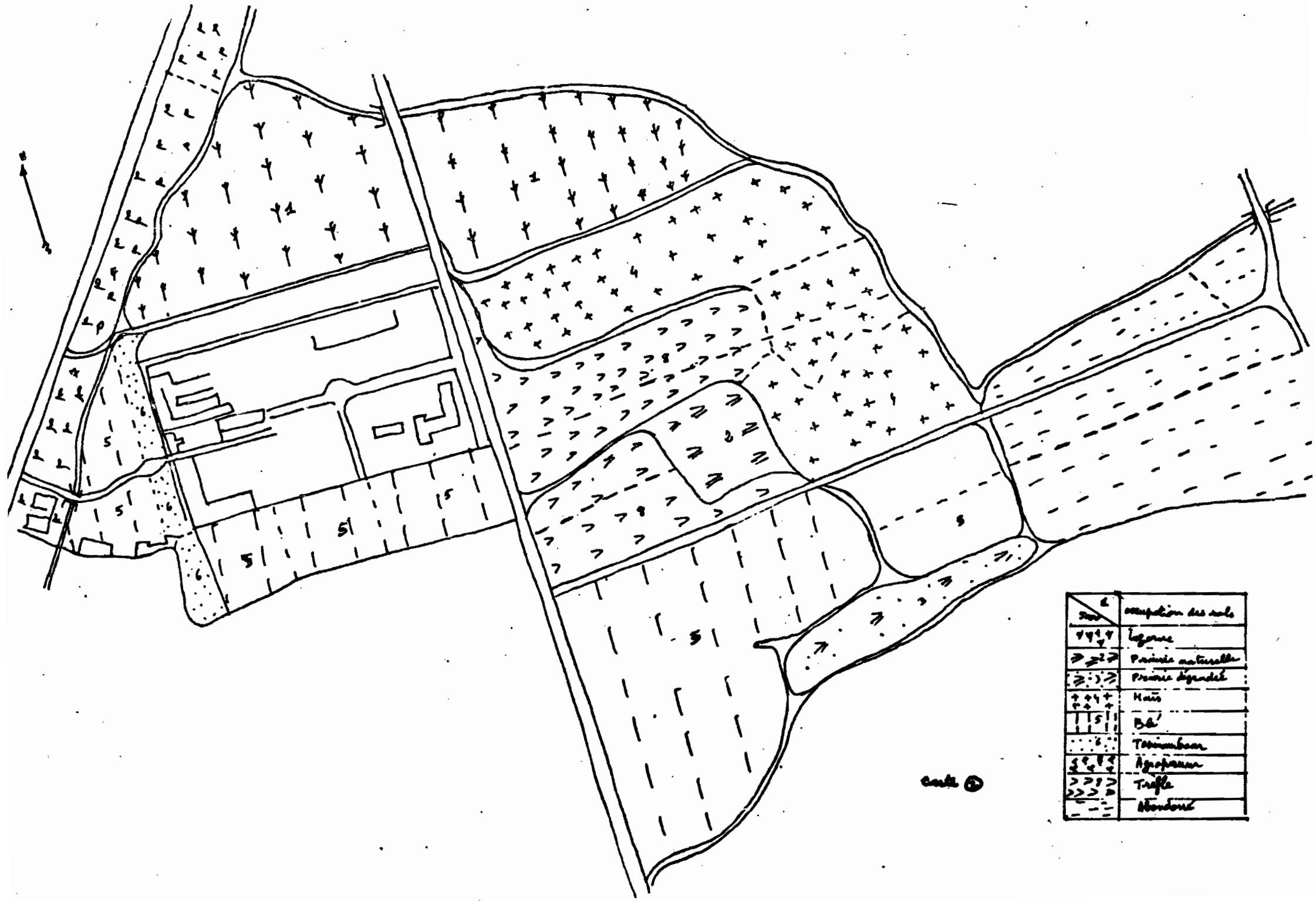
#### 4.2 - Bore et Azote total des plantes

Nous constatons (BARBRO, BJURMAN) une relation apparente entre le Bore et la teneur en Azote des plantes. En effet, les échantillons possédant des teneurs élevées en azote contiennent une teneur en Bore élevée. Inversement, les échantillons ayant peu d'azote possèdent également une faible teneur en Bore.

#### 4.3 - Conclusions

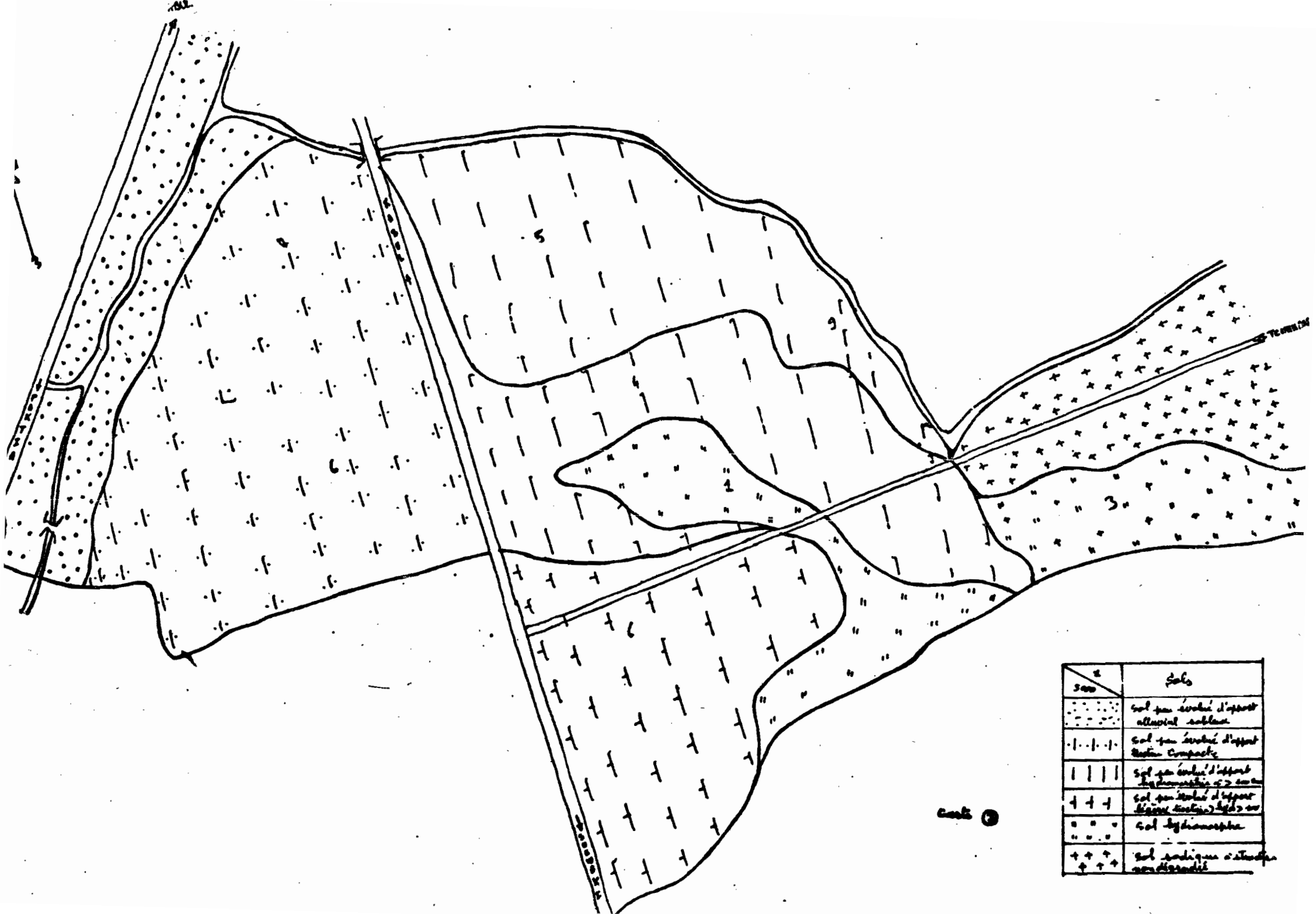
Nos échantillons des plantes étudiées renferment des teneurs en Bore nécessaires au développement normal des plantes (BACHED et MASSCRL), mais sans excès particulier.





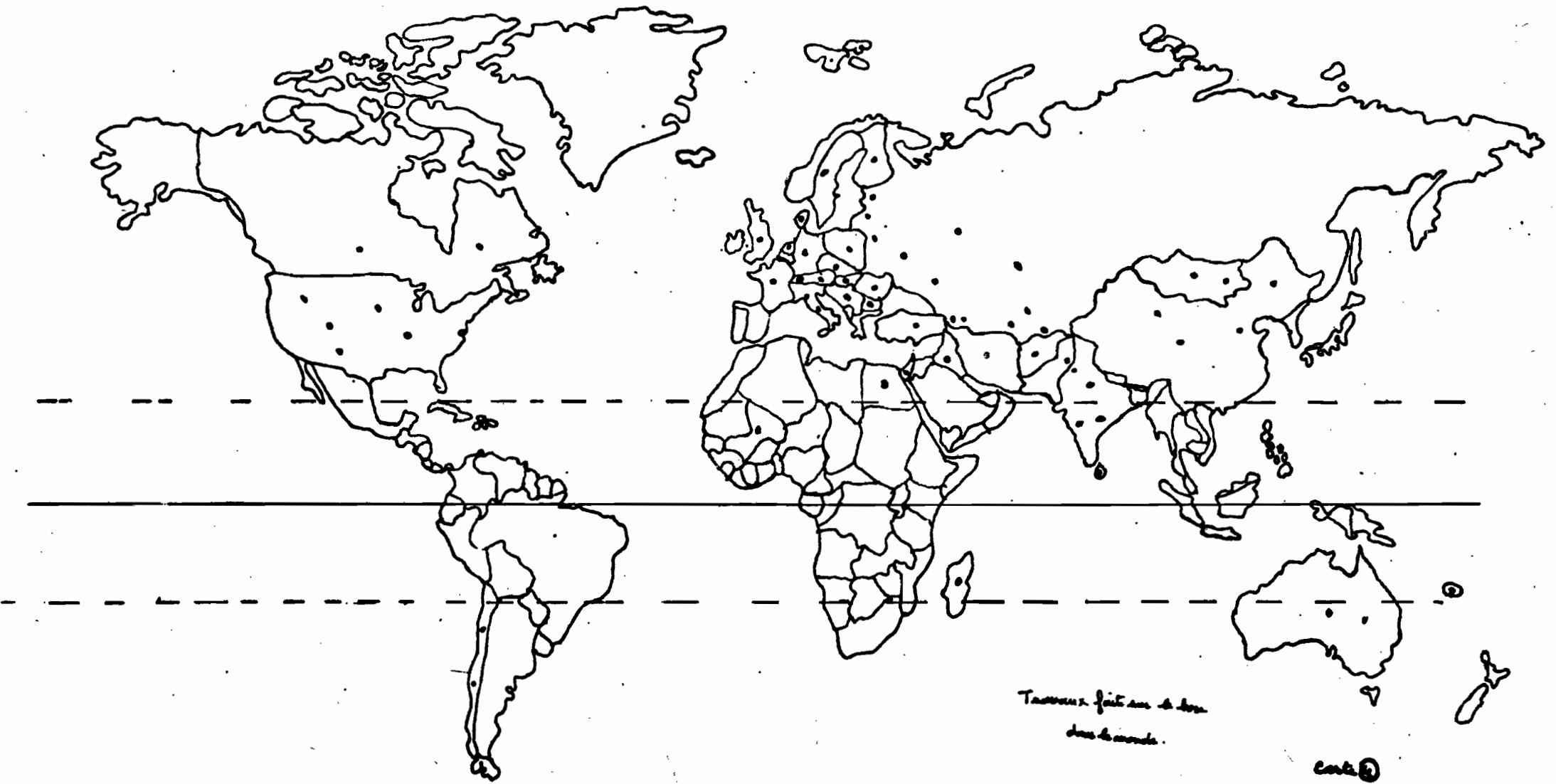
symbole	occupation des sols
Y Y Y Y	Legume
>>>>	Prairie naturelle
>>>>	Prairie dégradée
••••	Mais
	Bâ
••••	Tournebois
••••	Agrofleur
>>>>	Trofle
- - -	Abandon

carte ①



500	Solo
•••••	Sol peu évolués d'apport alluvial sablon
• • • •	Sol peu évolués d'apport alluvial compact
	Sol peu évolués d'apport alluvial argilo-sableux > 20 cm
+ + +	Sol peu évolués d'apport alluvial argilo-sableux > 40 cm
•••••	Sol hydromorphe
+ + +	Sol ancien à structure non différenciée

Scale 0



Tauxus fait sur de deux  
des de monde.

carte ②



## CONCLUSIONS

Notre région étudiée comporte des sols d'apport, et malgré sa faible superficie ce sont des sols de nature différente allant des sols peu évolués aux sols hydromorphes et même aux sols sodiques.

Durant notre étude, nous avons rencontré plusieurs problèmes :

Dans la totalité des sols étudiés nous avons trouvé une quantité considérable de Bore total, d'environ une cinquantaine à presque 200 ppm. Nous avons essayé de voir sa provenance et des ses effets sur l'agriculture.

D'autre part, nous avons tenté de voir s'il y avait un rapport avec les autres éléments constituant le sol.

Nous avons trouvé relativement moins de Bore soluble, environ 2% de Bore total, Le Bore soluble nous intéresse de plus près car c'est le Bore facilement utilisable par les plantes. Un taux élevé de celui-ci peut être très dangereux et peut causer des dégâts importants dans le rendement des plantes.

Nous verrons plus loin que fort heureusement les plantes ne souffrent pas de cette teneur de Bore (2%) et il semble que ces plantes soit adaptées avec le milieu dans lequel elles se trouvent.

D'autre part, nous verrons même que les plantes contiennent des teneurs normales de cet élément (voir analyse des plantes).

L'ensemble de nos sols étudié est calcaire (voir l'analyse de calcaire total et actif). Le calcaire actif est de l'ordre de 5% sur tous les sols étudiés et est en raison du taux élevé de calcaire total. Par contre, on trouve un taux moyen de Bore soluble qui, comme le signalent DECAUX, HILL et THELLIER, est influencé probablement par d'autres facteurs.

.. / ...

La répartition du Bore (total et soluble) dans le profil montre que les horizons de surface sont plus riches en Bore que les horizons de profondeur. Cette accumulation dans les horizons de surface peut être expliquée en raison de la forte évapotranspiration potentielle et peut être même par la présence de la matière organique (OLSON, BERGER) dans les horizons de surface.

Comme dans les profils, les parties supérieures des colonnes de l'expérimentation sont plus riches en Bore que les parties plus profondes.

Nous pouvons constater, dans l'ensemble des profils et des colonnes, que, parmi les cations, le Sodium et le Magnésium suivent de plus près la courbe du Bore que le Calcium. Il en est de même pour les anions, les courbes de chlore et de bicarbonates qui suivent la courbe du Bore.

Nous avons ajouté une petite quantité de chlorure de Sodium afin de voir si réellement ce sel favorise beaucoup la remontée du Bore par capillarité. D'après la figure n° de la colonne n° 6, nous constatons, en effet, que la salinité d'un sol favorise la remontée du Bore vers la surface; celle-ci est accélérée par une lampe à carbone (pour représenter le phénomène d'évaporation intense des mois d'été. Elle est plus rapide au début de l'expérience puis acquiert une certaine stabilité.

De la même façon, nous avons fait une expérience avec le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ). Nous constatons qu'au début de l'expérience la remontée est très lente, par la suite elle s'accélère. C'est donc l'inverse de ce qui se passe avec le chlorure de Sodium.

Les eaux de la même région qui ont été analysées sont magnésiennes et chlorurées (eaux de nappes) et seulement magnésiennes dans le cas des eaux de rivières; elles sont cependant utilisées pour l'irrigation des sols étudiés. Au point de vue de la quantité de Bore, les eaux des rivières ne posent pas de problème (0,10 ppm) alors que pour les eaux de nappes (échantillon n° 2) elles présentent des inconvénients.

Les analyses des plantes montrent des teneurs assez élevées en Magnésium (comme on s'y attendait) et aussi en Potassium mais ceci ne s'explique pas très bien. Les autres éléments .....

sont dans les normes habituelles (trouvés dans la bibliographie), le Bore ne présente aucune anomalie (malgré la richesse du milieu) dans les plantes et ne semble pas gêner leur croissance.

Il est à souhaiter que les recherches se poursuivent dans ces sols afghans pour essayer d'avoir un nombre suffisamment grand d'échantillons, en particulier sur les plantes (annuelles et vivaces). Il serait souhaitable pour compléter ce travail de faire une étude sur les animaux utilisant ces pâturages et même, dans la mesure du possible, de faire des études sur les paysans de la région qui se désaltèrent avec ces eaux d'une manière permanente (analyses de sang, de cheveux, etc...).

Comme nous l'avons signalé dans l'introduction de cette présente étude (première partie), la région étudiée a connu des périodes néfastes (non germination du blé en 1935) et cela avait provoqué beaucoup d'inquiétudes au Directeur de la ferme en voyant ses champs sans aucune récolte. Cet état de chose entraînait une conséquence imprévisible politiquement car ces fermes d'Etat étaient considérées comme fermes pilotes et expérimentales, et c'est à partir de leurs résultats que le Gouvernement devait encourager le monde paysan à développer ses propres cultures. Le plus gênant était de voir les champs voisins, qui appartenaient aux particuliers, présenter une culture normale. Comment pouvait-on expliquer cela ?

On pouvait, évidemment, penser aux éléments toxiques spécialement au Bore, ce qu'a montré cette recherche. Cependant, nous savons que la période des semis se situe au moment où la pluviosité est importante (Mars-Avril pour les cultures de printemps et Novembre Décembre pour les cultures d'hiver) et que cela peut atténuer le danger de toxicité car le Bore est entraîné dans les horizons plus profonds du sol, de même l'évapotranspiration potentielle est la plus faible de l'année à cette époque et ne peut favoriser la remontée du Bore par capillarité.

En ce qui concerne l'hypothèse d'une variation climatique d'une année sur l'autre, on se demande si cela a une grande importance au point de vue de la variation des teneurs en Bore; elle est donc à écarter.

.../...

Une dernière hypothèse est que l'accident s'est produit au moment même de la germination et a pu provenir de l'importation récente de graines sélectionnées du Mexique, non encore testées et mal adaptées aux conditions locales de sol et de climat.

Il est possible que les conditions d'hydromorphie temporaire se produisant dans ces sols au moment de la germination sont suffisantes pour détruire le semais.

Néanmoins, il était intéressant de constater que ce n'était pas un phénomène particulier de toxicité qui était à l'origine de ces accidents culturaux, et les observations faites récemment sur ces sols l'ont confirmé.

Cependant avant de conclure définitivement, on peut envisager une dernière hypothèse, compte-tenu de l'expérience en Tubes, qui a montré que le Bore Soluble pouvait s'accumuler en surface lorsque la concentration en magnésium soluble et en carbonate augmentait également.

Or les sols que nous avons étudiés sont riches en magnésium échangeable et en carbonate de Mg facilement solubles de l'acétate d'ammonium.

Il n'est pas impossible qu'au cours d'une période d'humidité excédentaire (pluie ou irrigation) dans des sols fortement limoneux donc s'engorgeant facilement, il se produise le même phénomène d'accumulation temporaire de bicarbonate et de magnésium soluble s'accompagnant d'une augmentation du Bore soluble.

**PREMIERE PARTIE****GENERALITES ET CONDITIONS NATURELLES****INTRODUCTION****HISTORIQUE**

Bore chez les animaux  
Bore chez les végétaux

Carence  
Toxicité

**CHAPITRE I - GENERALITES SUR LE BASSIN DE KABUL****1.1 - Situation géographique****1.2 - Climatologie****1.2.1 - Précipitations****1.2.2 - Température****1.2.3 - Evapotranspiration potentielle****1.2.4 - Humidité relative de l'air****1.2.5 - Vent****1.2.6 - Insolation****1.3 - Hydrologie****1.3.1 - Rivière de Kabul****1.3.2 - Rivière de Logar****CHAPITRE II - PEDOLOGIE ET CLASSIFICATION DES SOLS****2.1 - Description des profils****2.2 - Résultats analytiques**

../...

## DEUXIEME PARTIE

## ANALYSE DU BORE DANS LES SOLS, LES EAUX et LES PLANTES

## INTRODUCTION

## CHAPITRE I - ETUDE DU BORE DES SOLS DE LA REGION DE KABUL

- 1.1 - Récolte des échantillons
- 1.2 - Préparation des échantillons
- 1.3 - Dosage du Bore total par spectrographie
- 1.4 - Dosage du Bore soluble à l'eau chaude
  - par spectrographie d'arc
  - par colorimétrie
- 1.5 - Dosage des autres oligo-éléments
- 1.6 - Résultats et conclusions

## CHAPITRE II - ETUDE DU BORE DES EAUX DE LA REGION DE KABUL

- 2.1 - Les eaux de nappes
  - 2.1.1 - Récoltes des échantillons
  - 2.1.2 - Méthode d'analyse
  - 2.1.3 - Précautions
  - 2.1.4 - Résultats et conclusions
- 2.2 - Les eaux des rivières
  - 2.2.1 - Rivière de Logar
  - 2.2.2 - Rivière de Kabul
  - 2.2.3 - Analyse de Bore
  - 2.2.4 - Résultats et conclusions

## CHAPITRE III - ETUDE DU BORE DES PLANTES CULTIVEES DE KABUL

- 3.1 - Récoltes des échantillons
- 3.2 - Technique utilisée, méthode d'analyse
- 3.3 - Résultats et conclusions

.../...

## TROISIEME PARTIE

### ETUDE EXPERIMENTALE SUR LE BORE

#### CHAPITRE I - EXPERIENCE SUR LES COLONNES

- 1.1 - Origine du sol
- 1.2 - Préparation des colonnes
- 1.3 - Solutions utilisées
- 1.4 - Résultats de l'expérience

#### CHAPITRE II - DYNAMIQUE DU BORE DANS LES SOLS

- 2.1 - Bore total et argile
- 2.2 - Bore total et limon fin
- 2.3 - Bore total et sables fins
- 2.4 - Bore soluble et bore total
- 2.5 - Bore soluble et conductivité électrique
- 2.6 - Bore soluble et limon fin
- 2.7 - Bore soluble et matière organique

#### CHAPITRE III - DYNAMIQUE DU BORE DANS LES EAUX

- 3.1 - Le Bore et les sels solubles
- 3.2 - Le Bore et le S.A.R. des eaux
- 3.3 - Conclusions

#### CHAPITRE IV - LE BORE ET LES AUTRES ELEMENTS DES PLANTES

- 4.1 - Le Bore et le Potassium
- 4.2 - Le Bore et l'Azote total des plantes
- 4.3 - Conclusions

#### CONCLUSIONS GENERALES

#### BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

ABDALLAH Z (1959)

Fondement d'études des sols - 1ère Ed. - p.259-260 (en Arabe)

AGULHON F (1910)

Recherche sur la présence et le rôle du Bore chez les végétaux -  
Thèse.

ALTABA F

L'Encyclopédie de la minéralogie. Marabant Université - p.80

ANGLADETTE A (1967)

Le riz, presses universitaires de France "Que sais-je" - p.23

ALEXEEV V (1970)

Analyse quantitative - Ed.Moscou - p. 466-467

AUBERT G.

Cours de Pédologie et Classification des sols (manuscrit)

AUBERT G. et BOULAINÉ J. (1972)

Pédologie, presses universitaires de France "Que sais-je".

BACH D et MASSCRE M (1966)

Physiologie et biologie des plantes vasculaires. T.3 (1) p.9-67-72

BACH D et MASSCRE M (1967)

Cours de botanique générale, croissance, reproduction, écologie,  
phytopathologie. T.3 (2) - p. 295.

BAL L and BUURSINK J (1976)

An inceptisol formed in calcareous loess on the DAST.I.ESAN top  
plain in the North Afghanistan. Neth J.Agric.Sci 29 + p.13-42.

.../...



BARBIER G et CHABANNES J. (1953)

Contribution à l'étude du Bore dans les plantes et dans les sols. Annales Agro I - p.26-43.

BARBRO B (1974)

Fertilizer experiments with Nand B in strawberries, Swidish, J.Agric - Res.4 - p. 129-141

BERGER K and TRUOG E (1937)

Traité pratique de chimie végétale - p.423-430

BERGER K an TRUOG E (1945)

Boro<sup>a</sup> availability in relation to soil reaction and organic-matter content. Soils Sci.Soc Am.Proc.10 - p.113-116.

BERGER K an TRUOG E (1948)

Boro<sup>a</sup> mouvement in soils - Soils Sci.Soc.Proc - p. 131-134

BERTRAND G et SILBERSTEIN L (1942)

Répartition du Bore dans les diverses parties de graino. Acad.Sci. - p.41-45.

BERTRAND G et SILBERSTEIN L (1940)

La teneur en Bore des graines - Acad.Sc. - p.321-323.

BERTRAND G et SILBERSTEIN L (1940)

Répartition du Bore dans les organes du tabac des paysans. Acad.Sci - p. 324-325.

BERTRAND G et HERMANS L (1936)

Teneur comparative en Bore de plantes cultivées sur le même sol. Acad.Sci.- p. 305-309.

BERTRAND G et AGULHON F (1913)

Présence du Bore dans le lait et dans les oeufs. Acad.Sci - p.2027-2029.

../...

BERTRAND D et GOUDOT A (1933)

Oligo-éléments - Presses Universitaires de France "Que sais-je"  
p.28-29.

BIGGAR J and FIRMAN M (1960)

Boron adsorption and release by soils -  
Soils Sci-Soc.Am.Proc.24 - p. 115-129.

BOULAINÉ J (1972)

Hydropédologie - Ecole nationale de génie rural des eaux et  
des forêts - Réneotypé - p.122.

BOULAINÉ J. (1970)

Les sols de France. Presses Universitaires de France "Que sais-je"

BOULAINÉ (1971)

L'agrorologie - Presses Universitaires de France "Que sais-je"

BOULAINÉ J (1972)

Cours de Pédologie Générale Multig - 277 pages.

BOULAINÉ J. (1966)

Sur la précision des cartes pédologiques - ORSTOM 4(1) - p.3-9.

BOULAINÉ (1963)

Les sols d'Uruguay - ORSTOM C (1) - p. 35-51

BOULAINÉ J (1970)

Cours d'hydropédologie T.2 - p.91.

BOULAY H (1933)

Arboriculture et production fruitière "Que sais-je" - p.79-81

BROWN N.J.M (1966) -

Traces elements biochemistry - Acad.Prus London - p.175-176.

CAPELLE R (1963)

Dosage du Bore - Chimie analytique 45 (6) - p.303-315.

.../...

CARLES J (1967)

Nutrition des plantes "Que sais-je" 1967 - p.22-24-32

CHARLOT G et BEZIER D (1963)

Analyse quantitative minérale. Ed.Masson - p.433-438.

COMBES R (1959)

Physiologie végétale "Que sais-je" - p.16

DABIN R (1970)

Technique rurale en Afrique "Pédologie et Développement"  
B.D.P.A. CRSTOM - p.135-237

DAMOUR M et OLIVER R (1974)

Étude de la relation pH, carence en Bore, sur 3 sols hydromorphes  
des hautes terres Malgache. Agro Trop. 29 (1) - p.28-41.

DANA J.D and DANA E.S. (1966)

The system of mineralogy - p.320-390.

DECAUX J (1965)

Contribution à l'étude des conditions pédologiques et climatiques  
d'alimentation boratée de la luzerne dans les sols argilo-calcaires  
du Sud-Ouest de la France - Sci. du Sol 2 - p.121-134.

DEMOLON A (1966)

Principe l'agronomie "Dynamique du sol" - p.411.

DEXTREIT R (1960)

Cure végétale. Les principaux sels minéraux et substances diverses  
(oligo-éléments) p.16-22.

DUCHAUFOR Ph (1970)

Précis de Pédologie, Ed.Masson - p.120.

EZAT E (1971)

Cartographie au 1/5000 et la mise en valeur des sols, mémoire  
de fin d'étude - 130 pages + cartes.

.../...

EZAT E (1973)

Détection des différentes unités pédologiques, station agronomique de LACON - Mémoire de D.E.A.I.N.A. Fac.VI - 151 pages.

FIRMAN E and BEAR (1964)

Chemistry of the soils - p.360.

GASCHO G.J and TAHA F.A (1960)

Nutritional deficiency symptoms of sugarcane agricultural experiment stations institut of food and agricultural science University of Florida Gainesville - J.W. sites deaufor Res. - p.5-8.

GOLDSCHMIDT M.W (1962)

Geochemistry - Ed. Alex-Muir - p.280-291.

GONDE, JUSSIAUX, CARRE (1968)

Cours d'agriculture moderne - La Maison Rustique - p.33.

GROS A (1962)

Engrais - La maison rustique - p.207-

GUPTA (1967)

Canada département of agriculture - Soils Sci. 103 (6) - p.424-428.

GUYOT CH (1971)

La Minéralogie "Que sais-je" - p.59-37-39.

GUYOT CH

L'Hydrologie "Que sais-je" n° 884.

HATCHER J and BLAIR G (1962)

Adjusting soil solution to specified boron concentration. Soils Sci 94 - p.55-57.

.../...

HERMAN N.M and LALANDE (1971)

Recueil de données des stations météorologiques de l'Afghanistan.  
N° 2.

HILL W.E and MORILL L (1975)

Boron, calcaire and potassin interaction in spanish peanuts -  
Soils Sci. Soc.Am.Proc.

HINGSTOM F (1964)

Reaction between boron and clays. Aust J.Soils Sci.Res.2.  
p.83-95.

JEFFERY P.G (1970)

Chemical methods of rock analysis - p.148-154.

JOUIS E et LECACHAUX T (1960)

Influence du pH sur la carence en Bore des betteraves et du  
lin dans les sols de limon du pays de Caux.  
C.R. Acad.Agric.46 - p.248-252.

KATALYMOV M.U (1962)

Action du chaulage sur l'utilisation par les plantes du Bore du  
sol. Soils Sci. Octobre.

KOVDA V.A. (1958)

Soils of the Amur river area sov-soils - Sci. n° 12 -  
p. 1369-77-13

LAGIERE R (1966)

Le cotonnier - Maison neuve et Larose - p.113.

LAUMONNIER R (1963)

Cultures maraichères T2 - p.17-147-177-189-233.

LEVADOUX L

La vigne et sa culture "Que sais-je" n° 969 - p.106.

LOURTE Y (1976)

Aide mémoire chimie analytique - Ed.Mouscou.

../...

MARTING (1951)

Etude de la spécificité de la méthode de microdosage colorimétrique du Bore par le chromatrape Z B, en présence d'anhydrique acétique. Bul.Soc.Chim.Biol. 36 - p.1-5.

MASON B (1966)

Principles of geochemistry - p.22-45-30...241.

MAURICE J et TROCHE S (1965)

Observation sur le Bore dans le sol dans les plantes. Annal.Agro 13 (5) - p.579-593.

MAURICE J et TROCHE S (1965)

Notes analytiques. Dosage du Bore total des végétaux et du Bore soluble à l'eau du sol au 1-1'dianthrimide. Annal.Agro.16 (3) - p.287-299.

MAURICE J (1966)

Géochimie du Bore. Annal.Agro.17 (4) - p.367-402.

MAURICE J et PIQUARD J (1962)

A propos du dosage du Bore dans les tissus végétaux. Rev.oléag.Mars.

MENNESSIER G (1968)

Etude tectonique des montagnes de la région de KABUL

MANNESON H (1968)

La culture de luzerne oligo-éléments - p.5

MICHEL B et MARTIN G (1956)

Notes sur le microdosage colorimétrique du Bore. Bul.Soc.chim.Biol. 39 (2-5) - p.337-341.

MITCHELL R.L. (1974)

Traces éléments problèmes on Scottrish soils. Neth J.Agric Sci.Soils fertility and plant nutrition 22 (4) - p. 295-304.

.../...

MONIER G.W. and WILLIAMS (1950)

Traces éléments in food - p.330-395.

NEWCOMB R.C. (1972)

Geological survey water 1999 - p.22.

NOURESTANI M (1971)

Géographie générale d'Afghanistan.  
Publication université Kabul.

OLSON R and BERGER K (1943)

Boron fixation as influenced by pH, organic matter content and other factors. Soils Sci. Soc./Ann.Proc. 11 - p.213-220.

PALIWAL K and MENTA KK (1973)

Interaction effect of salinity, S.A.R and boron on the germination and growth of seedlings of some paddy ariza - sativa variétés plant and soils 39 - p.603-609.

PIAS J.

Rapport scientifique sur la campagne 1968 en Afghanistan.  
ORSTOM.

PIAS J

Rapport scientifique sur les campagnes 69 en Afghanistan.  
ORSTOM.

PIAS J.

Formation superficielles et sols d'Afghanistan C.H.R.S. 1976 -  
p.50-72.

PINTA M et AUBERT H (1971)

Les éléments traces - ORSTOM

PINTA M

Recherche et dosage des éléments traces - Ed. Masson - p.225-231.

../...

PINTA M (1971)

Spectrométrie d'absorption atomique - Tr. p.439.

PLANGUAERT Ph (1968)

La culture des graminées des prairies temporaires (F.T.C.F. - p.62.

PONTAILLER S (1971)

Engrais et fumure "Que sais-je" - p.18.

PONTAILLER S (1937)

Les plantes sarclées - Ed.Faulac - p.46.

PONTAILLER S. (1966)

Les céréales. Ed. Faulac - p.96

PONTAILLER S (1963)

La vigne. Ed.Faulac - p.82.

RAJARATHNAM and LAWING HOK (1975)

Effect of boron nutrition on intensity of red spider mite attack on oil palm seedlings experiment at agriculture 11(1) Sanavary.

RAJARATHNAM J and LOWRY J (1971)

Boron possible role in plant metabolism - 172 - p.485-497.

RANKANA, Kand SARANA Th (1968)

Géochimie - p.485-497.

RICARDO M (1974)

Efectos de la época de musuero sobre los contenidos de secano del centro sur de Chili. Turrialba 24(4) - p.34-36.

RICHARDS (1964)

Saline and Alkaline soils. Agriculture hand book U.S.D.A. n° 60.

SCHUMAN G.E (1969)

Boron tolerance of wheat, grass - Agro J. 31(3) - p.445-447.

.../....



SMITH F.W. (1948)

Some relationships of boron to growth of legumes on South-eastern Kansas soils. Soils Sci.Sci.Soc. Ann.Proc - p.353-361.

SUBRAMANIAN and MASSYROV

Survey of land and water resources. Afghanistan- Vol.4 - F.A.O.Rome.

SZABOLCS I (1971)

European Solonetz soils and their reclamation - p.157-59.

THELLIER M (1963)

Contribution à l'étude de la nutrition en bore des végétaux.

TISSERAUD J.L. (1969)

Oligo-éléments (alimentation d'un mammifère) dose toxique - E.N.S.S.A.A. Dijon - p.87-110.

VAGA A (1975)

Beauté par les plantes, les minéraux dans le corps humain - p.143-151.

UNDERWOOD E.J. (1956)

Trace elements in human and animal nutrition - p.377-378.

ZARIF S (1969)

Characteristics, genesis and classification of some soils of Afghanistan Thesis MADISON.

ZARIF S and HOLE F (1969)

Soils geography and factors of soils formation in Afghanistan. Soils Sci. 107 (4) - p.289-295.

DIVERSETIENNES G (1972)

L'Afghanistan ou les aléas de la coopération, Presses universitaires. 294 pages.

../...

ALBERTINI J.M. (1967)

Les mécanismes du sous développement.  
Ed. Ouvrière - p.9-13.

DE LA GUERIVIERE J.

"La République voilée" - Le monde 3 Février 1976 - p.6-7.

ANCIENT LAND WITH MODERN WAYS AFGHANISTAN - U.N. 1956.NICOLLET S. (1972)

Elevage dans la province de Kabul.

RAIL (revue) (1976)

Afghanistan demain - n° 1542 - p.6-14.

SOILS LABORATORY, minister of agriculture and irrigation  
(analyses) 1974.

YACOUB M (1972)

Etude hydrologique du bassin de Parwan-Afghanistan.  
Thèse de 3ème cycle.

WOILLET J.C. (1981)

Agence pour la coopération technique industrielle et  
économique - p.75-76.

---

Composé	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	26	35	50	67	87	-	148	-	236	-	403
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 10 H <sub>2</sub> O	13	16	27	39	67	-	203	-	-	-	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	15	22	-	40	-	62	-	95	-	157
Mn(H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	-	1.9	-	-	-	6.9	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 5 H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-	244	-	-	525

Tableau 71 - Solubilité de quelques composés de base en g/l à différentes températures.

Poids Vif	Kg	Matière sèche consommée* par jour	Kg	Pourcent. du Poids Vif	Bore en ppm
1	450	12.0	6 L 3 M 2 P	2.65	48.39
2	500	12.5	6 L 3 M 2 P 1.5 C	2.50	56.69
3	550	13.0	6.5 L 3 M 1.5 P 2 C	2.35	58.56
4	600	13.5	6.5 L 3 M 2.5 P 2 C	2.25	63.57
5	650	14.0	7 L 2.5 M 2.5 P 2 C	2.15	65.08
6	700	14.5	7 L 3 M 2.5 P 2 C	2.05	66.09

: Il faut au moins 2 litres d'eau par Kg de matière sèche ingérée.

Tableau 72 - Consommation journalière d'une vache laitière en bore.

\* Luzerne - Maïs - Paille - Cynodon - Dactylon.

\* \* L = luzerne

M = maïs

P = paille

cyc = cynodon-dactylon

→ chiffre (6 par exemple) indique le nombre de Kg.

Composé	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
Na Cl	357	358	360	363	366	370	373	378	384	390	398
Mg Cl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	528	535	545	-	575	-	610	-	660	-	730
Ca Cl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	595	650	739	1020	-	-	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10 H <sub>2</sub> O	50	90	193	408	-	-	-	-	-	-	-
Mg SO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	-	309	348	408	-	-	-	-	-	-	-
Ca SO <sub>4</sub> 2 H <sub>2</sub> O	1.7	1.9	2	2	2	-	2	1.9	1.9	-	1.6
Na(CO <sub>3</sub> H)	69	81.5	96	111	127	144	164	-	se décompose		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 10 H <sub>2</sub> O	70	125	215	388	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 73 - Solubilité de quelques composés en g/l à différentes températures.\*

\* Chimie analytique ed. Moscou.

Composé	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10 H <sub>2</sub> O	50	90	194	408	-	-	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	195	300	440	-	-	-	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	504	488	467	453	441	437	429	425
Mg SO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	-	309	355	408	450	-	-	-	-	-	-
Mg SO <sub>4</sub> 6 H <sub>2</sub> O	408	423	445	454	-	504	550	559	642	689	739
Mg SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-	-	629	-	683
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 10 H <sub>2</sub> O	70	125	215	388	-	-	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O	-	-	-	505	485	-	464	462	458	457	455
Ca Cl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	595	650	745	1020	-	-	-	-	-	-	-
Ca Cl <sub>2</sub> 2 H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	1368	1417	1470	1527	1590

**Tableau 74 - Solubilité de quelques composés à différentes températures en g/l (suite).**