

- F. GRAS * - Programme de travail -

Contribution à l'étude du comportement des sols calcaires du Sud Liban sous l'effet de l'irrigation.

Les sols très calcaires représentent une part importante des sols des régions du Liban concernées par les actuels projets d'irrigation. La mise en valeur de ces sols pose un certain nombre de problèmes: choix de cultures résistant à la chlorose, recherche des techniques d'irrigation et de travail du sol appropriées, établissement de systèmes de culture tenant compte en particulier de l'action dégradante d'une irrigation intensive sur le sol. Seule une équipe interdisciplinaire peut être en mesure de les résoudre. Avant même qu'une telle équipe ait été mise en place (une équipe FAO est sur le point de s'atteler à la tâche), on peut s'interroger sur la contribution spécifique du pédologue à ce genre d'études. Les modestes résultats obtenus après 18 mois de travail en station et en laboratoire permettent d'apporter quelques éléments de réponse.

1.- Les sols calcaires du Liban.

La plus grande partie des sols calcaires du Liban se trouve sur le versant Sud-Ouest du Mont Liban entre les villes de Saïda et de Tyr. C'est dans cette région que j'ai entrepris mon étude. Ces sols appartiennent aux groupes des rendzimes et des sols bruns calcaires (modaux et vertiques) et ont été répartis en un certain nombre de séries au cours de l'enquête pédologique effectuée il y a quelques années, par une équipe de la FAO.

La majorité de ces sols issus de calcaires marneux, ou de calcaires tendres friables, contiennent des quantités très élevées de calcaire (50 à 65 % de calcaire total, 20 à 30 % de calcaire actif). Ils sont généralement peu profonds, caillouteux, et du fait du relief accidenté de la région, bien drainés. En outre, on n'observe jamais de niveau d'accumulation calcaire, contrairement à ce que l'on observe dans le nord de la plaine intérieure de la Bekaa (Sierozems encroûtés).

Les caractéristiques essentielles du matériau sol qui sert de support à notre expérimentation sont les suivantes : teneurs en calcaire total 55 %, en calcaire actif 25 %, en argile 45 %, en limons 35 %.

* Mission ORSTOM auprès de l'Institut de Recherches Agronomiques du Liban.

2. - Relations physico-chimiques entre le carbonate de calcium, le pH et la pression partielle de gaz carbonique.

On sait depuis longtemps qu'en présence d'un excès de carbonate de calcium, la pression partielle du CO₂ de la phase gazeuse est le principal facteur qui détermine la solubilité du carbonate de calcium et le pH ; des trois équilibres existant entre CO₂, H₂O, CO₃H⁻, CO₃²⁻ et Ca⁺⁺, on peut déduire les 2 relations linéaires suivantes :

$$\begin{aligned} \text{pH} &= - 2/3 \log p\text{CO}_2 + b \\ \log \text{Ca}^{++} &= 1/3 \log p\text{CO}_2 + b' \end{aligned}$$

B, b' étant toutes deux des constantes dépendant de la température et de la force ionique de la solution.

L'effet du CO₂ sur le pH des sols calcaires est identique à celui exercé sur le pH du carbonate de calcium pur. WHITNEY et GARDNER ont montré que le pH de solutions obtenues à partir de 18 sols plus ou moins calcaires des U.S.A. était lié à la pression partielle de CO₂ par l'équation suivante :

$$\text{pH} = - 0,65 \log p\text{CO}_2 + 6,00 \text{ (25}^\circ\text{)}$$

De son côté, YAALON a établi l'équation suivante à la température de 25° :

$$\log \text{Ca}^{++} = 0,35 \log p\text{CO}_2 + 2,57$$

Dans un premier temps j'ai voulu savoir si ces diverses relations entre pH, concentration en calcium des solutions du sol et pressions partielles de CO₂ se vérifiaient dans les sols calcaires en place et dans quelles mesures elles pouvaient être modifiées par des traitements tels que apport d'engrais, irrigation, travaux culturaux.

3.- Matériels et méthodes utilisées.

3.1.- Prélèvement et dosage du CO₂ de l'atmosphère du sol.

J'ai adopté la méthode mise au point par G. BACHELIER (cah. ORSTOM ser. pédol. vol. VI n°1, 1968) et qui fait appel au détecteur de gaz Dragger.

Un certain nombre de sondes en cuivre ont été mises en place d'une part dans des lysimètres, d'autre part dans des parcelles d'expérimentation. Les prélèvements et dosages de CO₂ sont effectués tous les mois, entre 10 H et 12 H en même temps qu'est déterminée la température à l'intérieur des sondes.

3.2.- Extraction et analyses des solutions du sol.

3.2.1.- eaux de drainage : celles-ci proviennent soit des lysimètres mis en place à la station d'essais sur sols calcaires (voir par. 4) soit des colonnes de percolation utilisées pour des expériences en laboratoire. J'envisage également de recueillir des extraits de pâtes saturées après 24 H d'humectation.

3.2.2.- eau utile : quelques essais ont été effectués consistant à récupérer l'eau utile d'échantillons de terres calcaires prélevées 48 H après une pluie (capacité au champ) et transportés au laboratoire dans des sacs étanches ; les échantillons ont été soumis à une pression d'air comprimé de 16 atm. dans une presse à membrane.

3.2.3.- analyses physico-chimiques : pH

Le pH des solutions saturées en calcium est fonction de la pression partielle du CO_2 dans l'atmosphère. Les conditions de détermination du pH dans un laboratoire sont différentes des conditions réelles d'un sol en place cultivé dans lequel la teneur en CO_2 peut varier entre 0,05 % en volume, et plus de 3 %. C'est pourquoi j'ai été amené à fabriquer une enceinte en plastique pouvant être rendue étanche et dans laquelle il est possible d'introduire l'électrode d'un pH mètre.

La dilution de l'échantillon de terre est effectuée après qu'une certaine quantité de CO_2 ait été introduite dans cette enceinte fermée. La mesure du pH a lieu après deux heures d'attente, temps nécessaire pour que l'équilibre soit établi entre l'eau, le CO_2 et le calcaire contenu dans le sol.

Dosage des principaux cations et anions : le calcium et le magnésium sont dosés par complexométrie, le potassium et le sodium par photométrie de flamme.

Pour les carbonates et bicarbonates on a fait appel à la méthode traditionnelle qui consiste à neutraliser les deux sels par une solution N/20 d'acide chlorhydrique en présence de réactifs colorés (phtaléine et vert de bromocrésol).

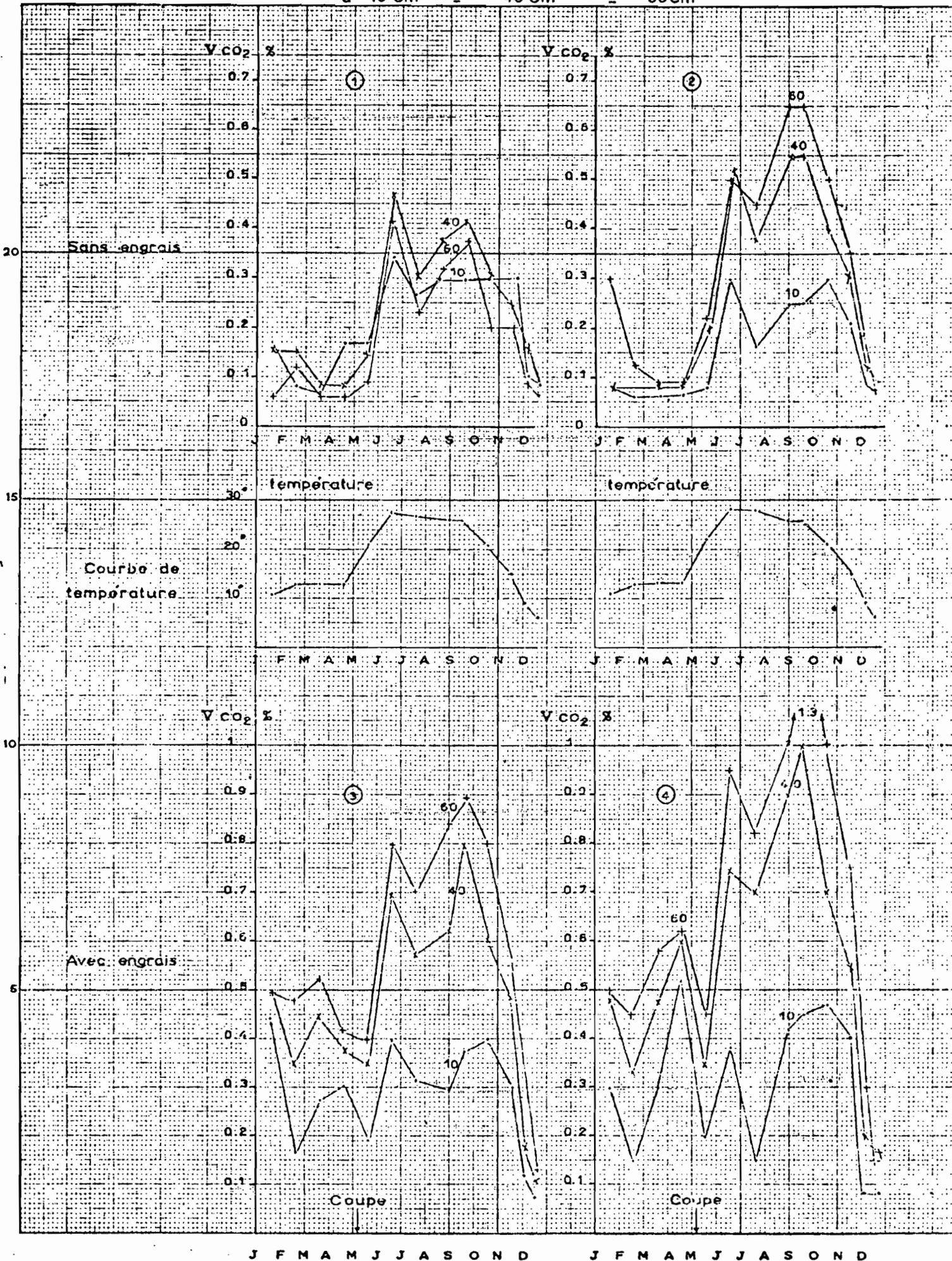
Il serait sans doute possible pour des faibles quantités de solution (extraction à la presse à membrane) d'avoir recours à l'auto-analyseur technicon.

4.- Expériences en cours et premiers résultats.

4.1.- Expériences sur lysimètres.

Ce sont des essais d'orientation ayant pour but d'établir le bilan hydrique et le bilan des principaux éléments chimiques dans un sol calcaire

Figure 1. Teneur en CO_2 de l'Atmosphère des Livénâtres à 10 Cm - 40 Cm - 60 Cm



soumis à divers traitements.

4.1.1.- Dispositif expérimental : les lysimètres sont des barils de 200 litres dont le fond est percé d'un orifice par lequel s'écoulent les eaux de drainage. Trois tubes de cuivre ont été introduits latéralement aux profondeurs de 10, 40 et 60 cm. Ils permettent le prélèvement de gaz tous les mois. Trois lysimètres ont été remplis de terre non épierrée (15 % de cailloux) et trois autres de terre épierrée.

Les traitements pour chaque lysimètre sont :

<u>N° lysimètre</u>		<u>Traitements</u>
1	avec cailloux	irrigation en été - pas d'engrais
2	sans cailloux	" " "
3	avec cailloux	irrigation en été 2 apports d'engrais en 1970
4	sans cailloux	" " "
5	témoin sans cailloux	pas d'irrigation en été - pas d'engrais pas de végétation
6	témoin avec cailloux	" " "

Peu de temps après le début de l'expérience les 4 premiers lysimètres ont été ensemencés en fétuque (*Festuca arundinacea*).

Depuis Juin 1970 sont relevées journallement les quantités d'eau apportées (eaux de pluie et eaux d'irrigation) et les quantités d'eau perdues par drainage. Régulièrement des échantillons de ces eaux sont recueillies pour analyses.

4.1.2.- Premiers résultats.

4.1.2.1. - Teneur en CO₂ de l'atmosphère des lysimètres (fig.1)

Des mesures effectuées entre le 19 décembre 1970 et le 19 novembre 1971 on peut tirer un certain nombre de constatations :

a) En général, la teneur en CO₂ croît avec la profondeur quelle que soit la saison. L'augmentation est plus nette de 10 à 40 cm que de 40 à 60 cm.

b) A une époque donnée et à une profondeur donnée, la teneur en CO₂ est toujours plus élevée dans les lysimètres 3 et 4 ayant reçu des engrais que dans les lysimètres 1 et 2 qui n'en ont pas reçu. Il semblerait que cet accroissement du dégagement de CO₂ ait son origine dans l'activité racinaire de la fétuque plus intense dans les lysimètres 3 et 4.

c) Aux profondeurs de 40 et 60 cm, la teneur en CO_2 présente des variations saisonnières qui peuvent être mises en relation avec les variations de température.

Le minimum apparait au cours des mois de février, mars et avril (température au moment des prélèvements : 13°) et le maximum en septembre (température 26°).

A 10 cm la teneur en CO_2 des lysimètres 1 et 2 augmente brutalement en mai-juin puis diminue et se stabilise entre 0,20 et 0,30 % jusqu'en septembre. A la même profondeur la teneur en CO_2 des lysimètres 3 et 4 n'est guère plus élevée en juillet-août qu'en février-mars. On peut en trouver la raison dans la coupe de la fétuque effectuée début mai dans ces deux lysimètres.

d) De mai à septembre, il y a en profondeur plus de CO_2 dans les lysimètres 2 et 4 contenant de la terre sans cailloux que dans 1 et 3 dont la terre n'a pas été épierrée. La diffusion du CO_2 vers le bas serait favorisée par la présence de cailloux, la profondeur d'enracinement de la graminée ne devant guère être différente.

4.1.2.2.- Variations saisonnières de la concentration en calcium des eaux de drainage (fig. 2 et 3)

On peut tirer de l'observation des courbes représentant la concentration en calcium des eaux de drainage (en mg/l) entre mars 1970 et octobre 1971 les conclusions suivantes :

a) Que la terre ait été épierrée ou non et qu'il y ait eu ou non apport d'engrais, la teneur en calcium des eaux de drainage présente des variations saisonnières. En 1971 comme en 1970 le minimum se situe entre février et avril et le maximum entre juin et septembre.

b) L'apport d'engrais en mai 1970 puis en novembre 1970 provoque dans les deux cas une forte élévation de la concentration en calcium. Celle-ci suit de quelques jours seulement le deuxième épandage ; par contre un délai de 45 jours sépare cet accroissement de Ca^{++} du premier épandage, car le sol n'a pas été immédiatement arrosé.

Cette influence de l'engrais qui est d'assez courte durée peut résulter d'une double action :

- action directe du phosphate de calcium (en été seulement) dont les ions calcium sont sans doute très rapidement solubilisés et entraînés.

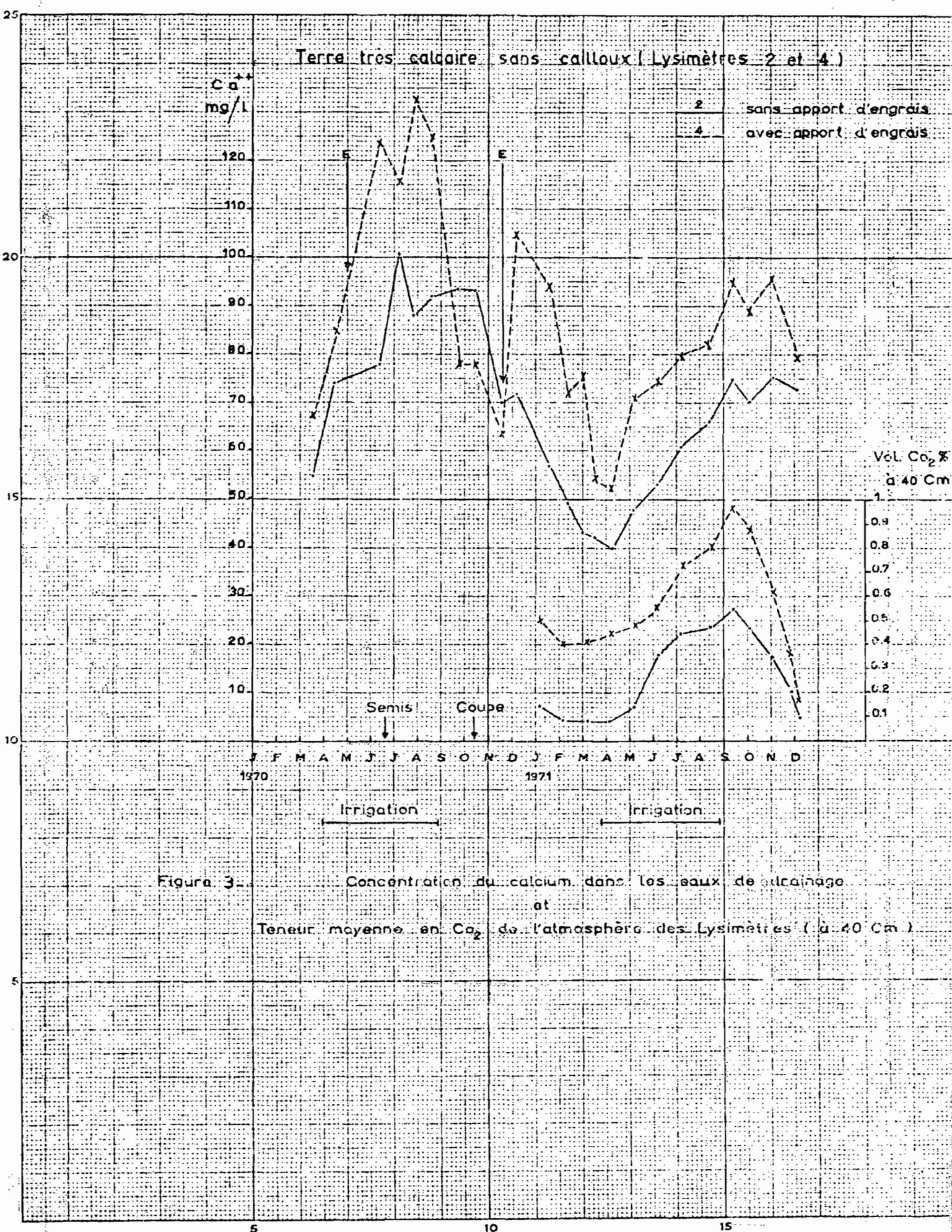


Figure 3. Concentration du calcium dans les eaux de drainage et Teneur moyenne en CO₂ de l'atmosphère des Lysimètres (à 40 Cm)

Terre très calcaire contenant 15% de cailloux (Lysimètres 1 et 3)

Ca⁺⁺
mg/l

1 sans apport d'engrais
3 avec apport d'engrais

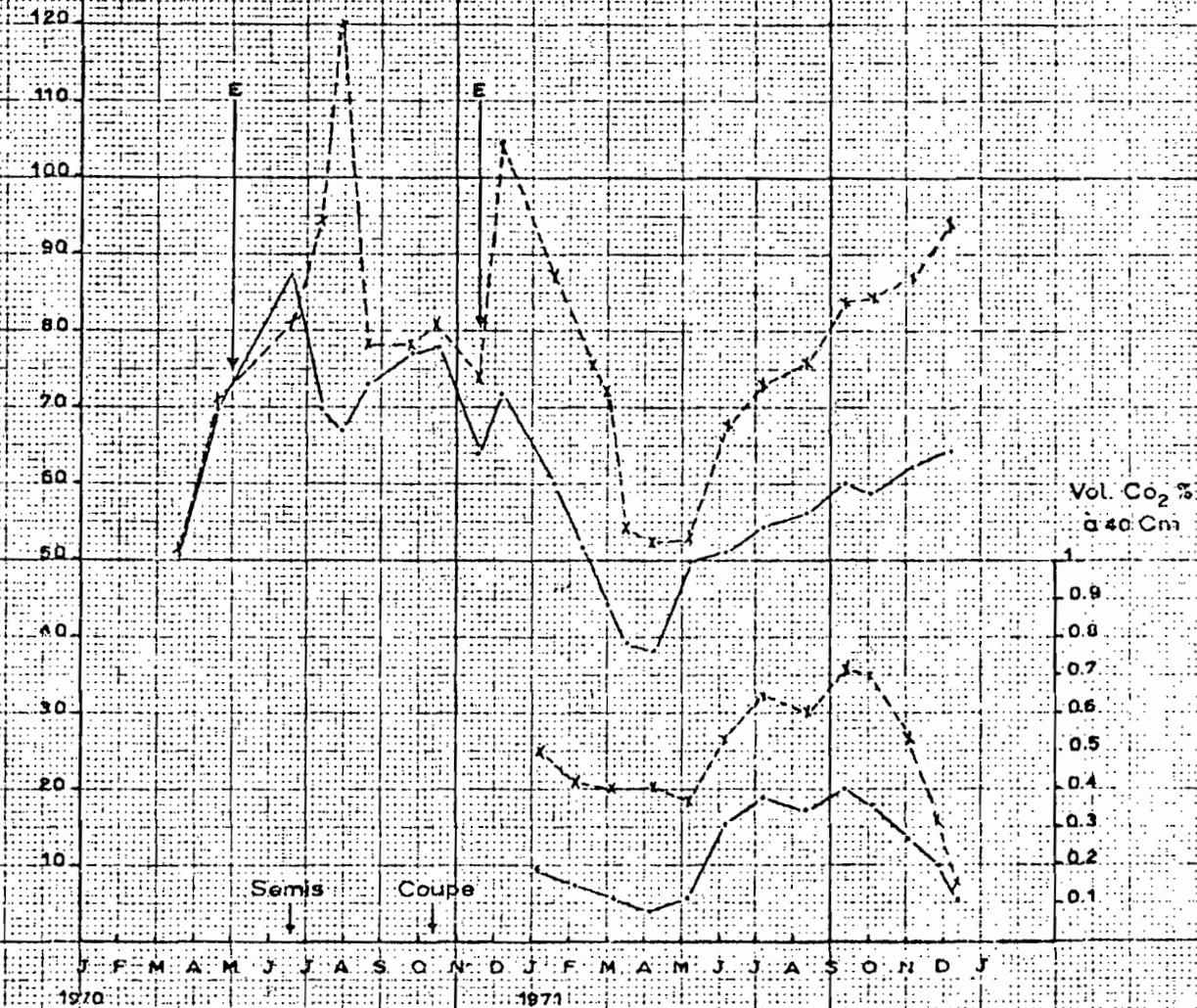


Figure 2

Concentration du calcium dans les eaux de drainage

Teneur moyenne en CO₂ de l'atmosphère des Lysimètres (à 40 Cm)

- action indirecte due à la prolifération des micro organismes du sol à la suite de l'apport d'engrais et en particulier d'engrais azotés. Le gaz carbonique résultant de cette activité microbienne provoquerait une solubilisation intense du carbonate de calcium.

c) Dès le premier apport d'engrais dans les lysimètres 3 et 4 la concentration en calcium des eaux de drainage y est plus élevée que celle des eaux ayant traversé les lysimètres 1 et 2. Ceci apparait nettement sur la figure 2. Les courbes 1 et 3 sont confondues jusqu'à l'apport d'engrais puis la courbe 3 demeure constamment au dessus de la courbe 1.

4.1.2.3.- Relation entre la concentration en calcium des eaux de drainage et la teneur en CO₂ de l'atmosphère du sol.

Les variations au cours de l'année de la teneur en CO₂ de l'atmosphère du sol à 40 et 60 cm se faisant dans le même sens que les variations de la concentration en calcium des eaux de drainage j'ai recherché les corrélations qui pourraient exister entre ces valeurs ; j'ai constaté que les corrélations étaient linéaires et significatives aussi bien en prenant les valeurs de CO₂ à 40 cm que celles recueillies à 60 cm. Le degré de signification est très légèrement plus élevé à 60 qu'à 40 cm ce qui voudrait dire que les eaux de percolation présentent à peu près la même concentration en calcium aux deux profondeurs.

Si on fait le calcul des corrélations séparément pour les mesures faites entre le 19 décembre 1970 et le 19 avril 1971 d'une part, et pour celles effectuées entre le 19 avril et le 3 septembre 1971 on obtient des équations et surtout des coefficients de corrélation un peu différents. Ainsi pour les teneurs en CO₂ à 60 cm :

$$\begin{array}{l} \text{Entre le 19 décembre et le 19 avril} \\ \log \text{Ca}^{++} = 0,25 \log 100 V + 1,38 \qquad R = 0.74 \\ \text{Entre le 19 avril et le 3 septembre} \\ \log \text{Ca}^{++} = 0,24 \log 100 V + 1,40 \qquad R = 0.87 \end{array}$$

La comparaison entre ces droites et les droites théoriques liant la concentration d'une solution saturée en carbonate de calcium avec la teneur en CO₂ de l'atmosphère dont la pression est normale, pour les températures de 16 à 25°, apporte des renseignements intéressants.

En première approximation, il semblerait que les eaux de drainage entre décembre et avril (période de pluies) aient une concentration en calcium assez

souvent inférieure à la saturation, tandis que entre avril et septembre (période d'irrigation) la concentration en calcium de ces eaux soit assez nettement supérieure à la saturation.

4.1.2.4.- Apports et pertes de calcium au cours d'une année.

Dans le tableau qui suit sont reportées les quantités d'eau et les quantités de calcium apportées sur les 6 lysimètres et les quantités perdues par ces mêmes lysimètres entre le 11 novembre 1970 et le 19 octobre 1971.

PERIODES	N° des lys.	Saison des pluies	Saison d'irrigat.	Bilan annuel
		11/11/70 au 19/4/71	20/4/71 au 19/10/71	11/11/70 au 20/10/71
Quantités d'eau reçues en l.		231	406	637
Quantités d'eau perdues par drainage	1	198	142	340
	2	200	149	349
	3	194	126	320
	4	198	129	327
	5	174		174
	6	174		174
Quantités de calcium apportées en g.		1.3	24.0	25.3
Quantités de calcium entraî- nées avec les eaux de drainage en g.	1	10.2	7.8	18.0
	2	10.6	10.0	20.6
	3	14.5	9.4	23.9
	4	14.7	10.7	25.4
	5	11.0		
	6	9.8		
Différence entre quantités de Ca apportées et quantités perdues en g.	1	-8.9	+16.2	+7.3
	2	-9.3	+14.0	+4.7
	3	-13.2	+14.6	+1.4
	4	-13.4	+13.2	-0.2
	5	-10.7		-10.7
	6	-8.5		-8.5

Il ressort de ces résultats qu'en hiver chaque lysimètre perd par lixiviation entre 8 et 13 grammes de calcium.

Par contre en été, le volume d'eau d'irrigation utilisé étant élevé et les 2/3 de cette eau étant renvoyés dans l'atmosphère par évapo-transpiration, les quantités de calcium apportées dépassent largement les quantités de calcium perdues ; de sorte qu'il y a enrichissement en calcium d'environ 15 grammes par

lysimètre pendant cette période.

Le bilan annuel pour le calcium est fonction des traitements subis par les lysimètres. On peut d'abord constater que l'irrigation se traduit par un enrichissement plus ou moins élevé ; celui-ci est plus net encore si on compare les lysimètres irrigués avec les deux témoins non irrigués, dans lesquels se manifeste une perte de calcium au cours de l'hiver.

L'apport d'engrais tend à réduire l'accroissement de calcium du fait de l'irrigation. En effet celui-ci est en valeur absolue, nul ou faible dans les lysimètres 3 et 4 qui ont reçu des engrais en 1970 alors qu'il est appréciable dans 1 et 2 : respectivement 7,3 et 4,7 grammes, soit 730 et 740 Kgs de CaCO_3 à l'hectare.

Mais plus que le bilan global du calcium pour une épaisseur de sol de 68 cm, c'est la profondeur de sol à laquelle se localise le calcium apporté par l'eau d'irrigation qu'il serait important de connaître. L'utilisation du calcium radioactif (Ca^{45}) est envisagée pour résoudre ce problème.

4.2.- Expériences en laboratoire sur colonnes de terre.

Ces expériences ont été entreprises afin de déterminer les différents facteurs édaphiques intervenant dans la dissolution du calcaire. Une première série d'expériences a permis de mettre en évidence le rôle de la compacité du sol.

4.2.1.- Influence de la compacité d'une terre calcaire sur la dynamique du calcium.

Dispositif : Pour cette étude, j'ai utilisé 4 tubes en plastique transparent coupés en deux dans le sens de la longueur afin de pouvoir extraire facilement la terre en fin d'expérience. Les deux demi-tubes ont été ré-assemblés à l'aide de colliers réglables.

Les dimensions sont : longueur 50 cm - diamètre intérieur 42 mm - diamètre extérieur 46 mm.

La terre calcaire utilisée est la même que celle ayant servi à remplir les lysimètres. Elle a été seulement tamisée et on n'a gardé pour l'expérience que les agrégats de dimensions comprises entre 0,5 et 2 mm.

Le remplissage des tubes a été effectué par petites fractions de façon à obtenir un tassement homogène en tapotant les parois. J'ai pu ainsi obtenir les densités apparentes suivantes :

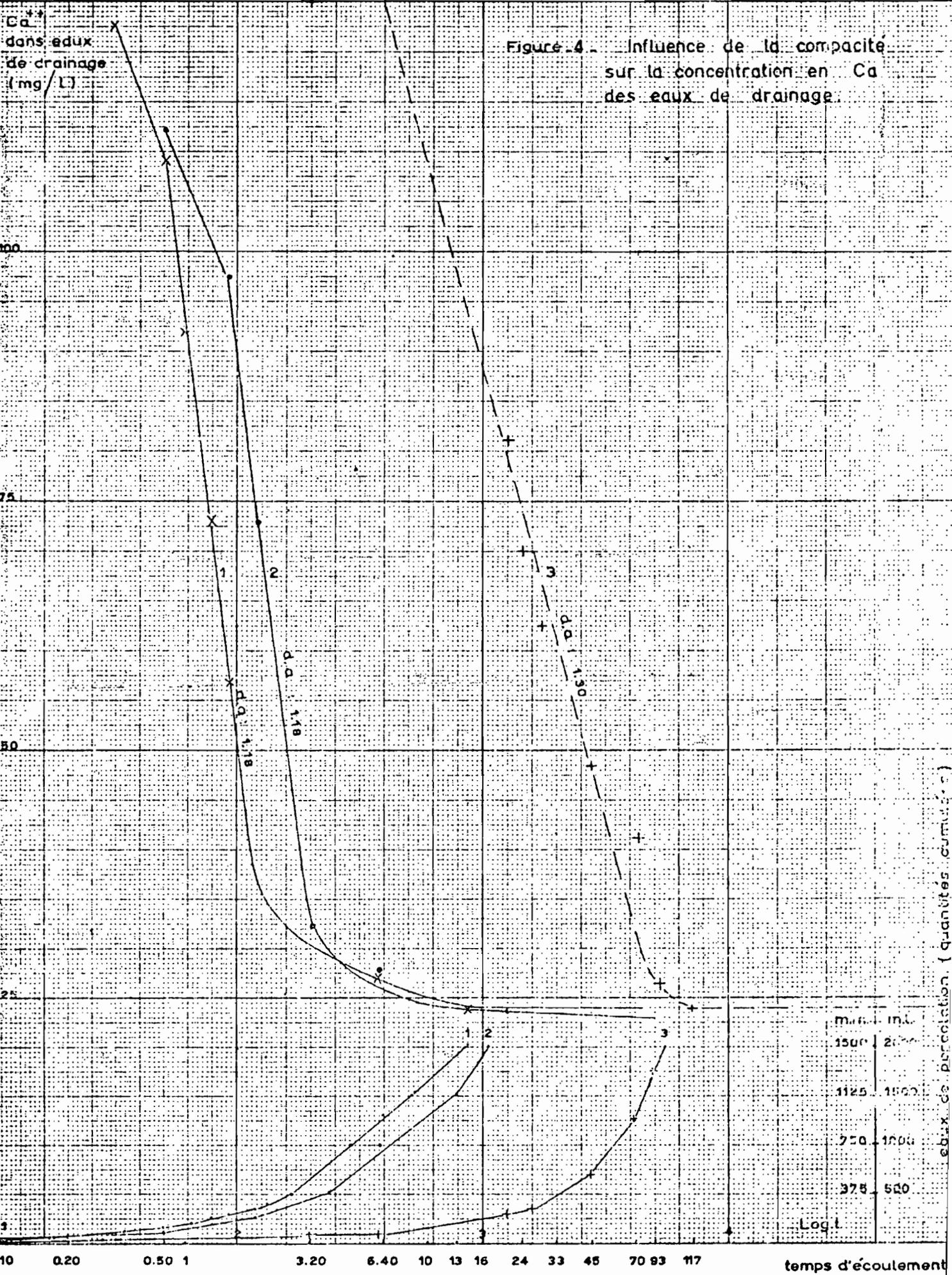


Figure 4. Influence de la capacité sur la concentration en Ca des eaux de drainage.

eaux de précipitation (quantités cumulées)

Log. t

temps d'écoulement

<u>Colonne</u>	<u>Densité apparente</u>
1	1.18
2	1.18
3	1.30
4	1.35

Un régime d'écoulement permanent a ensuite été établi, en maintenant au-dessus de chaque colonne (dont la hauteur étant de 41 cm) une nappe d'eau distillée de 2 cm.

Il faut signaler que quelques précautions se sont avérées nécessaires pour éviter la destruction de la structure en surface. Celle-ci est apparue en effet comme un facteur important de la perméabilité de l'ensemble de la colonne.

Les mesures ont porté sur le débit de l'eau ayant percolé à travers les colonnes et sur la concentration en calcium de cette eau. Cette dernière détermination a été faite d'abord sur les fractions de 50 ml puis à partir de 500 ml d'eau écoulées, tous les 1/2 litres seulement.

Résultats :

Sur la figure 4 sont représentées en fonction du temps (en logarithme), d'une part la quantité d'eau ayant percolé à travers les colonnes et d'autre part la concentration en calcium moyenne de l'eau qui s'est écoulée depuis la mesure précédente. Les points représentatifs de la colonne 4 n'ont pas été reportés, car la perméabilité étant très faible, la concentration en calcium est restée très élevée (110 à 150 mg/l) pendant toute la durée de l'expérience.

On voit que pour les trois autres colonnes la forme des courbes est la même. La quantité de calcium, très élevée au début diminue ensuite pour atteindre la même valeur de 24 mg/l dans les 3 colonnes. Ce qui les distingue, c'est le temps nécessaire pour atteindre ce seuil : il est de 14 H 30 pour la colonne 1 ($d_a = 1,18$), de 17 H 30 pour la colonne 2 ($d_a = 1,18$) et de 117 H pour la colonne 3 ($d_a = 1,30$).

On peut constater qu'au bout de 24 heures, la concentration en calcium est encore de 75 mg/l dans 3 tandis qu'elle a déjà atteint la valeur minimum de 24 mg/l dans 1 et 2.

On peut également déduire de l'expérience précédente que pendant une certaine période qui suit le début de l'arrosage, la dissolution du calcaire est d'autant plus rapide que la terre est plus perméable et le débit plus élevé. Par contre la concentration moyenne des eaux de drainage varie en raison inverse du débit.

Conséquences sur le plan agronomique :

L'expérience précédente a été exécutée dans des conditions qui sont loin d'être les conditions habituelles de l'irrigation dans le Sud Liban.

On est d'abord parti d'une terre calcaire reconstituée et complètement sèche. Celle-ci a été soumise ensuite à un lessivage intense à l'eau pure : ce qui ne se voit jamais en pratique. Mais l'intérêt de cette méthode d'étude nous incite à recommencer la même expérience en faisant varier les conditions (nature de l'eau d'arrosage - état d'humidité de la terre au début de l'expérience - composition granulométrique de la terre calcaire etc...)

Les réserves précédentes étant faites, on peut avancer deux hypothèses à partir des résultats obtenus :

- tous travaux destinés à ameublir les sols calcaires, et en particulier les sols argileux contenant une proportion non négligeable d'argiles gonflantes, doivent avoir un effet bénéfique et permettre aux cultures de mieux résister à la chlorose.

- lorsque ces travaux culturaux ne peuvent être effectués (cas des plantations arbustives par exemple), l'allongement de la période séparant deux irrigations successives peut permettre aux racines d'être pendant un certain temps en contact avec des eaux contenant des quantités de calcium minimum par rapport à la teneur en CO_2 de l'atmosphère du sol.

Ces hypothèses pourraient en tous cas servir de guides pour une étude sur le terrain concernant le comportement des plantes dans différents sols calcaires et en fonction des travaux culturaux et des modes d'irrigation employés.

5.- Programme futur.

Les expériences décrites précédemment sont destinées à se faire une idée des problèmes que posent l'irrigation des sols calcaires ; elles seront poursuivies et complétées comme je l'ai déjà indiqué. Utilisation du Ca^{45} pour connaître le sort du calcium apporté avec l'eau d'irrigation, étude de la concentration en calcium de l'eau non saturante, influence de la pression en CO_2 de l'atmosphère sur le pH pour différents types de sols calcaires seront les principaux sujets abordés dans les mois qui viennent.

Mais il me paraît indispensable de mener parallèlement des travaux plus proches de la pratique et permettant d'arriver à un vade-mecum de l'utilisation des sols calcaires.

5.1.- Essais sur parcelles en vue de connaître l'évolution des sols calcaires sous irrigation.

Quelques essais ont déjà été mis en place à la station de Lebaa près de Saïda afin de déterminer l'influence de deux modes d'irrigations (aspersion et gravité) et de l'apport de fumier sur l'évolution du sol. On a adopté une rotation culturale sans luzerne, et une rotation avec luzerne enfouie au bout de deux ans. Des prélèvements systématiques sont effectués tous les ans afin de suivre les variations dans le temps d'un certain nombre de caractéristiques : taux de calcaire actif, taux de matière organique, indice d'instabilité structurale. En outre, j'ai commencé à mesurer la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère du sol sous luzerne.

5.2.- Etude de l'aptitude des sols calcaires pour les différentes cultures irriguées.

Ce travail a été entrepris à une petite échelle sur quelques cultures annuelles qui ont été effectuées en 1971 à la station de Lebaa. Mais il serait du plus grand intérêt de pouvoir comparer le développement des végétaux et les rendements en fonction d'un certain nombre de données relatives à la fois aux sols calcaires (texture, teneur en calcaire actif, perméabilité ...) et aux techniques mises en oeuvre (épierrage, façons culturales, modes d'irrigation...).

L'examen des profils culturaux pourrait dans cette perspective apporter des renseignements utiles.

Il n'est pas impossible que cette étude puisse être entreprise en collaboration avec les agronomes de l'équipe FAO dont le programme inclut précisément la mise en valeur des sols calcaires du Sud Liban.

COMITÉ TECHNIQUE DE PÉDOLOGIE

O. R. S. T. O. M.

bulletin de liaison

DU THÈME E

n° 2

juillet 1972