

Etude globale de la salinisation des sols dans le périmètre irrigué du Haut Chelif.

Par les étudiants de l'I.N.A. - El Harrach - Sous la Direction de A.P. CONESA - C. MAGINIEAU - J.J. DUMARTIN - M. ROUX - A. SAHARANI - G. LEMAIRE - P. BAILLON - HADJ-MILOUD Djilali et du Commissariat de mise en valeur du Haut Chelif.

Le périmètre de mise en valeur du Haut Chelif est situé à 120 km à l'Ouest d'Alger, dans la dépression EST-OUEST qu'occupent les plaines d'EL-KHEMIS à l'Est et de KHERBA à l'Ouest.

Les études réalisées par J.C. LEGOUPIL (1971) ont montré que l'E.T.P. annuelle moyenne était de l'ordre de 1200 mm.

Les besoins hydriques de la betterave à sucre d'automne avec une E.T.M. de 830 mm et ceux de la betterave à sucre de printemps avec une E.T.M. de 1033 mm ne sont pas satisfaits par la pluviométrie qui, de septembre à août s'élève en moyenne à 470 mm.

Le déficit hydrique des cultures est compensé par une irrigation avec l'eau du barrage du GHRIB, qui possède une capacité de 1.800.000 m³. Cette eau contient, en moyenne, 1,6 g de sel/l ce qui nous a amené à étudier le problème de l'accumulation des sels dans les sols du périmètre et l'influence de celle-ci sur la nutrition, les rendements et la taille des betteraves à sucre.

L'effet de la salinité de l'eau sur la croissance de la betterave a été étudié expérimentalement par J. LUNIN et col. (1963) qui ont montré l'action dépressive sur le rendement des apports de sels à différentes périodes de la croissance.

En TUNISIE, J. VAN HOOR (1971) et l'équipe du CRUESI ont montré expérimentalement l'accumulation, en champ, des sels et leur effet dépressif sur les cultures, en fonction des doses et de la fréquence des irrigations.

La démarche que nous avons adoptée était sensiblement différente de l'expérimentation au champ ou en vase. Elle s'apparente plutôt à l'écologie.

Nous avons examiné, par la méthode de l'enquête globale, l'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur l'alcalinisation des sols et la nutrition des betteraves, en effectuant une série d'observations sur un grand nombre de points répartis à travers le périmètre de mise en valeur d'EL-KHEMIS.

Les résultats que nous présentons ici ne constituent qu'une partie de l'étude intégrée se proposant de dégager « les facteurs techniques qui limitent la production de la betterave dans le périmètre ». Elle a été réalisée par les étudiants de l'I.N.A. d'El-Harrach en collaboration avec le COMMISSARIAT DE MISE EN VALEUR DU HAUT CHELIF.

I — METHODES UTILISEES

a) *Choix des stations* - l'ensemble des mesures et observations a été effectué sur 95 stations de 14,4 m² de surface. Ces « points » d'observation se répartissaient sur l'ensemble du périmètre. Comme le souligne R. GRAS (1971), le nombre d'échantillons adoptés est un compromis entre la nécessité statistique de choisir un grand nombre de points d'observation et la possibilité matérielle d'effectuer un grand nombre d'observations.

Le choix des stations a été réalisé de façon à représenter :

— l'ensemble des sols du périmètre en prenant comme base la carte pédologique de la région établie par BOULAINÉ.

— des rendements en betteraves variables en prenant comme références les récoltes obtenues dans les domaines les années précédentes.

— les différents précédents : blé, fourrage, vigne, betterave, sorgho, etc.

b) *Analyses de terre et d'eau* — A partir de 4 prélèvements (0,30 cm) effectués sur chaque station, en janvier 1971, nous avons constitué les échantillons moyens analysés.

Sur ces échantillons ont été mesurés la capacité d'échange (T) le sodium, le potassium, le magnésium échangeables, ainsi que la conductivité des extraits 1/5.

K, Na, Ca, Mg et la conductivité ont été dosés dans les eaux d'irrigation.

Sur des échantillons de terre, prélevés spécialement, nous avons testé la perméabilité, en suivant la méthode de HENIN et col. (1969).

c) *Analyses foliaires* — 60 limbes de betterave ont été prélevés sur chaque station. Les prélèvements de feuilles ont été effectués 170 jours après la levée, en choisissant des feuilles intermédiaires entre les jeunes feuilles et le verticille extérieur selon la méthode d'ULRICH et col. (1959).

Les dosages ont été effectués sur la solution de reprise des cendres par HNO_3 , après calcination à 500°C des limbes lavés à l'eau distillée puis séchés à 150°C .

- K et Na ont été dosés par photométrie d'émission,
- Ca et Ng par photométrie d'absorption atomique,
- le phosphore a été dosé sur la solution de reprise des cendres par colorimétrie du complexe phosphovanadomolybdique à 4200 Å

d) *Rendements et qualités des récoltes* — Sur chaque station, on a prélevé les betteraves sur une surface de 7,2 m². Les racines décollées et lavées ont été pesées. Le pourcentage de petites betteraves ($\varphi < 45 \text{ mm}$) a été calculé. La teneur en sucre des racines a été déterminée au saccharimètre par la station I.N.R.A.A. d'EL-KHEMIS.

e) *Méthodes Statistiques* — L'analyse factorielle des correspondances.

Outres les coefficients de corrélation de Pearson calculés entre toutes les variables quantitatives prises deux à deux nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances pour dépouiller l'énorme tableau de chiffres que nous avons réunis.

Sans entrer dans le détail mathématique de la méthode nous voudrions exposer ici les grandes lignes du traitement statistique.

Comme l'analyse en facteurs communs et spécifiques ou l'analyse en composantes principales l'analyse factorielle des dances (BENZECRI 1964 - CORDIER 1965) est une méthode multidimensionnelle c'est-à-dire qu'on s'intéresse au dépouillement de tableaux statistiques rectangulaires en général où interviennent plusieurs variables.

Donnons tout de suite un exemple. Considérons une variable que nous voulons expliquer : Les rendements et une variable explicative le sodium dans la plante qui est un facteur de ces rendements). Après avoir divisé les rendements en 6 classes ou modalités et les teneurs en sodium en 4 classes ou modalités, on dresse un tableau T dont les lignes seront les

différentes classes de teneurs en Na dans la plante et les colonnes les classes de rendements en sucre des stations de 14 m², 4. La case $t(i, j)$ de T située à l'intersection de la ligne i et de la colonne j sera le nombre de stations qui ont produit le rendement j et pour lesquelles les teneurs en sodium des feuilles de betteraves est i .

Remarquons que la somme S de toutes les valeurs figurant sur ce tableau n'est autre que le nombre total de parcelles étudiées. On substitue alors à chaque valeur $t(i, j)$ de T le rapport $t(i, j)/s$. Dans ces conditions la somme des termes de la ligne i de T , ainsi transformé, représente la fréquence f_i de la teneurs i de T , tandis que la somme des termes de la colonne j sera la fréquence g_j des rendements j et la somme de tous les termes sera égale à 1.

Considérons la ligne : (teneur en Na - des feuilles) comme un point i d'un espace à p dimensions (s'il y a p classe de rendements ici 6) dont la jème coordonnée, sur un système d'axe rectangulaire est égale à

$$t(i, j) / f_i \sqrt{g_j}$$

On munit chaque point P_i d'une masse de valeur f_i ce qui fait de l'ensemble l des lignes (teneurs en Na des feuilles) un solide matériel (que nous appellerons I .) constitué de masses ponctuelles séparées par de grands espaces vides. La méthode consiste alors à rechercher une première direction D_1 optimale au sens des moindres carrés. Soit H_i le pied de la perpendiculaire de P_i sur D_1 on veut que la somme :

$$\sum f_i P_i H_i^2 = F_1 P_1 H_1^2 + F_2 P_2 H_2^2 + \dots + F_p P_p H_p^2$$

soit minimum.

On voit que cette quantité n'est autre que la somme des carrés des distances des points P_i à la droite cherchée, chacun des termes étant pondéré par la masse du point correspondant. On démontre que l'axe cherché, appelé premier axe principal d'inertie en mécanique, passe nécessairement par le centre de gravité G du solide I . La méthode se poursuit en recherchant une seconde direction D_2 ayant la même propriété mais étant de plus perpendiculaire à D_1 , puis une troisième direction D_3 perpendiculaire au plan déterminé par D_1 et D_2 et ainsi de suite.

On projette enfin les points P_i sur les plans déterminés par ces différentes directions ce qui donne un aperçu, une approximation du nuage de points original. Dans notre étude nous nous sommes toujours limités aux plans déterminés par D_1 et D_2 et ainsi de suite.

Ces différentes directions s'obtiennent comme dans les méthodes analogues, par extraction des valeurs propres les plus grandes et des vecteurs propres correspondants d'une certaine matrice de corrélation entre variables.

La forme particulière du tableau des coordonnées originelles en analyse factorielle des correspondances fait que l'on analyse des profils (variations relatives) plutôt que des valeurs absolues.

Une teneur M en Na des feuilles très fréquente, ayant donc une masse élevée, se trouvera près du centre de gravité, c'est-à-dire près de l'origine des axes. Une teneur peu fréquente, mais se trouvant sur les mêmes rendements que M sera voisine de M sur la carte des nuages des teneurs en Na donnée par les deux premiers axes factoriels, et ce, malgré des effectifs beaucoup plus faibles. Au contraire une teneur en Na singulière, correspondant à des rendements différents de M se trouvera fort éloignée de l'origine.

Ajoutons que tous les raisonnements faits sur les teneurs en Na peuvent être faits sur les rendements. Les deux ensembles ayant des rôles symétriques. Les coordonnées des points sont

alors :

$$t(i, j) / g_j \sqrt{f_i}$$

et leur masse g_j .

Mais point n'est besoin de faire une nouvelle analyse pour obtenir les axes factoriels car ceux-ci se déduisent immédiatement de ceux que l'on trouve dans l'analyse du premier ensemble. Les deux nuages accusent généralement des formes semblables et il y a non seulement correspondance mathéma-

tique mais aussi correspondance réelle entre les facteurs homologues de ces deux nuages.

Notre problème réel était quelque peu plus complexe que notre exemple, dans ce dernier nous n'avons en effet que deux variables quantitatives. Rendements et teneurs en Na des feuilles. Or ce qu'il nous fallait c'était mettre en relation plusieurs variables quantitatives *et qualitatives* (précédents culturels par exemple).

Nous avons autant de tableau T que de variables autres que le rendement. Nous les avons juxtaposés les uns au dessus des autres de façon à obtenir un grand tableau à 6 colonnes (6 classes de rendements) les lignes de ce tableau étaient constituées par l'ensemble de toutes les modalités de toutes les variables. Nous voyons ici l'un des avantages de la méthode, du fait du découpage des variables en classes de valeur on obtient un tableau homogène et la multiplication des modalités n'augmente pas les dimensions de l'espace.

Une annexe du programme de calcul autorise en outre l'évaluation du rôle, que joue chaque point dans la détermination de chacun des axes factoriels, axes qui sont extraits par ordre d'importance décroissante. Ce rôle est appelé *contribution*.

II — RESULTATS

a) *Analyse d'eau* — Nous avons porté, sur le tableau 1. Les teneurs en Na ; K, Ca, Mg ainsi que la conductivité de l'eau d'irrigation à deux périodes de l'année.

Tableau 1 — Qualité de l'eau d'irrigation

	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg	SAR	Conductivité en mmhos/cm /20° C
fin d'été	16,9	0,15	7,4	8,4	6,03	2,50
Début Janvier	4,3	0,13	5,5	3,9	2,00	1,26

On note une forte diminution de la salinité de l'eau pendant la période hivernale, après les pluies d'automne.

b) *Analyse des terres* — Sur les histogrammes de la figure 1. sont représentées les teneurs en Na, K, Mg des 95 stations étudiées. Ces résultats représentent les prélèvements (0-30 cm) effectués fin janvier 1971.

Lorsqu'on exprime ces teneurs en % de saturation de la capacité d'échange, $\frac{\text{Na}}{\text{T}} \times 100$ varie de 1,1 à 18,4 avec 93 % de l'effectif possédant de 1 à 9 % de sodium sur le complexe adsorbant.

Notons que les teneurs en sodium (0-30 cm) varient en cours d'année.

Station R 50 $\frac{\text{Na}}{\text{T}} \times 100 = 3,6$ % en janvier = 6,0 % en juin 1972

Q 39	»	12,6 %	»	16,5 %	»
M 68	»	6,0 %	»	11,1 %	»
RABHI	»	5,6 %	»	7,9 %	»

On constate donc un accroissement estival de l'accumulation du sodium en surface.

On sait que l'ion sodium peut affecter fortement les propriétés physiques des sols. En provoquant la dispersion des colloïdes du sol, le sodium agit sur la perméabilité. L'histogramme 4. de la figure 1, montre que l'indice K (de Darcy) varie de 0,59 à 15,6 cm/heure suivant les sols pour 87 % des sols, $\log_{10} K$ est inférieur à 1,1 ce qui montre que la majorité des sols du périmètre sont peu perméables.

L'histogramme 2. montre que les teneurs en potassium sont assez élevées : $\frac{\text{K}}{\text{T}} \times 100$ de 1 à 10 % avec 90 % des stations présentant plus de 3 % de K sur le complexe adsorbant.

Les teneurs en magnésium des sols sont élevées et peuvent atteindre 800 ppm extraits à l'acétate d'ammonium, une partie du magnésium extrait se trouvant précipité.

Les résultats des analyses foliaires sont portés sur les histogrammes de la figure 2. On note des teneurs en Na et Mg supérieures aux valeurs normales. Le sodium représente 1,5 à 5,5 % du poids de matière sèche. Le magnésium 0,2 à 1,2 %.

Les rendements en racines et sucre par station de 14,4 m² sont portés sur les histogrammes de la figure 3.

III — INTERPRETATIONS

Le S.A.R. ($= \frac{\text{Na}}{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}}$) permet de penser que l'utilisation

des eaux pour l'irrigation présente des risques d'alcalinisation faibles et moyens. Ces risques sont plus forts en été. Ce diagnostic est confirmé par l'analyse des sols qui révèle une accumulation des ions Na et Mg.

L'interview des responsables des domaines nous a permis de reconstituer l'histoire des stations et la cinétique de l'accumulation du sodium.

— Si l'on considère plusieurs stations qui n'ont jamais été irriguées. La valeur moyenne des teneurs en sodium Na x 100 échangeable ($\frac{\text{Na} \times 100}{T}$) est de 2,34 % avec un coefficient de variation C.V. = 62 % (pour 7 stations considérées).

— Si l'on considère les stations irriguées pendant une seule campagne avec une culture en sec entre l'année d'irrigation et la date du prélèvement, la teneur moyenne en sodium est de 5,8 % et le coefficient de variation C.V. = 17,2 % (pour 7 stations).

— Si l'on considère les stations irriguées pendant deux campagnes successives, dont l'année qui a précédé nos observations, la teneur moyenne en sodium est de 7,5 % avec un coefficient de variation C.V. = 5,6 % (pour 7 stations).

— Si l'on considère les stations qui ont subi 3 campagnes d'irrigation, la teneur moyenne en sodium est de 6 % avec un coefficient de variation C.V. = 36,6 % (pour 7 stations). On peut ainsi représenter sur le schéma 1. l'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant en fonction du nombre de campagnes d'irrigation, c'est-à-dire des quantités d'eau apportées. Pour les prélèvements effectués en janvier le pourcentage de saturation en Na semble se stabiliser au voisinage de 8 % de saturation du complexe adsorbant. Cette teneur en sodium des sols-permet la culture de la betterave, qui est une espèce résistante aux sels, d'autant plus que, sur le périmètre, le sodium peut être en partie lessivé.

Si nous considérons les stations qui ont subi une campagne d'irrigation, deux cas peuvent se produire :

— Une culture annuelle en sec sépare la culture irriguée de la date de prélèvement. La teneur moyenne en sodium est Na x 100 de $\frac{\text{Na} \times 100}{T} = 5,8 \%$ pour un coefficient de variation C.V. = 17,2 %.

— deux cultures annuelles en sec séparent la culture de betterave en irrigué de nos observations. La teneur en sodium $\text{Na} \times 100$

$\frac{\text{Na} \times 100}{T} = 3,7 \%$ en moyenne avec un coefficient de variation
 T
 C.V. = 29,7 (pour 7 stations).

Ces résultats révèlent un lessivage des sols par les eaux de pluie et soulignent l'influence du choix des rotations sur l'accumulation du sodium. La mise en place d'assolement en sec sur des terres ayant atteint un niveau de salification élevé ($> 8 \%$) favorisera le lessivage des sols. Cette solution technique est en opposition avec une intensification de l'agriculture qui consiste à accroître l'importance des cultures irriguées dans l'assolement. J.C. LECOUPIL (1971) préconise un lessivage des sols par les eaux sauvages du CHELIF.

Le lessivage des sols par les eaux de pluie, les apports de sels par les irrigations au printemps et en été, la remontée des sels expliquent la fluctuation de la salinité de l'horizon de surface en cours d'année, cette fluctuation a été observée par J. VAN HOORN (1971).

Quel est l'effet de l'accumulation des sels sur la perméabilité des sols ? la faible perméabilité des sols que nous avons constatée s'explique en partie par les forts pourcentages de particules fines pour la majorité des sols du périmètre.

78 % de terres possèdent plus de 35 % d'argile ($< 2 \mu$)

82 % des terres ont plus de 35 % de limon (2 — 50 μ)

L'effet de la finesse de ces particules semble s'accroître avec la présence de sodium. L'indice de corrélation de PEARSON $\text{Na}/\text{perméabilité} = 0,28$ tend à confirmer cette action du sodium.

La diminution de la perméabilité avec l'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant rendra plus difficile l'irrigation.

L'apport des sels a accru fortement la pression osmotique. On note une forte variation de la conductivité des extraits 1/5 pour les différents sols. Cette variation est surtout liée à la présence de sodium :

$\text{Na-conductivité} = 0,69$ (Na étant exprimé en % de saturation).

Les coefficients de corrélation entre la conductivité et les teneurs en Mg et K sont sensiblement plus faibles.

r_{Mg} — conductivité = 0,30

r_K — conductivité = 0,18,

Effet du sodium sur la nutrition et les rendements en betterave.

A partir des analyses de terres et de feuilles, nous avons calculé les corrélations entre le sodium dans le sol dans la plante, et entre les teneurs de sodium dans les limbes et les teneurs en Ca, Mg, K et phosphore.

Ces résultats sont portés sur le schéma 2. Ils montrent une absorption synergique entre Na, Ca et Mg. Cette relation peut s'expliquer par l'apport simultané du Ca, Mg et Na par l'eau d'irrigation qui accroît parallèlement l'absorption de ces ions. L'irrigation se faisant par aspiration, une partie de ces ions ont pénétré au niveau des feuilles.

Les absorptions du sodium et du potassium sont antagonistes, puisque le coefficient de corrélation de PEARSON.

$r_{Na-K} = - 0,58$ est négatif

de même, on note une relation négative entre les teneurs en phosphore et en sodium dans les feuilles :

$r_{Na-P} = - 0,31$.

Cette relation peut s'expliquer par le fait que la présence de sodium, en modifiant les propriétés physiques du sol, gêne l'utilisation des réserves phosphoriques du sol. Le sol étant plus compact en présence de sodium, le volume de terre exploré par les racines est plus faible, ce qui limite l'utilisation de l'ion PO_4 peu mobile dans le sol.

On peut également penser que les anions qui accompagnent le sodium (Cl et SO_4 = en particulier) ont eu un effet antagoniste sur l'absorption des anions phosphoriques.

Les eaux d'irrigation contiennent de 5 à 15 meq de Cl et de 1 à 13 meq de SO_4 . Ces résultats confirment ceux de LUNIN J. et GALLATIN M. H. (1965) qui, expérimentalement, ont montré que l'accroissement de la salinité diminue les teneurs en phosphore dans la plante.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'ion Cl, de petite dimension, pénétrera de préférence dans les cellules et exercera une concurrence prononcée au niveau de la cellule vis-à-vis de NO_3 et $PO_4 H_2$. On peut donc s'attendre à ce que la réponse des betteraves à la fertilisation phosphatée soit meilleure en sol salé qu'en sol non alcalin.

Notre étude a mis en évidence l'action complexe du sodium sur le sol et la nutrition de la betterave. L'effet du sodium sur les rendements sera la résultante de facteurs interdépendants.

La corrélation entre le sodium du sol et les rendements est faible

$$r_{\text{Na-rendements}} = - 0,11$$

Nous avons examiné les variations concomitantes des rendements en sucre par station et des teneurs en Na, K, Mg et Ca dans la plante ou Na dans le sol en utilisant la méthode d'analyse factorielle des correspondances mise au point par BENZEKRI. On constate sur le schéma 3. que, l'accroissement des teneurs en K, Mg et Na dans la plante, correspond à une diminution des rendements en sucre par station. Cette relation est moins claire pour le calcium. Dans ce cas, la classe 4 du calcium, qui correspond aux teneurs les plus élevées, correspond à un accroissement des rendements par rapport à la classe 3.

L'étude de la contribution des différents facteurs à l'axe D des rendements montre que

le calcium dans la plante représente	3,6 %
la conductivité électrique du sol	1,85 %
le sodium dans la plante	1,54 %
le magnésium dans la plante	1,34 %
le potassium dans la plante	0,99 %

On constate donc que le calcium joue un rôle plus important que le sodium sur les rendements. Nous avons vu que ces facteurs étaient interdépendants.

Lorsqu'on étudie un autre facteur important de la production, c'est-à-dire le pourcentage de betteraves non marchandes par station, on constate que celui-ci s'accroît avec les fortes teneurs en sodium dans les feuilles. Parallèlement, plus il y a de campagnes d'irrigation, plus le pourcentage de petites betteraves est élevé. Ces résultats montrent l'effet complexe de l'ion sodium et des autres cations qui l'accompagnent.

Le sodium a agi sur les propriétés physiques du sol en modifiant la perméabilité et, globalement, la compacité des sols ; il a gêné l'irrigation et l'enracinement des betteraves, cette hypothèse semble confirmée par la relation qui existe entre les teneurs en sodium des feuilles et la taille des betteraves.

De même l'accroissement des concentrations en sodium dans le sol a gêné l'utilisation d'éléments comme le phosphore et le potassium qui sont des facteurs importants du rendement.

Ces résultats partiels montrent l'intérêt de la démarche globale que nous avons adoptée.

— En prenant en compte l'ensemble des paramètres, nous avons pu mettre en évidence les nombreuses interactions qui existent entre les facteurs de la production et ceci dans les conditions de la culture en plein champ. Ces interactions sont plus difficiles à dégager en utilisant l'expérimentation classique qui ne permet de prendre en compte qu'un nombre réduit de facteurs.

— Réalisé en un an, ce travail a permis de montrer que l'accumulation du sodium semblait se stabiliser au voisinage de 8 % après trois campagnes d'irrigation. Une étude menée, suivant la démarche expérimentale classique, aurait demandé un temps plus long. Elle présente cependant quelques insuffisances :

- Les relations mises en évidence par voie statistique ne sont pas des relations de causalité, c'est-à-dire que l'étude globale ne permet pas d'expliquer les phénomènes. Nous avons vu que, dans le cas de l'interaction sodium-phosphate, deux hypothèses pouvaient être avancées. Seul un travail expérimental plus précis permettra, dans ce cas, de comprendre les mécanismes mis en jeu.
- Nous avons constaté un lessivage par l'eau de pluie ; mais ces résultats restent imprécis ; seul un travail expérimental rigoureux, qui tiendra compte de la nature des sols, des quantités d'eau apportées et de leur fréquence, permettra de préciser ce phénomène.

— En conclusion, on peut dire qu'analyse globale et méthode expérimentale sont complémentaires. Chronologiquement, l'analyse globale doit précéder l'expérimentation car elle permet de poser les problèmes qu'il appartiendra à l'expérimentation de préciser. Une fois l'expérimentation terminée, elle permettra de situer les résultats dans leur contexte.

BIBLIOGRAPHIE

- J.L.G. BOULAIN (1957)
Etude des sols des plaines du Chélib. Thèse Alger.
- K.L. BABCOCK — R.M. CARSON — R.K. SCHULZ et R. OVERSTREET (1959)
« A study of the effect of irrigation water composition on soil properties ». — HILGARDIA — Vol. 29, 3.
- BENZEKRI J.P. (1964) :
Cours de linguistique - 3ème et 4ème leçons. Rennes (multigraphié).
- R. CLAUD et J.C. LE COUPIL (1971)
« Le milieu du HAUT CHELIF et ses implications agronomiques ». Bul. des Rech. Agron. de Gembloux - Semaine d'étude des problèmes méditerranéens - vol. Hors série p. 175.
- CORDIER B. (1965).
L'analyse factorielles des correspondances. Thèse de 3ème cycle. Rennes 66 p. (multigraphié).
- R. GRAS (1971).
L'utilisation de l'enquête globale pour l'approche d'un problème, agronomique régional.
Séminaire « Fertilisation et Développement » - I.N.A. El-Harrach Ed.
- S. HENNIN - R. GRAS - G. MONNIER (1969).
« Etats physique du sol et ses conséquences agronomiques » Le Profil Cultural Masson Ed.
- L. LEBART et FENLLON J.P. (1971).
Statistique et informatique appliquées Dunod. Paris 426 p.
- J.C. LEGOUPIL (1971).
Les besoins en eau des cultures dans le Haut Chélib. Bul. des Rech. Agron. de Gembloux - Semaine d'étude des problèmes méditerranéens - Vol. hors Série p. 254.
- J. LUNIN - M.H. GALLATIN et A.R. BATCHELDER (1963).
Saline irrigation of several vegetal crops and various growth stages effect of yields. Agronomy Journal n° 2 - Vol. 55 p. 107.

J. LUNIN - M.H. GALLATIN (1965)

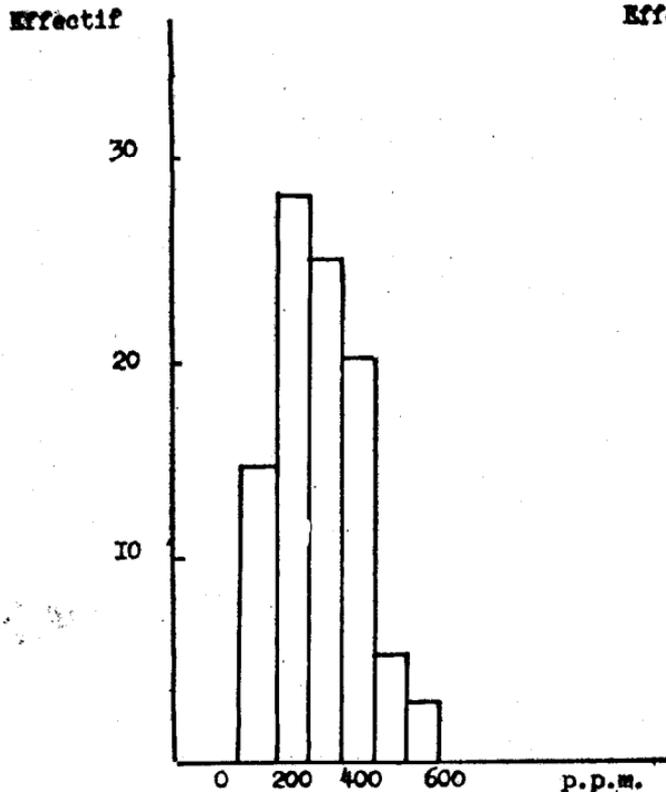
Salinity fertility interaction in relation to the growth and composition of beans - I. Effect of N.P. and K - II. Varying level of N and P. Agronomy Journal 57 p. 339 - 345.

A. ULTRICH - D. RIRIE - J. RILLS - A.G. GEORGE - M.D. MORSE (1959).

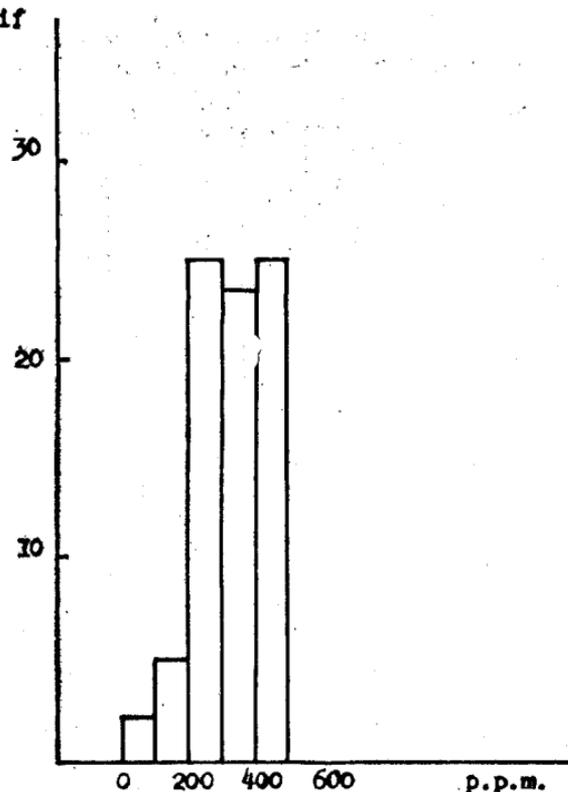
Plant analysis - a guide for sugar beet fertilization Univ. Calif. Agr. Exp. Stat. Bul. 766 I - 23.

J. VAN HOORN (1971).

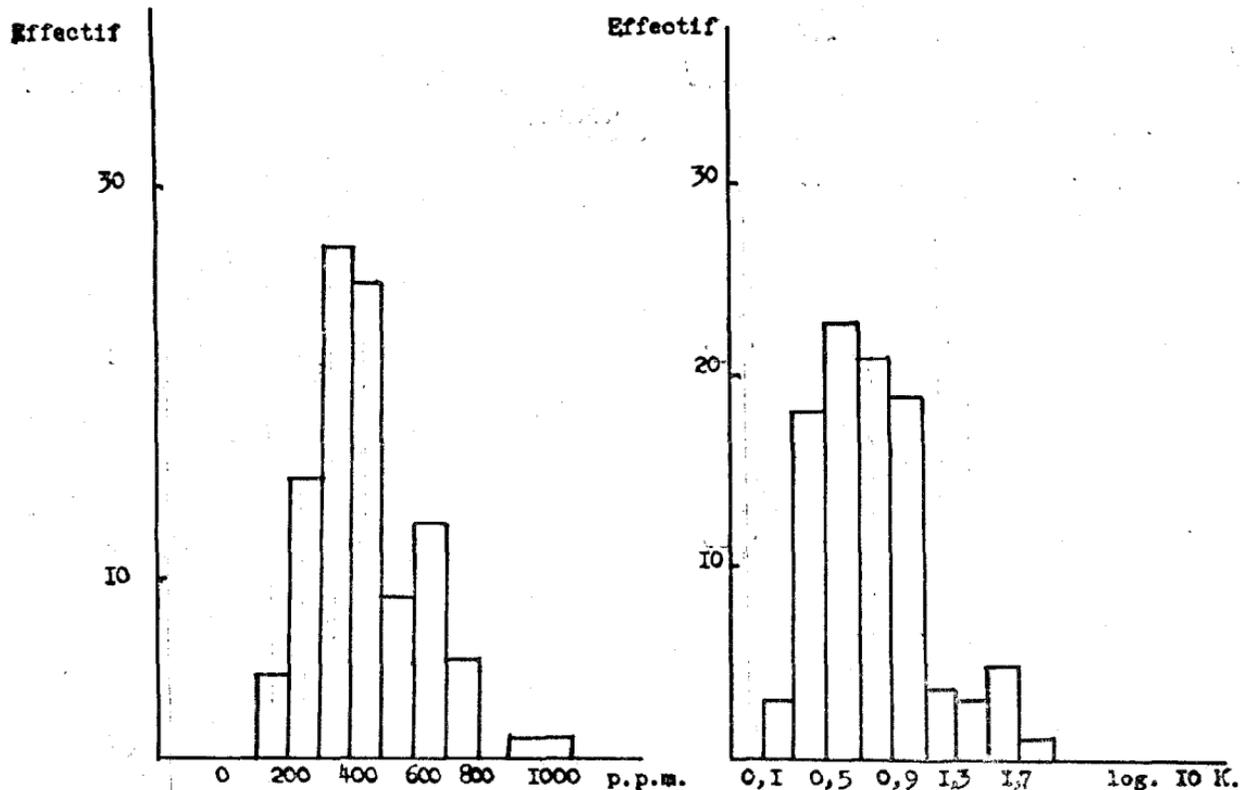
Irrigation par eau saumâtre - Synthèse des travaux du CRUESI. Bul. des Rech. Agron. de Gembloux - Semaine d'étude des problèmes méditerranéens Vol. Hor série p. 203.



Histo. 1 : Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneurs en Na des sols.



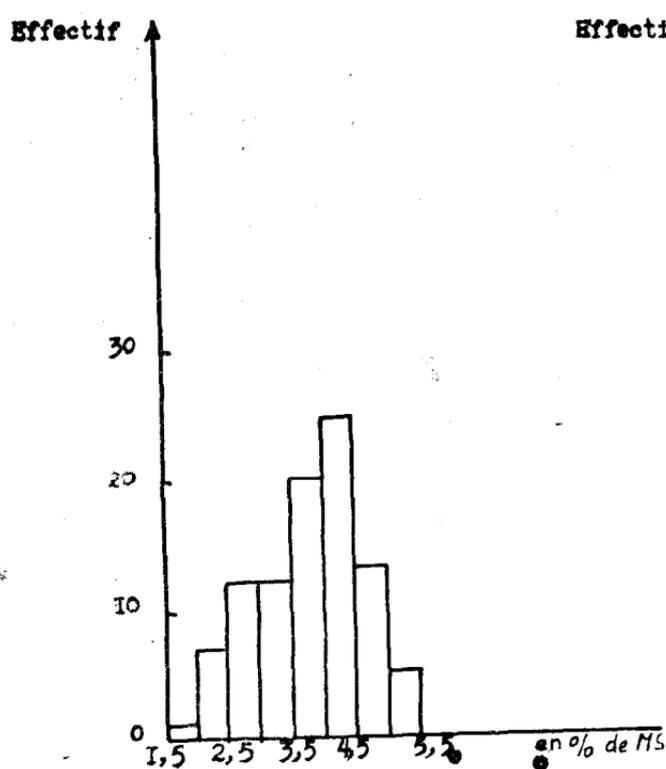
Histo. 2 : Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneurs en K des sols.



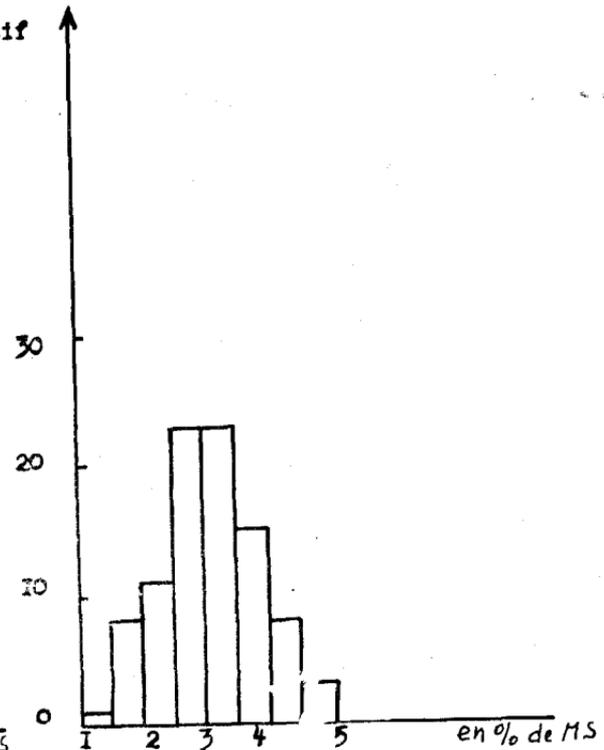
Histo. 3 : Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneurs en Mg des sols.

Histo. 4 : Répartition des effectifs dans les différentes classes de perméabilité des sols.

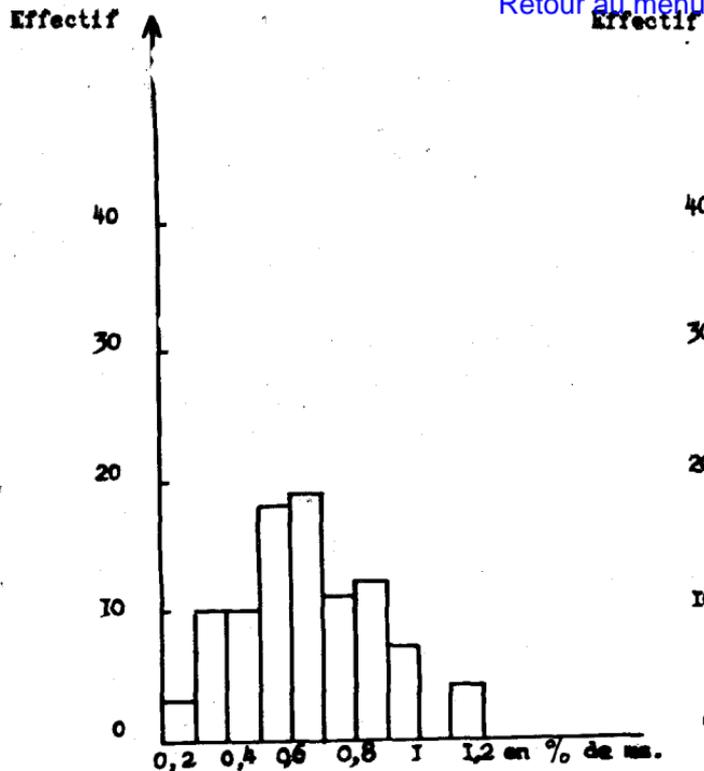
FIG. I: Résultats des Analyses de Sol (éléments échangeables).



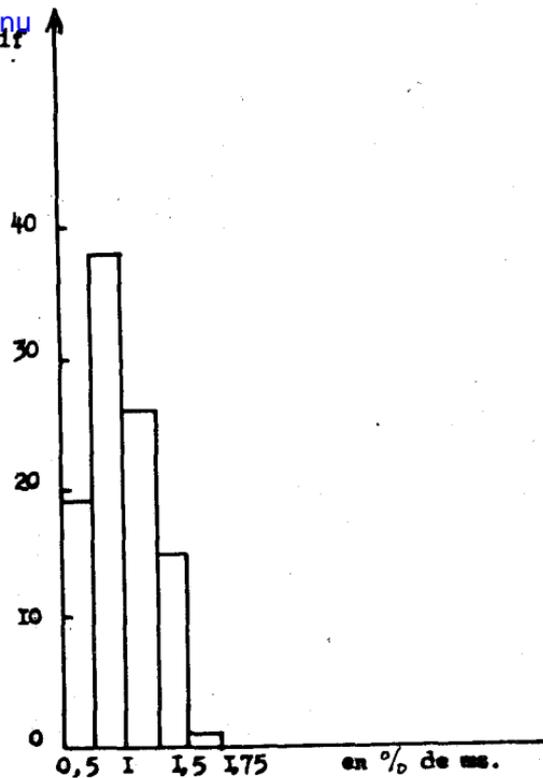
Histo 1: Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneurs en Na des feuilles.



Histo 2: Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneur en K des feuilles.

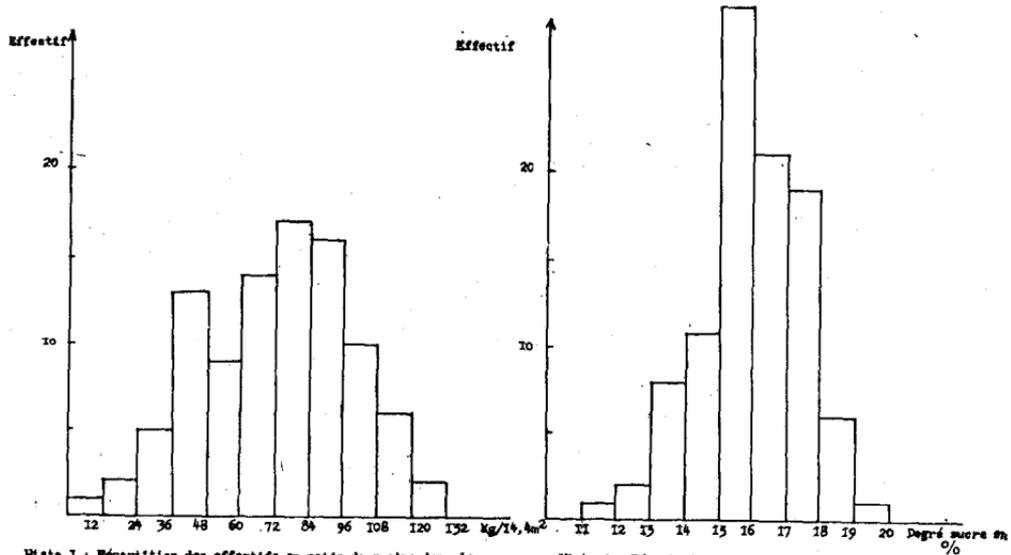


Histo 3: Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneurs en Mg des Feuilles.



Histo 4: Répartition des effectifs dans les différentes classes de teneurs en Ca des Feuilles.

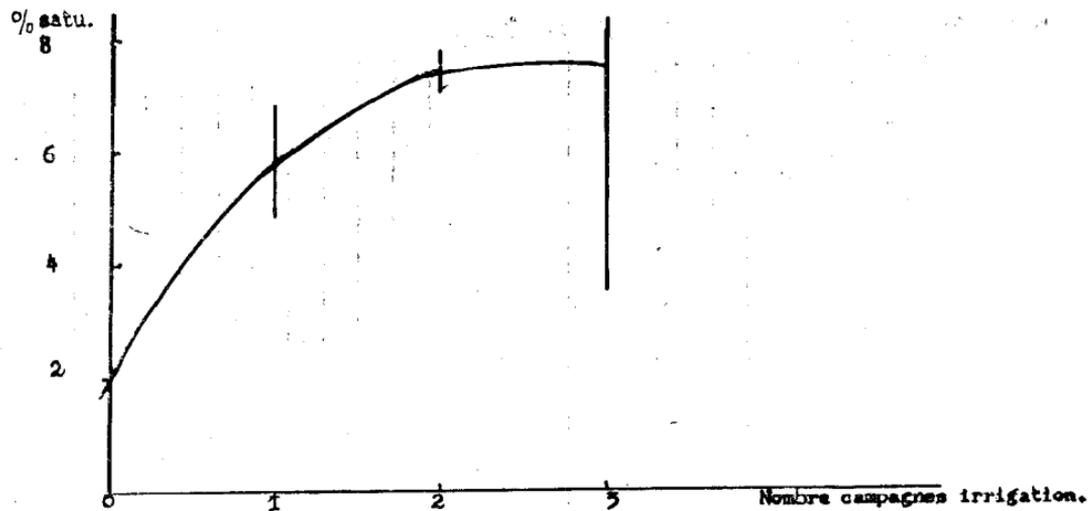
FIG.: Résultats des Analyses de Feuilles.



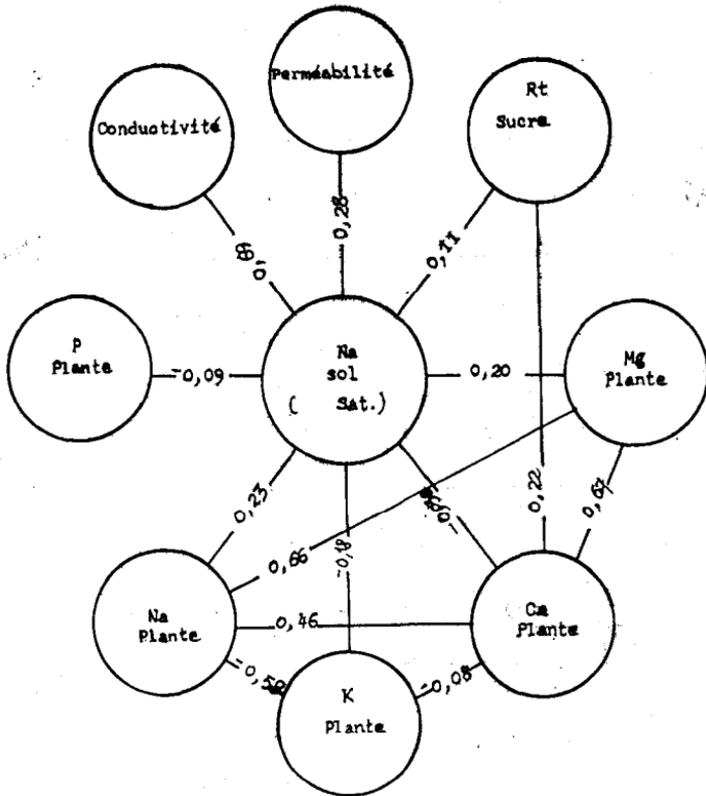
Histo 1 : Répartition des effectifs en poids de racine dans les différentes classes de rendement.

Histo 2 : Répartition des effectifs en fonction des teneurs en sucre dans les racines.

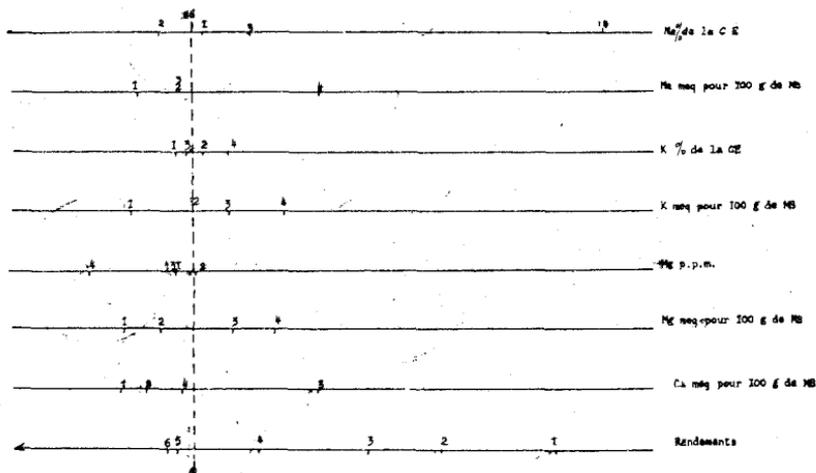
FIG. 2: ETUDE DES RENDEMENTS.



SCHEMA I : Accumulation du Sodium en Fonction du nombre de campagnes d'irrigation.



SCHEMA 2 : Représentation des différentes corrélations calculées entre facteurs.



1,2,3,4,5,6 : classes des rendements en sucre (par parcelles) croissantes

1,2,3,4 : classes des teneurs en éléments minéraux (dans les sols et dans les plantes) croissantes

C E : capacité d'échange

q : centre de gravité du solide

SCHEMA 2 : Projection des différentes classes des valeurs en Na, K, Mg, Ca sur l'axe des rendements.