

ETUDE GLOBALE DE LA CULTURE DE LA BETTERAVE SUR LE PERIMETRE DU HAUT CHELIFF

par A. P. CONESA - P. CAZES - R. TOMASSONE - P. BAILLON - D. HADJ-MILOUD -
C. MAGINIEAU - G. LEMAIRE

PLAN

1. *La région étudiée. Méthodologie de l'enquête.*

1.1. Le périmètre de mise en valeur du Haut Chélif

1.1.1. Morphologie.

1.1.2. Climatologie.

1.2. Méthodologie.

1.2.1. Echantillonnage.

1.2.1.1. Observations en plein champ.

1.2.1.2. Mesures en laboratoire :

- analyses de sols,
- analyses de feuilles.

1.2.1.3. Collecte des données au niveau des domaines.

1.2.2. Dépouillement.

1.2.2.1. Mise en forme des résultats.

1.2.2.2. Relations variables 2 à 2 :

- corrélation,
- table de contingence,
- densité et indice de dispersion.

1.2.2.3. Analyses multivariées :

- régression multiple usuelle,
- régression pas à pas,
- régression sous contrainte positive.

2. *Résultats et discussion.*

2.1. Présentation des variables.

2.2. Liaison entre variables.

2.3. Résultats des analyses en régression multiple.

2.3.1. Régression progressive.

2.3.2. Régression multiple usuelle et régression sous contrainte positive.

2.3.2.1. Variables milieu.

2.3.2.2. Variables plantes.

2.3.2.3. Ensemble des variables.

- 2.4. Examen des principales variables.
 - 2.4.1. Les betteraves non marchandes.
 - 2.4.2. La compétition intraspécifique:
 - densité,
 - indice de dispersion.
 - 2.4.3. La durée de végétation.
 - 2.4.4. L'irrigation.
 - 2.4.5. La salinisation.
 - 2.4.6. Le phosphore.
 - 2.4.7. Le bore.

3. *Conclusions.*

4. *Bibliographie.*

A la demande du Commissariat chargé de la mise en valeur du Haut Chélif, le laboratoire d'Agriculture de l'I.N.A. d'El-Harrach, a entrepris une étude globale de la production de betterave à sucre sur le périmètre.

Les objectifs du plan de développement prévoient une extension de cette culture destinée à satisfaire, en partie, les besoins de l'Algérie (240.000 tonnes de sucre en 1970) tout en augmentant l'emploi de la main d'oeuvre.

La mise en valeur de la plaine du Haut Chélif s'est organisée au moment de la mise en place du réseau d'irrigation et de la sucrerie à Sidi Lakdar, près de Khemis-Miliana. Cette usine peut traiter 150.000 tonnes de racines par an. La production du périmètre de mise en valeur, 70.000 tonnes de racines en moyenne, alimente partiellement l'usine.

Les rendements en grande culture sur le périmètre sont, avec des moyennes de 25 t/ha de racines, encore éloignées des résultats obtenus expérimentalement à la station agronomique de l'INRAA d'El-Khemis. Celle-ci obtient en moyenne 65 tonnes de racines/ha. Il existe toujours un décalage entre les performances d'essais réalisés dans des conditions optimum et les résultats « de la production ». La connaissance des facteurs du milieu qui limitent les rendements permet de corriger la situation et de réduire l'écart des résultats en grande culture avec les potentialités révélées par l'expérience. Plusieurs facteurs (liés au milieu, aux techniques) expliquent les variations de rendements qu'on peut constater sur le périmètre. Pour étudier un tel système multidimensionnel (GRAS, 1971), pour apprendre l'ensemble des facteurs et leurs interrelations, on est donc conduit à adopter une démarche globale.

Le recueil des données, par voie d'enquête, fournit une masse de variables quantitatives et qualitatives, dont le traitement statistique simultané n'est pas aisé (GRAS *et al.*, 1971).

Notre étude se fixait plusieurs objectifs :

- sur un plan pratique, essayer de répondre, au moins partiellement, aux problèmes que se posent les responsables techniques du périmètre de mise en valeur ;

- sur un plan méthodologique, tenter une approche globale de la culture à l'aide de méthodes statistiques nouvelles, en particulier il s'agissait de traiter simultanément les variables quantitatives et qualitatives ;

- sur un plan pédagogique, notre laboratoire ayant une fonction d'enseignement, promouvoir des méthodes pédagogiques actives permettant d'associer les étudiants au processus de développement.

L'enquête sur le terrain a eu lieu pendant la campagne 1970-1971, le traitement statistique en 1971-1972, les recherches sectorielles complémentaires en 1972-1973.

1. LA REGION ETUDIEE. METHODOLOGIE DE L'ENQUETE.

1.1. LE PERIMETRE DE MISE EN VALEUR DU HAUT CHELIFF.

La culture de la betterave a été implantée dans la plaine d'El-Khemis qui se trouve à 120 km au Sud-Ouest d'Alger. Cette plaine, située à 300 m d'altitude, est traversée d'Est en Ouest, par l'Oued Chélif.

1.1.1. *Morphologiquement.*

La plaine du Haut Chélif peut être subdivisée en 4 grandes unités :

- lit majeur du Chélif et de ses affluents ;
- plaine proprement dite, constituée par une terrasse récente ;
- cône de déjection de l'Oued, formant des glacis d'accumulation ;
- terrasse et portion d'ancien glacis.

La plaine proprement dite, unité morphologique la plus vaste, est formée par des sols peu évolués ou brun calcaire qui peuvent être vertiques. Les sols rouges méditerranéens se rencontrent sur les terrasses et les portions d'anciens glacis.

1.1.2. *Climatologie.*

Le bassin du Haut Chélif, coupé de l'influence tempérée de la mer par la chaîne du Dahra, possède un climat méditerranéen à caractère continental accentué.

Sur la fig. 1, nous avons représenté les principales caractéristiques climatiques. Les périodes de végétation les plus favorables sont courtes et l'on passe rapidement des froids hivernaux avec minima très bas, aux chaleurs de l'été

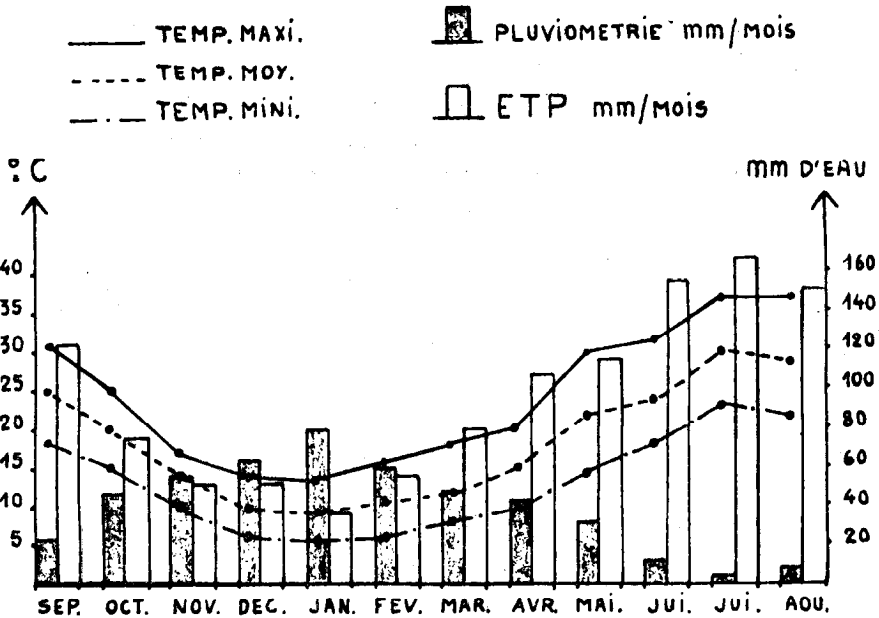


Figure 1. - Moyennes climatiques régionales.

avec maxima excessifs, ce qui diminue la période de végétation active de la betterave.

Les déficits hydriques, estimés à partir de la différence: $P - ETP$, sont couverts en partie par l'irrigation avec l'eau du barrage du Ghribs. En 1970, 5.000 ha environ étaient irrigués.

1.2. METHODOLOGIE.

1.2.1. L'échantillonnage.

Les données collectées portaient sur une station de 14,4 m², c'est à dire que nous avons retenu la méthode utilisée par GRAS *et al.*, 1971.

La constitution de l'échantillonnage pose un problème ardu lié à l'antagonisme entre la nécessité de prendre en compte un grand nombre de points d'observation (sécurité statistique) et les moyens (temps en particulier) dont on dispose pour effectuer ces observations.

L'enquête ayant pour objectif d'expliquer les différences de rendements

observés sur le terrain, nous avons effectué une stratification de l'échantillon de manière que soient représentés :

— les grands types de sols du périmètre en prenant pour base la carte pédologique de la région établie par BOULAIN (1956);

— les différentes classes de rendements. Ne pouvant prévoir ces rendements, nous avons tenu compte, pour constituer notre échantillon, des rendements en betterave obtenus sur les exploitations les années précédentes l'enquête;

— les divers précédents de la betterave (blé, fourrages, betteraves, etc.).

L'ensemble des observations a porté sur 95 stations réparties à travers le périmètre.

1.2.1.1. Observations en plein champ sur les stations.

L'observation du sol en profondeur et de l'enracinement de la betterave est précieuse pour l'étude des effets du travail du sol et des accidents structuraux sur l'enracinement. Ces observations sont cependant délicates et compte tenu du grand nombre d'observateurs (étudiants), nous avons obtenu des résultats hétérogènes difficiles à traiter. Cependant, au moment de la récolte, nous avons compté le pourcentage de betteraves fourchues. Ces données révèlent, en partie, l'effet des accidents structuraux sur l'enracinement. Nous avons également compté, sur les stations, les betteraves non marchandes (< 45 mm) qui dépendent partiellement de la structure du sol, enfin la longueur des racines a été mesurée et répartie en 3 classes :

1) (< 10 cm);

2) (10-15 cm);

3) (> 15 cm).

— Pour tenter d'apprendre *la compétition interspécifique* nous avons, du 1-er au 15 avril, essayé de caractériser le degré de salissement des stations (très sale, peu sale, propre). Nous avons complété cette première observation par une pesée des mauvaises herbes prélevées à la périphérie des stations (pesée effectuée le 10 juin, sur une surface de 4 m²).

— La mesure de la densité linéaire et le calcul de l'indice de dispersion des betteraves sur la station nous ont permis de caractériser la compétition intraspécifique.

— Sur l'asperseur le plus proche de la station, nous avons mesuré la pression réelle afin d'apprécier les pluviométries horaires et les quantités d'eau apportées sur les stations. Cette appréciation a été complétée par une mesure

de l'humidité (un jour avant et un jour après irrigation) des horizons :

(0-10 cm);

(10-30 cm);

(30-50 cm).

Nos résultats représentent la moyenne de 2 prélèvements effectués en 2 points de la station.

— En 1971 la seule attaque parasitaire importante était celle de la casside. Nous avons noté sur chaque station le degré d'infestation (pas d'attaque, faible attaque, forte attaque).

— Les rendements en racines à la récolte ont été mesurés un rang sur deux, soit sur 7,2 m², puis ramenés à 14,4 m².

1.2.1.2. Mesure en laboratoire.

a) *Les échantillons de sols destinés à l'analyse physico-chimique*, ont été constitués à partir de 4 prélèvements par station effectués entre 0 et 30 cm en mars 1971.

Sur ces échantillons ont été pratiqués :

— l'analyse granulométrique (dispersion par un appareil à ultra son des particules du sol et prélèvements à la pipette Robinson);

— la mesure de l'humidité équivalente en laboratoire. Après saturation en eau, les échantillons sont soumis à une force centrifuge de 1000 g pendant 30 minutes. Après centrifugation, on mesure l'humidité;

— l'azote total a été dosé après minéralisation de l'azote organique. (Méthode Kjeldahl);

— la capacité d'échange a été évaluée par la méthode à l'acétate d'ammonium;

— le phosphore assimilable a été évalué par la méthode JORET-HEBERT (1955);

— les tests de stabilité structurale et de perméabilité ont été pratiqués sur des échantillons de sol prélevés spécialement sur chaque station (0-15 cm).

b) *L'analyse foliaire* a été effectuée sur des échantillons prélevés 170 jours après la levée. 60 limbes foliaires de betteraves ont été prélevés sur chaque station, en choisissant des feuilles intermédiaires entre les jeunes feuilles et le verticille extérieur, selon la méthode d'ULRICH *et al.* (1959), les dosages ont été effectués sur la solution de reprise des cendres par HNO₃, après calcination à

500 °C des limbes lavés à l'eau distillée, séchés à 105 °C, puis broyés :

- K et Na ont été dosé par photométrie d'émission;
- Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, par photométrie d'absorption atomique;
- le phosphore a été dosé sur la solution de reprise des centres par colorimétrie du complexe phosphovanado molybdique à 4200 Å;
- le bore a été dosé par colorimétrie;
- le taux de sucre est dosé par saccharimétrie après défécation à l'acétate de plomb, agitation pendant 3 minutes et filtration.

1.2.1.3. Collecte de données au niveau des domaines.

L'examen du calendrier de travail du sol, de dépouillement des fiches de paie, l'interview des agents techniques betteraviers, des chefs betteraviers, dans les domaines nous ont permis de compléter notre information.

- Nature du précédent de la culture.
- Date de pré-irrigation, si nécessaire.
- Date de labour.
- Date de semis, variétés.
- Date de première irrigation.
- Date du premier binage.
- Date de démariage.

1.2.2. *Dépouillement.*

1.2.2.1.

Les histogrammes représentent une première mise en forme des résultats, pour toutes les variables, nous avons calculé les valeurs moyennes et les écarts-types.

1.2.2.2.

Pour étudier les relations des variables 2 à 2 nous avons calculé :

- les coefficients de corrélation de PEARSON pour les variables quantitatives;
- dans le cas des variables qualitatives, nous avons établi les tables de contingence et calculé les tests χ^2 ;
- dans certains cas ces données ne suffisent pas. La densité moyenne des betteraves par station ne donne qu'une idée approximative de la compéti-

tion intraspécifique; en effet on peut obtenir une même densité pour des betteraves distribuées régulièrement ou au contraire irrégulièrement.

C'est pourquoi nous avons complété l'appréciation de la densité par l'indice de dispersion I_D .

$$I_D = \frac{\sigma^2}{\bar{x}}$$

où σ^2 représente la variance et \bar{x} la moyenne du nombre de betteraves au mètre.

L'indice I_D (GREIG-SMITH, 1964) rend bien compte de notre problème:

- 1) Si $I_D > 1$ on a une distribution contagieuse.
- 2) $I_D = 1$ la distribution des betteraves est aléatoire, c'est à dire que le démariage n'a pas été bien fait.
- 3) Au contraire si $I_D < 1$ la distribution est plus régulière et correspond à un faible niveau de variabilité du nombre de plantes par mètre.
- 4) Si $I_D = 0$ la population est parfaitement régulière.

1.2.2.3. Analyse multivariée.

Deux types de méthodes d'analyses multivariées ont été utilisés pour traiter les données: les méthodes de régression et l'analyse factorielle des correspondances.

Dans ce premier article, nous ne traiterons que des résultats obtenus à partir des méthodes de régression.

Pour tenter « d'expliquer » les rendements, nous avons retenu les variables suivantes:

- 1) pourcentage de betteraves fourchues;
- 2) pourcentage de betteraves non marchandes;
- 3) densité de betteraves au mètre carré;
- 4) σ^2/\bar{x} indice de dispersion;
- 5) durée de végétation en jour;
- 6) nombre de jours entre semis et démariage;
- 7) déficit de pression aux asperseurs

$$\frac{(P.\text{théorique} - P.\text{réelle} \times 100)}{P.\text{théorique}}$$

- 8) humidité équivalente du sol;
- 9) quantité d'eau (apport par l'irrigation);
- 10) azote total du sol;

- 11) phosphore du sol;
- 12) pourcentage de saturation en Na du complexe dans le sol;
- 13) azote dans la plante en % de M.S.;
- 14) phosphore dans la plante en % de M.S.;
- 15) potassium dans la plante en % de M.S.;
- 16) sodium dans la plante en % de M.S.;
- 17) magnésium dans la plante en % de M.S.;
- 18) calcium dans la plante en % de M.S.;
- 19) rapport argile sur limon du sol;
- 20) indice de stabilité structurale;
- 21) perméabilité (test HENIN *et al.*, 1969);
- 22) agrégats stables au benzène % (test HENIN *et al.*, 1969);
- 23) teneur en bore des feuilles en ppm.

Comme le souligne DEFFONTAINE et GRAS (1968), les variables plantes, que nous avons soulignées sur la liste ci-dessus, prennent en compte une partie de l'action du milieu. Ce qui nous a conduit à effectuer plusieurs traitements: le premier relatif aux variables du milieu, le second aux variables plantes, le troisième à l'ensemble des variables.

En ce qui concerne la nutrition, les quantités de K, Ca, Mg, et Na, que l'on trouve dans les feuilles, proviennent du sol mais aussi de l'eau d'irrigation apportée par aspersion.

Pour étudier les variables nous avons utilisé outre la régression simple, la régression multiple usuelle, la régression progressive et la régression sous contrainte.

Rappelons que dans ces méthodes de régression, on cherche à expliquer une variable y , ici le rendement, en fonction d'un certain nombre de variables x_1, x_2, \dots, x_p , à l'aide d'une formule de la forme.

$$(1) \quad y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_p x_p + e = y^* + e$$

ou $y^* = \sum a_i x_i$ est la valeur approchée (ou reconstituée), de y et e le résidu, c'est à dire, la partie de y non expliquée par les x_i .

a) Dans la régression multiple usuelle, les variables y, x_1, x_2, \dots, x_p sont centrées et les coefficients a_1, a_2, \dots, a_p , sont déterminés de façon à minimiser la variance du résidu. Le carré du coefficient de corrélation multiple qui est, rappelons-le, le rapport de la variance de la partie y^* de y expliquée par les x_i à la variance de y , permet de se rendre compte de la qualité de l'ajustement.

On sait que lorsque le nombre de variables explicatives augmente et devient grand, ou si ces variables sont très corrélées, la régression usuelle devient mau-

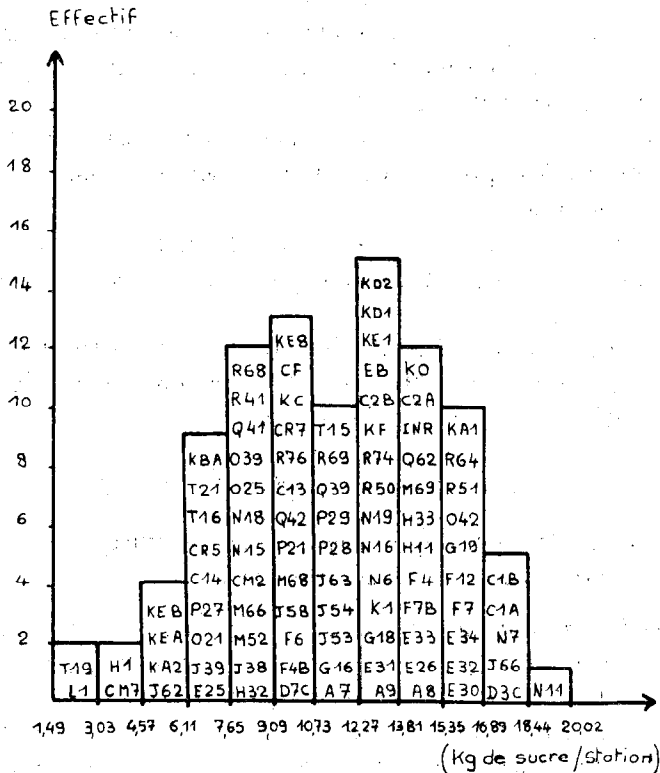
vaie, la reconstitution de y à l'aide de la formule (1) pouvant devenir illusoire :

— soit par suite du trop grand nombre de variables explicatives; à la limite, s'il y a autant de variables explicatives que d'observations, on obtient sur l'échantillon étudié une reconstitution exacte de y même si y est indépendant des x_i ;

— soit par suite de termes a_i , x_i élevés en valeur absolue et de signe contraire, donc se retranchant. Ceci se produit quand les x_i sont très corrélés. A la limite, si deux variables explicatives sont parfaitement liées, c'est à dire si elles ont le coefficient de corrélation égal à 1 en valeur absolue, par exemple $x_1 = x_2$, la formule 1 devient indéterminée.

Pour palier, dans ces cas, ces défauts de la régression classique, on peut utiliser une méthode de régression progressive ou une méthode de régression sous contrainte.

b) *La régression progressive ou régression pas à pas.* Dans cette méthode (DRAPER et SMITH, 1966), on introduit les variables une par une: la première variables



HISTOGRAMME: Rendement en sucre par station.

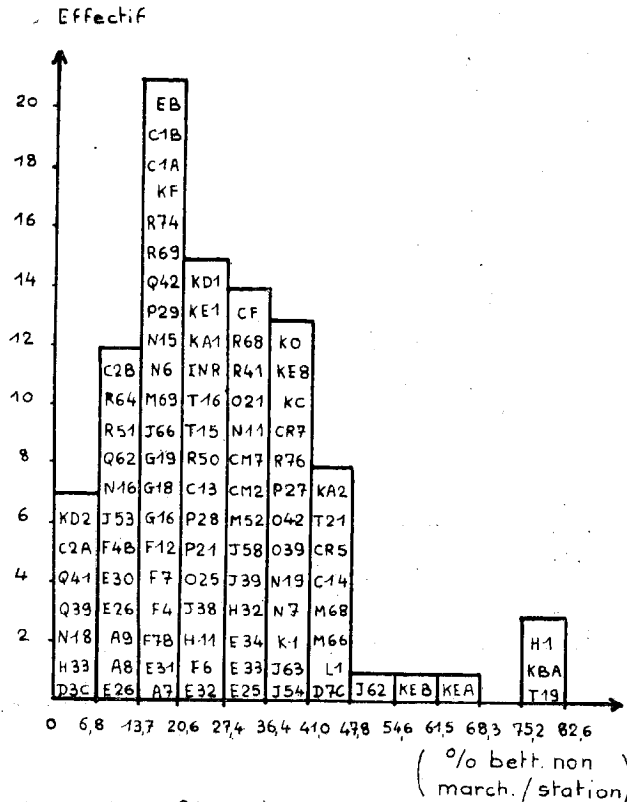
Figure 2. - Rendement en sucre par station.

introduite, disons: x_1 , pour fixer les idées, est celle qui fournit la meilleure explication du rendement y , c'est à dire, celle qui a le coefficient de corrélation multiple, le plus élevé. La seconde variable introduite est celle qui, avec la première variable sélectionnée x_1 , donne le coefficient de corrélation multiple le plus élevé.

Pour l'obtenir on calcule l'équation de régression (qui comporte 2 termes) et le coefficient de corrélation multiple obtenu en prenant chaque variable (autre que x_1) et x_1 , et l'on sélectionne la variable qui permet le meilleur ajustement.

Le processus se poursuit jusqu'à ce que toutes les variables soient introduites, auquel cas on retombe sur la régression multiple usuelle. A chaque palier, on teste la signification de la nouvelle variable introduite et celle de toutes les variables apparues avant elle dans l'équation.

Si l'on considère l'ensemble des liaisons entre les x_i , les x_i conservés sont liés aux rendements mais il est possible que des variables soient rejetées parce qu'une



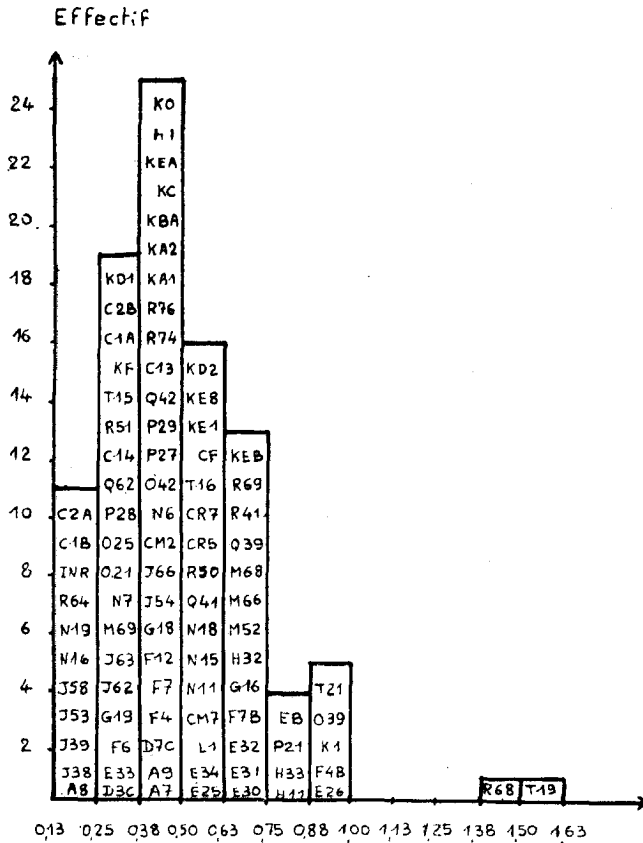
HISTOGRAMME : % de betteraves non marchandes par station

Figure 3. - P 100 de betteraves non marchandes par station.

partie de leur effet sur le rendement est pris en compte par une ou plusieurs autres variables retenues (DECOURT *et al.*, 1969, DEFFONTAINE et GRAS, 1968).

Quoique ne figurant pas dans l'équation de régression obtenue ces variables pourront donc intervenir indirectement sur les rendements. Dans ce cas, l'examen des corrélations entre les x_i nous permettra de nuancer nos conclusions. Cette méthode de régression est particulièrement bien adaptée au cas où l'on a un grand nombre de variables explicatives.

c) *La régression sous contrainte.* Dans cette méthode on impose aux coefficients, de régression a_i , de la formule (1) d'être positifs, c'est à dire qu'on essaye de reconstituer le rendement de y à l'aide d'une somme de termes $a_i x_i$ positifs, les variables intervenant dans l'étude du rendement étant des variables essentiel-



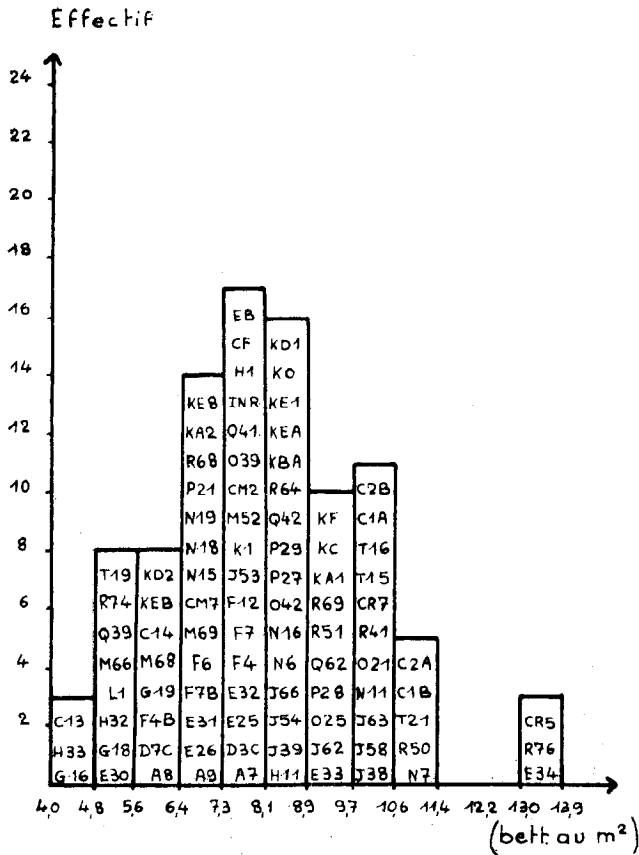
HISTOGRAMME : Indice de dispersion $\left(\frac{\sigma^2}{\bar{x}}\right)$

Figure 4. - Indice de dispersion.

lement positives, on ne prend donc en compte que les variables influençant positivement le rendement.

Comme dans la régression classique, on définit la quantité R^2 qui est l'analogue du carré du coefficient de corrélation multiple et qui n'est autre que le pourcentage de la variation totale de y que l'équation de régression permet d'expliquer, l'on définit de même le résidu $S^2 = 1 - R^2$ qui n'est autre que le pourcentage de la variation totale de y non expliquée et c'est cette quantité que l'on minimise moyennant les contraintes de positivité de a_i (en régression usuelle on minimise cette quantité sans imposer de contrainte $a_i > 0$).

Le fait de reconstituer y à partir de contributions positives de même sens évite une reconstitution illusoire à l'aide de termes élevés et de sens contraire, ces termes étant dûs, comme on l'a noté plus haut, à des variables très corrélées, on diminue donc l'effet de liaisons entre les variables explicatives, mais il peut subsister



HISTOGRAMME : Densité de betteraves au m²

Figure 5. - Densité de betteraves au m².

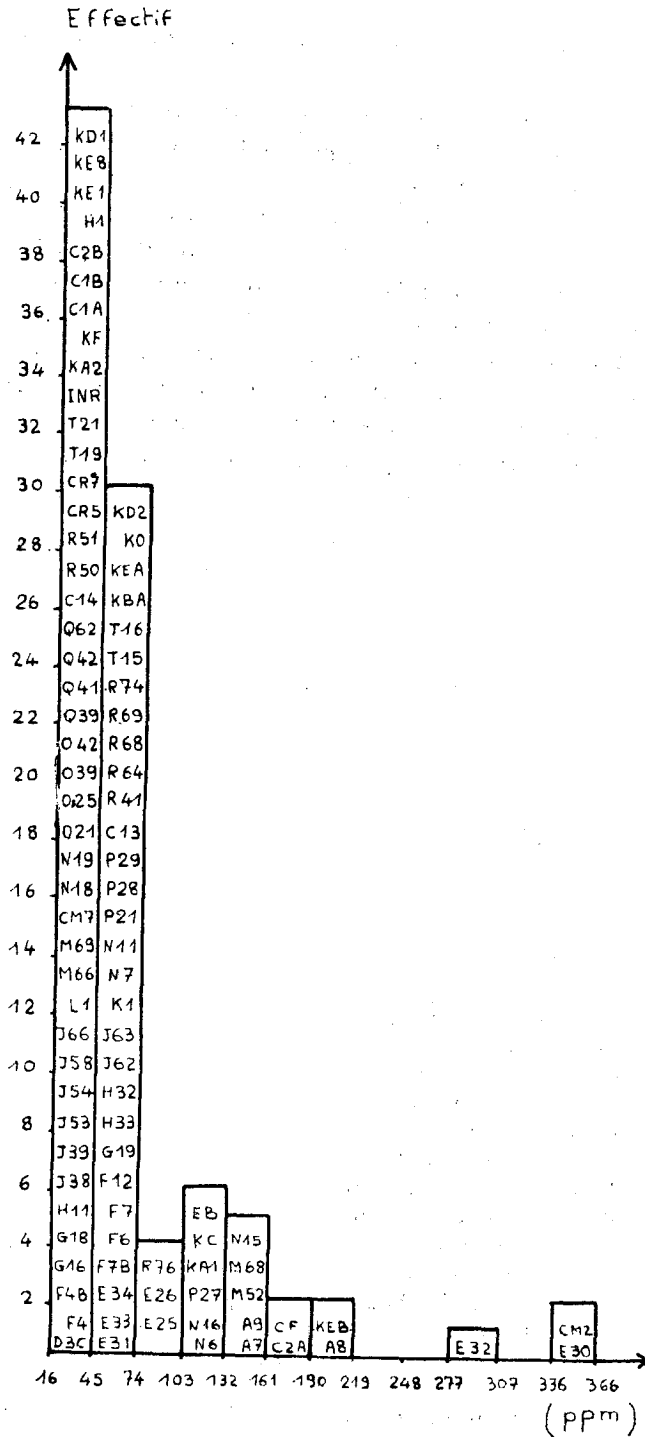
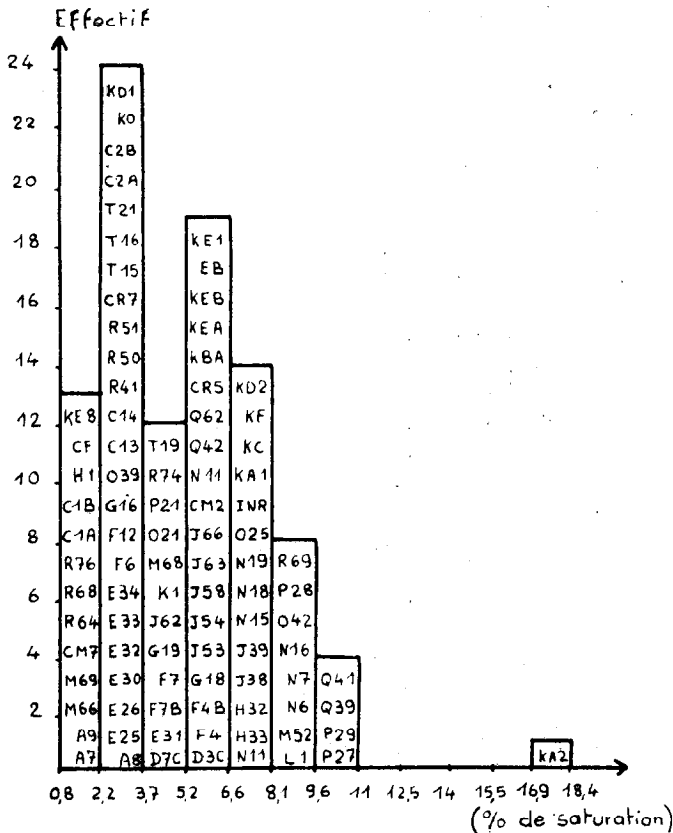


Figure 6. - Phosphore dans le sol.

un effet de masque (cet effet étant moins important que dans la régression progressive), une variable liée positivement au rendement pouvant ne pas intervenir (ou peut intervenir) du fait de sa liaison avec une variable contribuant elle aussi positivement au rendement.

La régression sous contrainte est équivalente à une régression multiple particulière: la régression est faite sur les variables qui ont un coefficient de régression sous contrainte non nul, c'est à dire, strictement positif. On pourra donc, comme dans la régression usuelle ou la régression progressive, tester la signification de ces variables.

Le principal inconvénient de cette méthode, qui s'applique donc à des données positives et qui protège bien la régression contre une reconstitution illusoire du rendement y , se trouve dans son principe même: elle ne fait intervenir que les variables liées positivement au rendement et non les variables qui lui sont liées négativement.



HISTOGRAMME : Sodium dans le sol en % de saturation

Figure 7. - Sodium dans le sol.

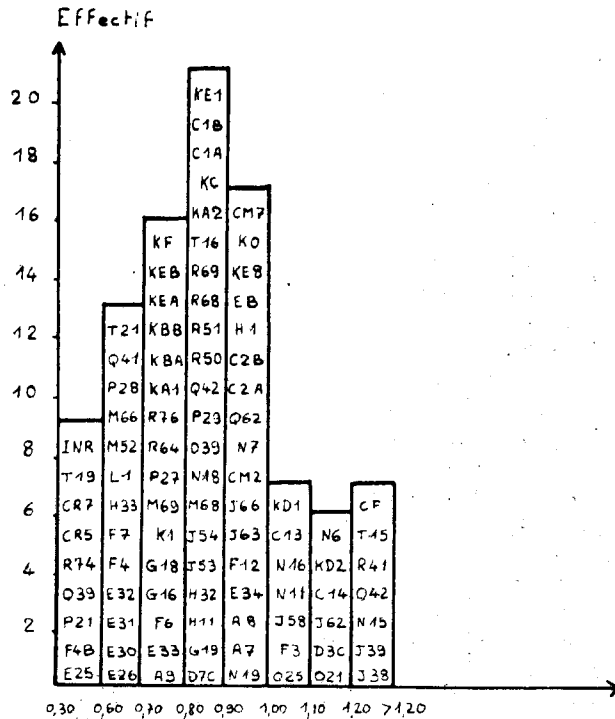
2. RESULTATS ET DISCUSSION.

2.1. PRESENTATION DES VARIABLES.

Sur les histogrammes 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, nous avons représenté la répartition des différentes stations étudiées pour les variables quantitatives importantes, celles qui apparaissent liées aux rendements comme nous le montrerons. (Certaines variables comme le phosphore n'ont pas une distribution normale). Les rendements varient de 1,49 à 20 kg de sucre par station (fig. 2).

2.2. LIAISONS ENTRE VARIABLES.

L'examen des corrélations entre les différentes variables étudiées (fig. 13) permet de mettre en lumière les relations variables-rendements ainsi que les interrelations entre variables. L'examen de ces corrélations, nous permettra de nuancer les résultats de l'analyse multivariée.



HISTOGRAMME : Quantité d'eau apportée en % de l'ETM

Figure 8. - Quantité d'eau apportée en % de l'ETM.

2.3. RESULTATS DES ANALYSES EN REGRESSION MULTIPLE.

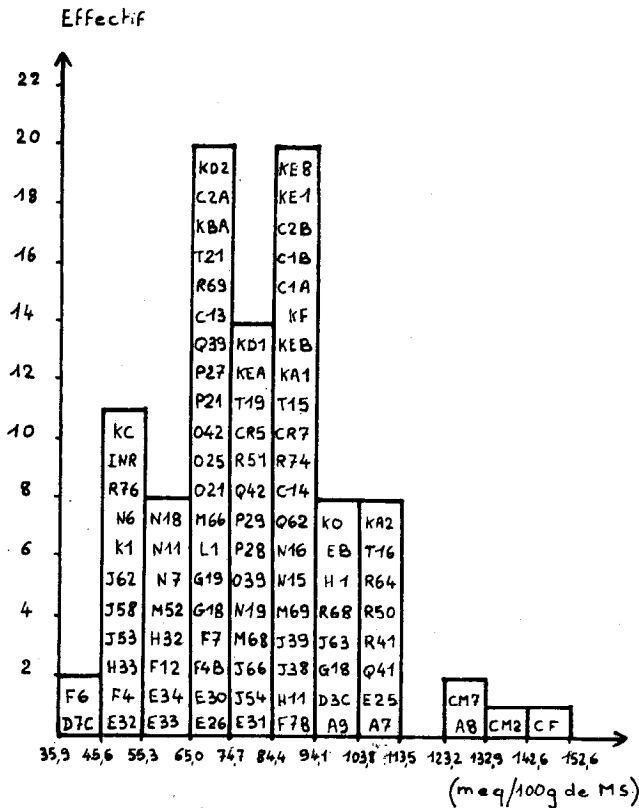
La présentation des résultats qui concernent un grand nombre de variables n'est pas chose aisée. Dans un premier temps, nous donnerons un aperçu global des résultats obtenus à l'aide des différentes méthodes, dans un deuxième temps, nous examinerons en détail les variables qui présentent une relation avec les rendements en betteraves.

2.3.1. Analyse en régression progressive.

Dans ce cas, puisque d'après le principe de la méthode, l'on introduit les variables une par une, nous avons appliqué cette technique directement sur l'ensemble des variables explicatives. Cinq variables semblent jouer un rôle prépondérant sur la fluctuation du rendement :

X_2 : pourcentage de betteraves non marchandes;

X_8 : densité de betteraves au m²;



HISTOGRAMME: Potassium dans la plante en meq/100g MS

Figure 9. - Potassium dans la plante.

X_0 : quantité d'eau apportée dans le sol;

X_{12} : % de saturation en Na du sol;

X_{23} : teneurs en bore dans les feuilles.

Les résultats de cette analyse sont résumés sur le tableau 1.

TABLEAU 1. - Résultats de la régression progressive au 5-ème palier.

X	Variables *	Coef. de régression	Ecart type	t de Student 87 ddl
2	% de betteraves non marchandes	-0,60	0,075	-8,0
3	Densité	0,256	0,075	3,41
9	Quantité d'eau	-0,212	0,076	-2,79
12	Na en % de saturation	-0,179	0,0754	-2,37
23	Bore	0,273	0,077	3,54

Coef. de corrélation multiple $R = 0,724$

* variables réduites

L'ordre d'introduction des variables dans la régression pas à pas est le suivant :

$$X_2 \quad X_3 \quad X_{23} \quad X_9 \quad X_{12}$$

tandis que l'importance de ces variables dans la régression, importance traduite par la valeur du t de Student, associée à chaque coefficient de régression, est par ordre décroissant :

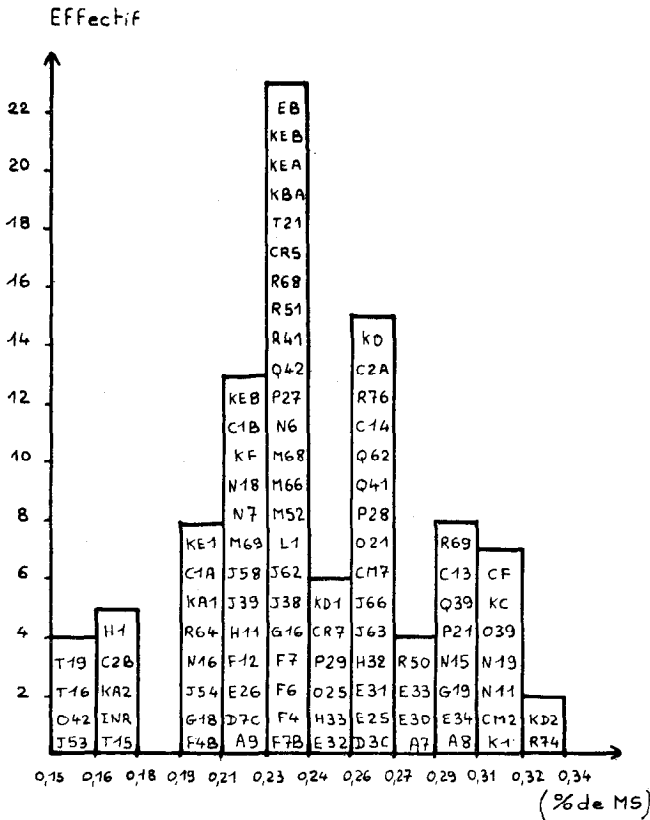
% de betteraves marchandes - teneur en bore des feuilles - densité de betteraves au m² - quantité d'eau apportée;

% de saturation en Na du sol. Les variables teneurs en bore et densité de betteraves au m² sont sensiblement équivalentes, tandis que le % de betteraves non marchandes apparaît comme très important. Chacune de ces variables est significative au seuil de 5%. Le bore et la densité agissent positivement sur le rendement alors que les 3 autres variables retenues ont une action négative.

Le coefficient de corrélation multiple passe de 0,597 pour la première variable introduite (% de betteraves non marchandes) à 0,724 après la 5-ème variable introduite (% de saturation en sodium du sol) et 0,736 après la 6-ème variable introduite (% de potassium dans la plante) qui n'est pas significative au seuil de 5%.

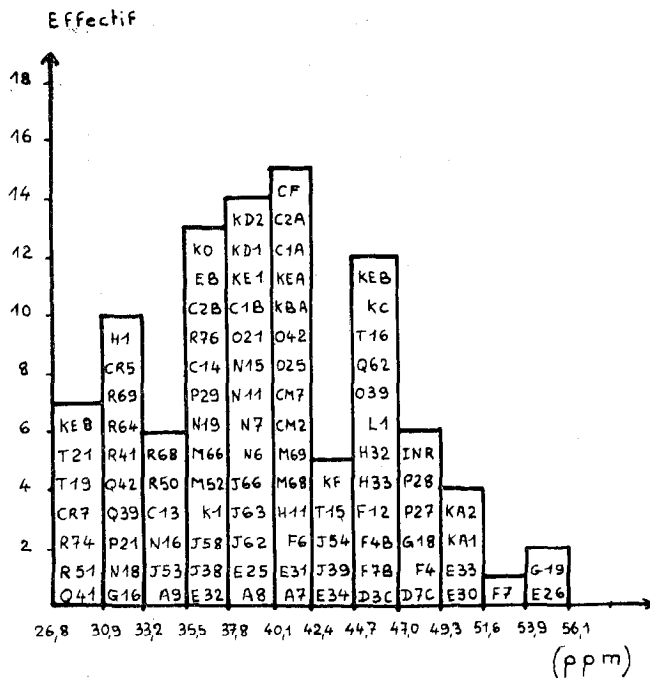
On remarque que certaines variables qui traduisent l'influence du travail du sol, par exemple le % de betteraves fourchues, n'ont pas d'effets apparents sur les rendements. Ces premières conclusions méritent d'être nuancées. Il est possible que l'influence des propriétés physiques du sol soit partiellement prise en compte par la variable % de betteraves non marchandes. L'examen des coefficients de corrélation montre que le % de betteraves non marchandes (< 45 mm) est lié à des facteurs qui expriment la compétition inter et intra-spécifique (indice de dispersion, enherbement des stations en juin) mais aussi à la texture du sol (teneur en argile).

De même le % de saturation en sodium du sol peut traduire partiellement l'effet de la structure du sol et en particulier la perméabilité. Il existe en effet, une corrélation entre la saturation du complexe absorbant en sodium et la perméabilité. Là aussi on peut penser que l'action des facteurs édaphiques est partiellement masquée par la variable % de saturation en sodium.



HISTOGRAMME : Phosphore dans la plante en % de matière sèche

Figure 10. - Phosphore dans la plante.



HISTOGRAMME : Bore dans la plante en ppm

Figure 11. - Bore dans la plante.

Pour certaines variables comme le phosphore dans le sol, les valeurs sont en général faibles et pourraient laisser présager une déficience au niveau de la nutrition phosphatée conduisant à une baisse des rendements. La régression pas à pas n'a pas mis en lumière cet effet du phosphore.

2.3.2. Analyse en régression multiple usuelle et en régression sous contrainte.

2.3.2.1. Variables milieu.

Les variables plante (% de betteraves non marchandes par exemple) pouvant masquer l'effet des variables du milieu sur les rendements, nous avons effectué un traitement séparé de ces deux types de variables.

Le tableau 2, résume les résultats obtenus pour les variables milieu. On retrouve l'influence négative, quoique faible, de la variable quantité d'eau apportée pendant une irrigation. Cet effet peut s'expliquer par une asphyxie des racines due en partie, à une mauvaise perméabilité des sols; on note en effet, un accroissement des rendements avec ce facteur; au contraire l'accumulation du sodium dans le sol (variable corrélée négativement avec la perméabilité), a un effet

TABLEAU 2. - Résultats des analyses en régression usuelle et sous contrainte positive (variable milieu).

N°	Variables	Régression usuelle			Régression sous contrainte		
		a_i	σ_i	t_i	a_i	σ_i	t_i
3	Densité	0,079	0,111	0,715			
4	$\frac{\sigma^2}{\bar{x}}$	-0,252	0,112	-2,25			
5	Durée de végétation	0,362	0,159	2,28	0,301	0,111	2,71
6	Nombre de jours semis-démariage	-0,07	0,155	-0,45			
7	$\frac{(P_t - P_R) \times 100}{P_t}$	0,097	0,114	-0,85			
8	Humidité équivalente	0,132	0,122	1,08			
9	Quantité d'eau	-0,149	0,104	-1,43			
10	N sol	0,123	0,110	1,12	0,116	0,113	1,03
11	P sol	0,157	0,104	1,50	0,145	0,105	1,38
12	Na % de saturation	-0,119	0,109	-1,08			
19	Argile/Limon	-0,006	0,143	-0,047	0,034	0,140	0,24
20	Indice de stabilité	0,097	0,139	0,07	0,062	0,139	0,45
21	Perméabilité	0,206	0,128	1,61	0,160	0,123	1,30
22	% agrégats stables (test benzène)	-0,035	0,122	-0,284	0,009	0,119	0,08
25	Poids de mauvaises herbes	-0,092	0,107	-0,86			
				$R = 0,54$		$R = 0,41$	

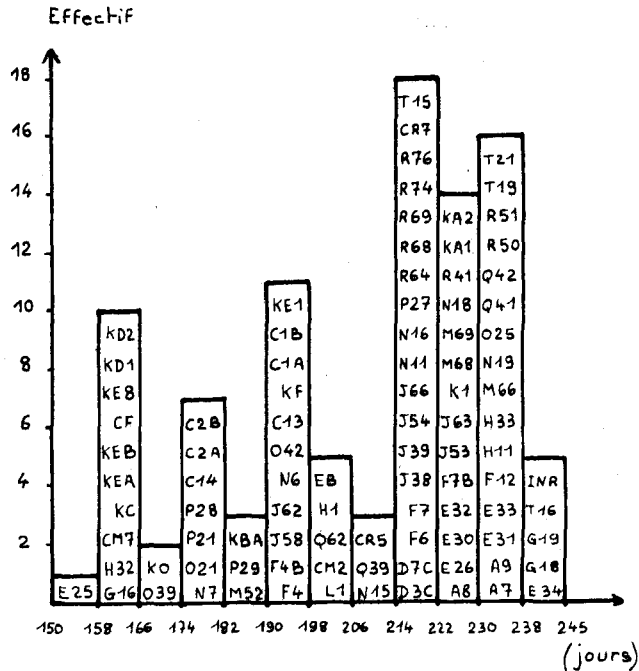
a_i = coefficient de régression de la i -ème variable x_i

σ_i = écart type de a_i

$t_i = a_i/\sigma_i = t$ de Student associé à a_i

dépressif sur les rendements. L'effet de la compétition intraspécifique apparaît à travers la relation positive densité-rendements et la relation négative indice de dispersion-rendements. L'analyse sous contrainte positive confirme l'influence des variables, durée de végétation, teneurs en phosphore, perméabilité des sols, que met en lumière l'analyse en régression multiple usuelle.

L'analyse sous contrainte positive a donc permis d'affiner l'examen des relations du milieu avec les rendements, en particulier celui des variables phosphore du sol et durée de végétation.

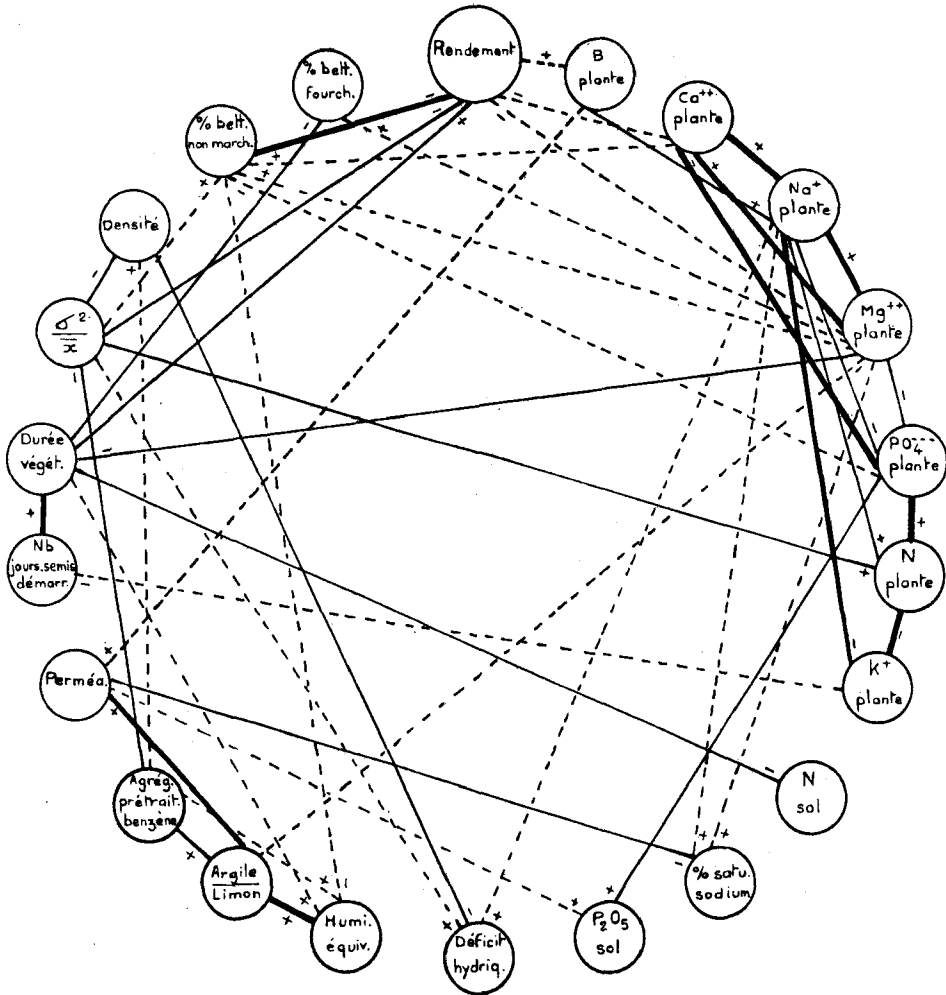


HISTOGRAMME : Durée du cycle végétatif en jours

Figure 12. - Durée du cycle végétatif.

TABLEAU 3. - Résultats des analyses en régression usuelle et sous contrainte positive (variables plantes).

No	Variables	Régression usuelle			Régression sous contrainte positive		
		a_i	σ_i	t_i	a_i	σ_i	t_i
1	% de betteraves fourchues	-0,012	0,093	-0,13			
2	% de betteraves non marchandes	-0,588	0,0915	-6,43			
13	N plante	0,019	0,117	0,17			
14	P plante	-0,015	0,108	-0,14	0,171	0,101	1,69
15	K plante	-0,232	0,115	-2,01			
16	Na plante	-0,187	0,154	-1,22			
17	Mg plante	-0,003	0,159	-0,019			
18	Ca plante	-0,010	0,133	-0,079			
23	Bore plante	0,165	0,090	1,83	0,216	0,101	2,13
24	Taux de sucre	0,052	0,091	0,57			
		$R = 0,655$			$R = 0,265$		



Seuil de probabilité	r	Représentation
0,05	0,20	-----
0,01	0,25	—————
0,001	0,34	—————

Figure 13. - Diagramme des coefficients de corrélation.

TABLEAU 4. - *Résultats de la régression usuelle et sous contrainte positive (ensemble des variables).*

N°	Variables	Régression			Régression sous contrainte positive		
		a_i	σ_i	t_i	a_i	σ_i	t_i
1	% de betteraves fourchues	0,028	0,090	0,31	0,05	0,11	0,47
2	% de betteraves marchandes	-0,55	0,090	-6,03	0		
3	Densité	0,27	0,094	2,88	0,224	0,105	2,14
4	σ^2/\bar{x}	-0,140	0,10	-1,40	0		
5	Durée de végétation	0,330	0,145	2,27	0,318	0,112	2,83
6	Nombre de jours semis-démariage	-0,171	0,128	-1,33	0		
7	$\frac{(P_t - P_R)}{pt} \times 100$	-0,013	0,095	-0,14	0		
8	Humidité équivalente	0,119	0,105	1,14	0,116	0,112	1,03
9	Quantité d'eau	-0,196	0,092	-2,144	0		
10	N du sol	0,040	0,090	0,45	0,064	0,110	0,58
11	P du sol	0,036	0,086	0,41	0,081	0,105	0,77
12	Na % de saturation	0,335	0,098	-3,40	0		
13	N plante	0,001	0,118	0,016	0		
14	P plante	-0,053	0,113	0,47	0,194	0,104	1,87
15	K plante	-0,249	0,113	-2,19	0		
16	Na plante	-0,182	0,156	-1,17	0		
17	Mg plante	0,359	0,175	2,05	0		
18	Ca plante	-0,334	0,141	-2,37	0		
19	Argile/Limon	-0,056	0,119	-0,47	0		
20	Indice de stabilité	0,141	0,116	1,22	0,079	0,127	0,62
21	Perméabilité	0,064	0,102	0,63	0,145	0,110	1,32
22	Agrégats stables au benzène	-0,049	0,099	-0,49	0,075	0,116	0,065
23	Bore plante	0,297	0,096	3,09	0,201	0,105	1,90
				$R = 0,794$		$R = 0,48$	

2.3.2.2. Variables plantes.

Les résultats portés sur la tableau 3, montrent que le % de betteraves marchandes et, à un degré moindre, le potassium de la plante ont un effet négatif sur les rendements, au contraire les rendements augmentent avec les teneurs en bore des feuilles. L'analyse sous contrainte positive, met en lumière l'effet du phosphore qui était masqué dans l'analyse usuelle.

2.3.2.3. Ensemble des variables.

Le résumé des résultats de l'analyse simultanée de l'ensemble des variables est porté sur le tableau 4.

Le coefficient R , est beaucoup plus faible dans la régression sous contrainte que dans la régression usuelle; ceci est dû au fait que l'on ne prend en compte, dans la régression sous contrainte, que les variables influençant positivement le rendement et cet effet est accentué par le fait que les variables les plus importantes (% de betteraves non marchandes et sodium dans le sol en % de saturation) ont un effet négatif sur le rendement.

Cette analyse qui confirme les résultats des traitements statistiques précédents permet d'en faire la synthèse. Sur l'ensemble des variables prises en compte, on retrouve l'effet positif:

- de la densité des betteraves au m^2 ;
 - du bore dans la plante;
 - de la durée de végétation;
 - du phosphore du sol et plus nettement du phosphore de la plante;
- tandis que:

- le % de betteraves non marchandes;
- le % de saturation en sodium des sols;
- le potassium de la plante;
- la quantité d'eau;

sont liés négativement aux rendements.

Les autres variables interviennent moins nettement, ou de façon secondaire, du fait de leur liaison à ces huit variables qui semblent les plus importantes pour expliquer le rendement, ce qui nous a conduit à les examiner dans le détail.

2.4. EXAMEN DES PRINCIPALES VARIABLES.

2.4.1. *Les betteraves non marchandes.*

La figure 3 montre que le pourcentage de betteraves non marchandes (< 45 mm) varie de 0 à 82% avec une moyenne de 27%. Les rendements sont fortement

liés à cette variable comme le révèlent les différentes analyses en régression. Cette variable apparaît liée à certaines techniques culturales (indice de dispersion lié au démariage). On note également une liaison avec l'humidité équivalente elle-même dépendante du taux d'argile et l'équilibre cationique dans le sol. Une faible conductivité de l'extrait 1/5 du sol correspond à un pourcentage de betteraves non marchandes inférieur à 20%.

2.4.2. *La compétition intraspécifique.*

a) *La densité* varie de 4 à 13,8 betteraves au m² (fig. 5). On constate que 27% des stations étudiées se trouvent dans la fourchette de 80 à 97000 pieds hectare, préconisée par les services techniques du périmètre de mise en valeur. Mais la densité ne suffit pas à caractériser le phénomène, pour une même densité on peut avoir une dispersion très différente des betteraves sur la ligne.

b) *L'indice de dispersion I_D* varie de 0,13 à 1,63 avec une valeur moyenne de 0,51 (fig. 4), on note que 30% des stations ont une dispersion assez régulière des betteraves ($I_D < 0,36$). Les stations de faible densité ont une répartition des betteraves sur la ligne irrégulière. La corrélation entre I_D et la densité est bonne $r = -0,32$. D'une façon générale la mauvaise distribution des betteraves peut s'expliquer par un mauvais démariage mais aussi par une forte mortalité des betteraves après démariage (ce qui concorde avec la relation négative entre la densité et l'indice de dispersion). On note une relation significative entre I_D et la quantité d'eau ($r = 0,33$), le pourcentage d'argile ($r = 0,22$). Un excès d'eau, un pourcentage d'argile élevé, semble provoquer une forte irrégularité de la distribution des betteraves. Cette relation peut s'expliquer par une asphyxie temporaire des racines provoquant une mortalité des jeunes betteraves après le démariage.

2.4.3. *Durée de végétation.*

Sur le Haut Chélif, la durée de végétation varie de 150 à 245 j. avec une moyenne de 207 j. (fig. 12). A El-Khemis on peut distinguer deux grandes périodes de semis :

- entre le 15 octobre et le 15 janvier = betteraves d'automne;
- entre le 15 janvier et le 20 février = betteraves d'hiver.

Le début de la récolte commence en juillet et il s'agit d'assurer un approvisionnement régulier de la sucrerie (1500 t/j.); le tableau 5 montre la relation entre la durée du cycle végétatif et les rendements en racines.

Les rendements diminuent de 15% des betteraves d'automne aux betteraves d'hiver. La durée totale du cycle agit plus fortement pour les betteraves d'hiver. La corrélation durée de végétation/rendement est de $r = 0,47$, son influence est moins marquée pour les betteraves d'automne ($r = 0,20$). Pour les semis

TABLEAU 5. - Relation entre la durée du cycle végétatif et les rendements en racine.

Durée de végétation	Tonnage		Total
	11,0 kg à 81,0 kg	81,0 kg à 130 kg	
198-222 jours	16	9	25
222-230 jours	6	8	14
235-245 jours	8	13	21
Total	30	30	60

d'hiver il semble qu'un léger retard au semis ne permette plus à la betterave d'accomplir son cycle végétatif complet avant les grosses chaleurs estivales.

2.4.4. L'irrigation.

Il n'est pas aisé de suivre l'irrigation des stations et l'état hydrique du sol tout au long de la campagne étudiée. Matériellement il est impossible d'effectuer un contrôle après chaque irrigation, aussi avons-nous, arbitrairement, choisi de vérifier l'apport d'eau après une irrigation choisie au hasard, début juillet. Ont été mesurés l'humidité des différents horizons 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, avant et après irrigation. La quantité Q mm représente l'eau apportée par l'irrigation sur l'ensemble de la complexité du phénomène. Le facteur eau qui contribue directement à l'alimentation des betteraves est également une condition du milieu puisque, par exemple, un excès d'eau peut provoquer une asphyxie temporaire des racines. Globalement l'analyse en régression montre une relation négative entre les quantités d'eau Q mm et les rendements, que nous avons interprétés comme étant l'effet d'une asphyxie temporaire des racines sur certaines stations par suite d'une irrigation mal conduite. Afin de préciser l'effet de l'irrigation, nous avons calculé les corrélations entre l'humidité des différents horizons avant irrigation et les rendements en sucre par station. Ces variables reflètent partiellement les déficits hydriques cumulés avant l'irrigation.

Corrélation rendement/humidité avant irrigation :

Horizons:	0-10 cm	$r = 0,28$
	10-30 cm	$r = 0,29$
	30-50 cm	$r = 0,32$

Après irrigation, seule la relation rendement/humidité de l'horizon 0-10 cm est significative ($r = 0,23$).

En conclusion, comme on pouvait s'y attendre, l'état hydrique influence

directement les rendements. Les résultats de l'enquête devraient cependant être vérifiés par une expérimentation fine permettant de mieux contrôler les facteurs et conditions mis en jeu par l'irrigation.

2.4.5. *La salinisation.*

L'eau d'irrigation contient en moyenne 1,6 g de sel/L, c'est à dire que, pendant une campagne, l'irrigation apporte approximativement 8 tonnes de sels à l'hectare. Le sel s'accumule dans les sols et les pourcentages de saturation en sodium varient de 0,8 à 18% ; 87% des stations (fig. 7) ont un niveau de salinisation inférieur à 8%. Les prélèvements ont été effectués en janvier ; les prélèvements effectués en juillet sur quelques stations, montrent que les teneurs en sodium sont plus élevées en été, sans doute par suite des apports de sels pendant la campagne en cours et des remontées liées à l'évaporation intense.

Parcelle R50	3,6% de Na en janvier	6% en juin
M68	6,0% de Na en janvier	11,1% en juin
Q39	12,8% de Na en janvier	16,5% en juin

L'enquête nous a permis de connaître le nombre de campagnes, avant 1970-1971, pendant lesquelles les parcelles ont été irriguées. On peut alors reconstituer la cinétique d'accumulation du sodium en fonction du nombre de campagnes d'irrigation (= quantité d'eau reçue) sur la figure 14 on note un accroissement important du niveau de salinisation avec les deux premières campagnes puis les teneurs en sodium semblent se stabiliser (les points portés sur la figure représentent les valeurs moyennes pour 7 stations ayant eu la même histoire depuis la mise en irrigation du périmètre).

Ces résultats sont comparables à ceux que VAN HOORN (1971) a obtenus en Tunisie. L'ensemble permet donc d'avoir assez rapidement une idée du processus de salinisation. Il conviendra cependant de mettre en place une étude expérimentale qui aura pour but d'affiner et de vérifier ces premiers résultats globaux.

L'analyse statistique montre que l'accumulation du sodium a un effet dépressif sur les rendements. Alors que le sodium du sol est lié négativement aux rendements, on ne remarque aucune liaison entre le sodium des feuilles et le rendement. Ces résultats semblent indiquer que l'effet du sodium sur les propriétés physiques du sol a été plus déterminant que ses effets physiologiques. L'effet défavorable du sodium sur la stabilité structurale est confirmé par la corrélation négative qui existe entre les pourcentages de saturation en sodium et les pourcentages d'agrégats stables à l'alcool ($r = -0,19$) la perméabilité ($r = -0,28$).

Une modification de l'assolement peut permettre un abaissement du pourcentage de saturation en sodium des horizons superficiels. Sur la figure 14, nous voyons que la présence d'une culture en sec intercalée entre deux cultures en irrigué, conduit à un abaissement du niveau de salinisation. Ce résultat peut

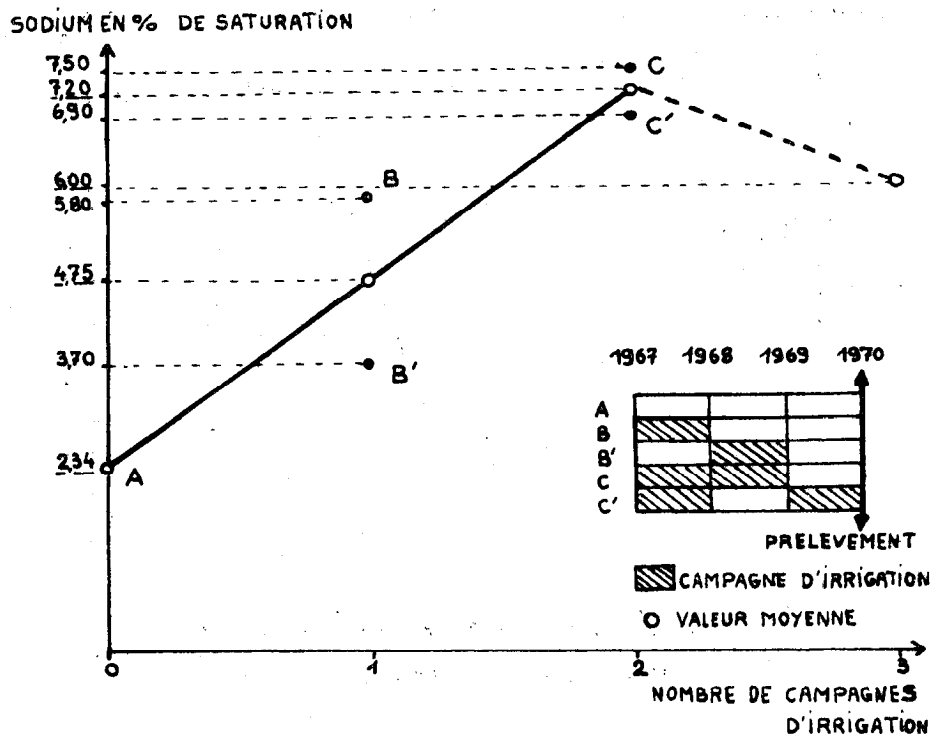


Figure 14. - Accumulation du sodium en fonction du nombre de campagne d'irrigation.

s'expliquer par l'action des pluies hivernales qui lessivent le sodium en profondeur. Si l'on considère le point *B* (une campagne d'irrigation en 1967-1968 suivie de deux cultures en sec) et le point *B'* (une campagne d'irrigation en 1968-1969, suivie de deux cultures en sec); le niveau moyen est de 3,7% pour les stations *B* et de 5,8% de saturation en sodium pour les stations *B'*. Les lessivages hivernaux ont été plus importants en *B* qu'en *B'*. Cet effet du lessivage par les pluies peut être accentué par une irrigation en début d'automne. L'examen de la salinité de l'eau d'irrigation au cours de l'année montre que celle-ci passe par un minimum en mars-avril (fig. 15); cette période correspond, sur le périmètre, à la période de montaison des blés.

On peut donc envisager, tout particulièrement pour les blés à haut potentiel, une irrigation de complément à la montaison qui, tout en améliorant les rendements du blé permettra un lessivage du sel. L'intérêt de cette suggestion a été vérifié par la station I.N.R.A. d'El-Khemis, qui a confirmé le double effet d'une irrigation en mars sur blés mexicains: accroissement du rendement, lessivage superficiel du sodium.

La régression multiple usuelle a également révélé une liaison négative entre le potassium de la plante et les rendements. Le potassium des feuilles (fig. 9)

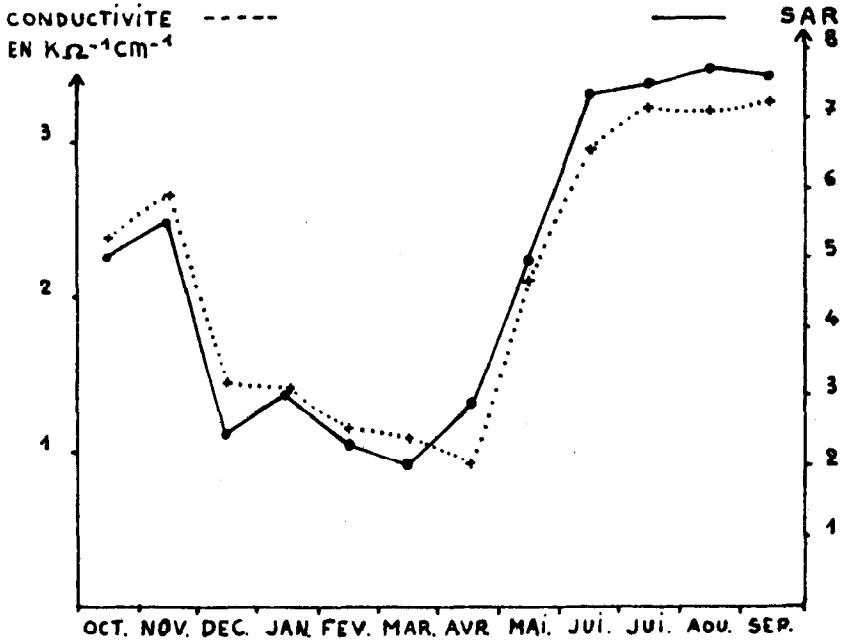


Figure 15. - Conductivité et SAR de l'eau d'irrigation.

provient des réserves du sol ou a été directement apporté sur les feuilles par l'eau d'irrigation (aspersion). Les sols du périmètre sont généralement bien pourvus en potassium. Le pourcentage de saturation en potassium de la capacité d'échange des sols varie de 1 à 10%, avec 85% des stations qui possèdent un pourcentage supérieur à 3%. L'eau d'El-Khemis contient en moyenne 6 mg de K par litre. Il est possible que la relation constatée traduise, partiellement, l'effet global de la salinité. On ne remarque pas de relation entre les réserves potassiques du sol et les rendements. Sur un plan pratique, il semble que les fumures potassiques appliquées en 1970-1971 (100 unités de potasse à l'hectare) doivent être réexaminées. Des fumures potassiques plus faibles peuvent être envisagées, malgré les besoins en potasse importants de la betterave, si l'on tient compte des réserves des sols et des apports par l'eau d'irrigation.

2.4.6. *Le phosphore.*

Les réserves phosphoriques des sols ont été évaluées par la méthode JORET et HEBERT. Nous avons choisi cette méthode parce que, en sols calcaires, BENAMARA (1971) a montré qu'elle donnait les résultats les mieux corrélés avec la réponse d'une culture test; ce qui est en accord avec les résultats obtenus par GACHON (1969).

Les teneurs en phosphore des sols varient de 20 à 360 ppm de P₂O₅ avec 45%

des sols qui possèdent moins de 45 ppm de phosphore (fig. 6). En sol calcaire, ces teneurs peuvent être considérées comme faibles. Les teneurs en phosphore des feuilles varient de 0,15 à 0,32% de matière sèche (fig. 11).

La régression sous contrainte positive montre l'effet des réserves phosphoriques du sol sur les rendements et, de façon plus nette, celui du phosphore de la plante. Etant donné le rôle joué par le phosphore nous avons tenté de mettre en lumière les relations entre la nutrition phosphatée (phosphore de la plante) et les facteurs du milieu.

On note une corrélation positive ($r = +0,28$) entre le phosphore de la plante et les réserves phosphatées du sol. Ce phosphore du sol est lui même fortement corrélé avec le potassium ($r = +0,498$) et le magnésium ($r = 0,305$) des sols. Il est possible que ces relations s'expliquent par la formation de phosphates plus ou moins solubles.

Une analyse en régression sous contrainte, positive, confirme la relation entre la nutrition phosphatée et le phosphore du sol. On remarque cependant (tableau 6) que ce facteur n'est pas déterminant. Les facteurs qui reflètent l'état

TABLEAU 6. - Résultats de l'analyse en régression sous contrainte positive de deux variables liées à la nutrition: le phosphore et le bore, en fonction de plusieurs facteurs du milieu.

Variables explicatives	Variables expliquées	
	Phosphore dans la plante	Bore dans la plante
Quantité d'eau	—	0,084
$\frac{\sigma^2}{\bar{x}}$	0,059	—
Durée de végétation	0,245	0,492
Humidité équivalente	0,081	0
N dans le sol	0,234	0,159
P du sol	0,07	0,04
Na du sol (en % de saturation)	0	0,10
Argile/limon	0,164	0,093
Indice d'instabilité	0,119	0,012
Perméabilité	0	0,058
Agrégats stables au benzène	0,050	0,001
Mauvaises herbes	0,037	0,027
Résidu s	0,029	0,021
Explication $R^2 = 1 - S$	0,971	0,979

de la structure du sol (le % d'agrégats stables au benzène, la perméabilité du sol), sont également liés à une bonne absorption du phosphore par la plante. On peut penser, que pour les sols qui possèdent une bonne structure, l'enracinement des betteraves est meilleur et l'utilisation des réserves phosphoriques est facilitée. La stabilité des agrégats dépend elle même des teneurs en matière organique (qui exprime les teneurs en azote total) et du rapport argile/limon. En ce qui concerne l'azote on note une synergie entre l'absorption de l'azote et celle du phosphore.

Au niveau de l'absorption des autres éléments on remarque une corrélation négative entre le phosphore dans les feuilles et les teneurs en sodium, calcium, magnésium.

Nous avons émis deux hypothèses pour expliquer ces corrélations.

— ces cations sont accompagnés par des anions, Cl^- et SO_4^{--} en particulier, qui sont antagonistes avec les ions PO_4^{--} lors de l'absorption racinaire.

— il y a une dégradation de la structure du sol liée à l'accumulation du sel (sodium en particulier); il en résulte un mauvais enracinement donc une mauvaise absorption du phosphore.

Sur un plan pratique, d'une façon générale, pour les sols les plus pauvres, il convient de réviser la fumure phosphatée. Celle-ci devrait être renforcée pour les sols qui présentent une mauvaise structure et des teneurs en sodium élevées.

2.4.7. Le bore.

L'ensemble des traitements statistiques a mis en lumière la relation positive entre cet élément dans les plantes et les rendements.

Nous n'avons analysé le bore dans le sol que pour quelques stations.

Les teneurs en bore (extraction à l'eau bouillante) varient de 0,17 ppm à 0,80 ppm de bore soluble à l'eau bouillante pour les 30 échantillons retenus.

Dans les feuilles les teneurs varient de 28 à 56 ppm (fig. 11) avec une valeur moyenne de 40 ppm. Lorsqu'on tente « d'expliquer » les teneurs en bore par les autres variables du milieu, on remarque (tableau 6) des relations positives, entre l'absorption du bore et les teneurs en azote, en sodium et en phosphore du sol. De même une bonne perméabilité et un rapport argile/limon élevé, signes d'une bonne stabilité structurale, sont liés positivement à l'absorption du bore.

Il semble donc qu'une bonne alimentation de la plante liée à une bonne structure des sols, favorisent la nutrition boratée. De même une bonne irrigation favorise l'absorption du bore.

Sur un plan pratique, il convient de vérifier que les apports de 15 kg de bore par hectare, sont effectués tous les trois ans, comme le conseillent les services techniques du périmètre.

3. CONCLUSIONS.

Au niveau méthodologique, on constate que les trois méthodes utilisées se complètent bien. La régression progressive montre les variables les plus importantes, mais possède un effet de masque assez marqué, si deux variables sont très liées entre elles et liées également au rendement, dès que l'une d'elles est sélectionnée l'autre est rejetée beaucoup plus loin, bien que l'influence de ces deux variables sur le rendement soit voisine. La régression sous contrainte permet de chercher les variables ayant un effet positif sur le rendement. Elle permet de vérifier les résultats de la régression usuelle et de faire ressortir les variables qui, du fait des interrelations entre variables, n'étaient pratiquement pas intervenues dans la régression usuelle comme c'est le cas pour le phosphore de la plante. L'application simultanée de ces trois techniques de régression, permet donc d'obtenir des résultats plus sûrs que ceux fournis par la régression classique. En outre, quand cette dernière est mauvaise, (trop grand nombre de variables ou variables très corrélées) régression progressive et régression sous contrainte, donnent de meilleurs résultats et peuvent être considérées comme des techniques de protection de la régression usuelle (CAZES, 1974).

Le carré du coefficient de corrélation fournit le pourcentage de la variation totale de la variable rendement expliquée par l'équation de régression, 50% après le 5-ème palier de la régression progressive. Une partie de la variation non expliquée doit dépendre de variables non prises en compte dans notre traitement. Lorsque le nombre de variables explicatives est trop grand, la reconstitution de la variable à expliquer, les rendements en sucre par parcelle, devient illusoire comme nous l'avons souligné. S'il y a autant de variables explicatives que de stations on obtient une reconstitution exacte des rendements même s'il n'y a pas de relations entre celui-ci et les variables explicatives.

On est donc conduit à limiter le nombre des variables à introduire ce qui implique un choix. En général on choisit, à partir des connaissances actuelles relatives aux facteurs. Par exemple trois tests se combinent pour caractériser la stabilité structurale du sol, la littérature montre que le test de stabilité après prétraitement au benzène rend assez bien compte de l'effet de la matière organique sur la stabilité structurale, ce qui nous a conduit à choisir cette variable pour l'analyse. En fait, les analyses statistiques ultérieures, ont montré que le test avec prétraitement à l'alcool, que nous avons éliminé dans un premier temps, présentait une meilleure liaison avec les rendements. Un traitement manuel préalable des variables peut être très utile pour sélectionner les variables à retenir. Dans notre exemple le calcul des corrélations de PEARSON, permet un choix judicieux.

La régression multiple permet une première synthèse et une première représentation du système étudié. Il faut, cependant, souligner qu'il n'a pas permis

un traitement réellement global des données dont nous disposons puisque nous n'avons pu intégrer dans l'analyse les *variables qualitatives* qui jouent pourtant un rôle essentiel dans l'explication des rendements: nature des précédents, choix des variétés, période de labour, de semis, niveau des attaques parasitaires. Ces considérations nous ont conduit à rechercher une méthode qui permette de traiter simultanément l'ensemble des variables discrètes ou continues. Les résultats de ce travail seront présentés dans un prochain article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENAMARA A., *Étude de la fertilité phosphorique de quelques sols d'Algérie*, Mémoire I.N.A., El-Harrach, 1972.
- BOULAIN J., *Carte des sols d'Algérie. Plaine du Chélif*, Echelle 1/50.000-ème, 1956.
- CAZES J. P., *Protection de la régression. Régression sous contraintes*, Séminaire « les Statistiques appliquées à l'Agriculture », I.N.A., El-Harrach, 1974.
- DECOURT N. - GODRON M. - ROMANE F. - TOMASSONE R., *Comparaison de diverses méthodes d'interprétation statistique de liaison entre le milieu et la production de pin sylvestre en Solagne*, Ann. Sc. Forest., **26**, 413-443 (1969).
- DEFFONTAINE J. P. - GRAS R., *Les facteurs techniques de la production de la pêche tardive en Moyen Vivarais*, Ann. Agron., **19** (1), 5-51 (1968).
- DRAPPER N. R. - SMITH P., *Applied regression analysis*, J. Wiley, New York, 408 p. (1966).
- GACHON L., *Les méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols*, Bull. de l'A.F.E.S., **4**, 17 (1969).
- GRAS R., *Utilisation de l'enquête globale pour l'approche d'un problème agronomique régional*, Séminaire fertilisation et développement Agricole, pp. 63-74, I.N.A., El-Harrach, 1971.
- GRAS R. - OSTY P. L. - DEFFONTAINE J. P. - MARTIN LA FLECHE A., *Contribution à l'étude de la culture de la betterave à sucre sur des sols légers du Laonnois et de la Champagne de l'usine*, Ann. Agron., **22** (5), 537-584 (1971).
- GREIG - SMITH P., *Quantitative plant ecology*, Butterworths Ed., 1964.
- HENIN S. - GRAS R. - MONNIER, *Le Profil Cultural*, Masson Ed., 1969.
- JORET G. - HEBERT J., *Contribution à la détermination du besoin des sols en acide phosphorique*, Ann. Agron., 233-299 (1955).
- ULRICH A., *Plant analysis: a guide for sugar beet fertilization*, Univ. Calif. Agro. Exp. Stat. Bull., **766**, 11-23 (1959).