

# ETUDE GLOBALE DE LA CULTURE DE LA BETTERAVE SUR LE PERIMETRE DU HAUT CHELIFF (Analyse factorielle des correspondances)

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

## PLAN

1. *Methodologie.*
  - 1.1. Recueil des données.
  - 1.2. Analyse factorielle des correspondances.
2. *Résultats de l'analyse des correspondances.*
  - 2.1. Projection des modalités du rendement en racine.
  - 2.2. Projection des modalités des variables explicatives.
3. *Examen des principales variables.*
  - 3.1. Variables intermédiaires.
  - 3.2. Variables physiques du sol.
  - 3.3. Variables liées à la rotation.
    - 3.3.1. Liaison rotation salinisation.
    - 3.3.2. Liaison rotation. Date de labour. De semis rendements.
    - 3.3.3. Relations variétés. Rendements.
    - 3.3.4. Relations cycle végétatif. Rendements.
    - 3.3.5. Relations rotation attaques de cassides.
    - 3.3.6. Relations rotation enherbement. Rendements.
  - 3.4. L'irrigation.
  - 3.5. La salinisation.
4. *Conclusions.*

La production de betteraves sur le Haut Chélif, pourrait être améliorée de façon sensible par l'application de techniques agronomiques connues. Cependant, pour être cohérente, toute intervention doit, à notre avis, partir d'une analyse de la situation réelle sur le terrain. Pour être efficace, cette analyse doit intégrer l'ensemble des facteurs (milieu, techniques) qui conditionnent la production de betteraves à sucre. Un premier traitement en régression multiple nous a permis une première approche globale des relations des peuplements de betterave avec les facteurs du milieu. Le calcul des équations conduit à un essai de synthèse pour les variables prises en compte; cependant, comme nous l'avons souligné, cette première approche globale apparaît incomplète puisque certaines variables discrètes, liées aux techniques culturales en particulier, n'avaient pu

être intégrées dans les analyses en régression. R. GRAS *et al.* (1971) ont montré l'importance de ce problème en Agronomie et proposé un modèle mathématique, qui permettrait un traitement simultané des variables quantitatives et qualitatives.

Pour tenter de mettre en lumière les facteurs qui limitent la production de betteraves sur le Haut Chélif, nous avons utilisé la méthode d'analyse factorielle des correspondances.

## 1. METHODOLOGIE.

### 1.1. RECUEIL DES DONNEES.

Les données stationnelles obtenues par interview sur les domaines, observations en plein champ et analyses en laboratoire nous ont permis de réunir les données de bases (A. P. CONESA *et al.* 1974).

### 1.2. ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES.

L'analyse factorielle des teneurs en sucre des betteraves donne des résultats peu clairs, nous nous limiterons à l'exposé des résultats qui concernent les rendements en racines. La méthode statistique destinée à analyser la masse des données collectées impliquait, pour trouver les variables qui influent le plus sur le rendement, de faire jouer un rôle particulier au rendement. Nous ne pouvions donc pas analyser le tableau usuel dont les lignes sont les observations (ici les stations) et les colonnes sont les différentes variables, car le rendement aurait été considéré comme une variable ordinaire dont le rôle, quant à la discrimination des stations, pouvait bien être secondaire.

C'est pour que ce rôle devienne prépondérant, quant à la sélection des variables, que nous avons choisi le tableau  $T$  suivant: les colonnes, au nombre de 6, représentent 6 classes de valeurs du rendement, ce qu'il est convenu d'appeler le second ensemble étudié, alors que le premier ensemble ligne est formé par la réunion des différentes classes de valeurs ou modalités du reste des variables prises en compte.

La case  $t(i, j)$  de  $T$  située à l'intersection de la ligne  $i$  et de la colonne  $j$  contient le nombre de stations présentant la modalité  $i$  et tombant dans la  $J$ -ème classe de rendements.

A la page suivante un fragment de tableau  $T$ .

Comme l'analyse en composante principale, l'analyse factorielle des correspondances (BENZECRI 1973, CORDIER 1965) est une méthode multidimensionnelle. Prenons un exemple, considérons sur le tableau  $T$  la variable que nous voulons expliquer: le rendement, et une variable explicative: les différentes

Variables explicatives	Modalités	TO <sub>1</sub>	TO <sub>2</sub>	TO <sub>3</sub>	TO <sub>4</sub>	TO <sub>5</sub>	TO <sub>6</sub>
Variétés	VA <sub>1</sub>	0	1	2	9	3	3
	VA <sub>2</sub>	1	4	1	2	0	1
	VA <sub>3</sub>	0	7	6	3	5	1
	VA <sub>4</sub>	1	0	0	3	3	0
	VA <sub>5</sub>	3	4	3	8	4	0
	VA <sub>6</sub>	1	2	7	2	4	1
Betteraves non marchandes	NM <sub>1</sub>	0	0	5	16	14	4
	NM <sub>2</sub>	1	5	17	9	8	2
	NM <sub>3</sub>	1	6	3	0	0	0
	NM <sub>4</sub>	2	2	0	0	0	0
Bore dans la plante	B <sub>1</sub>	2	2	9	8	2	0
	B <sub>2</sub>	1	6	11	12	7	5
	B <sub>3</sub>	1	4	5	5	7	1
	B <sub>4</sub>	0	1	0	0	6	0
% Agrégats stables à l'alcool	A <sub>1</sub>	0	3	9	4	6	1
	A <sub>2</sub>	3	6	12	11	9	2
	A <sub>3</sub>	1	4	4	10	6	3
	A <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	0

variétés que nous trouvons sur nos stations. Nous voulons étudier les interactions entre les variétés de betteraves à sucre et les rendements. La case  $t(i, j)$  du tableau  $T$  donne le nombre de stations cultivées avec la variété  $i$  donnant le rendement  $j$ . Remarquons que la somme  $S$  de toutes les valeurs figurant sur ce tableau n'est autre que le nombre total (95) des stations 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 transformés représente la fréquence  $f(i)$  de la variété  $i$  tandis que la somme des termes de la colonne  $j$  sera la fréquence  $g(j)$  du rendement  $j$  et la somme de tous les termes sera égale à 1.

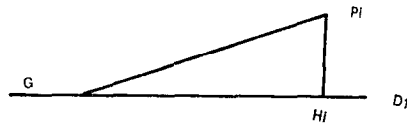
Considérons la ligne  $i$  (variété) comme un point  $p_i$  d'un espace à 6 dimensions (puisque'il y a 6 classes de rendements) dont la  $J$ -ème coordonnée, sur un système d'axe rectangulaire, est égale à :

$$t(i, j)/f(i)\sqrt{g/j}.$$

On munit chaque point  $p_i$  d'une masse de valeurs  $f(i)$  ce qui fait de l'ensemble  $i$  des lignes (variétés) un solide matériel constitué de masses ponctuelles séparées par des espaces vides. La méthode consiste alors à rechercher une première direction  $D_1$  optimale au sens des moindres carrés.

Soit:  $Hi$  le pied de la perpendiculaire, issue de  $p_i$  sur  $D_1$  on veut que la somme:

$$\sum f(i)p_i \quad H_i^2$$



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 pondérés 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 que  $D_1$  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 une approximation du nuage des points originels. Dans notre étude, nous nous sommes toujours limités au plan déterminé par  $D_1$  et  $D_2$ .

Ces différentes directions s'obtiennent comme dans les méthodes analogues par extraction des valeurs propres les plus grandes et des secteurs propres correspondants, de la matrice de corrélation entre variables. La matrice de corrélation analysée correspond à la formule de distance non classique suivante, entre les points du nuage:

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{1}{g(j)} \left[ \frac{t(i, j)}{f(i)} - \frac{t(i', j)}{f(i')} \right]^2$$

ou

$$f(i) = \sum_{j=1}^{j=n} t(i, j) \quad \text{et} \quad g(j) = \sum_{i=1}^{i=n} t(i, j).$$

On voit que cette formule diffère de la formule traditionnelle de la somme des carrés des différences de coordonnées par le fait que la  $J$ -ème coordonnée  $t(i, j)$  et  $t(i', j)$  des points  $i$  et  $i'$  sont pondérées par les poids  $f(i)$  et  $f(i')$  des deux objets considérés, puis le carré de cet écart est à nouveau pondéré par les poids  $g(j)$  de la colonne  $j$ . C'est cette double pondération qui élimine l'effet de taille que l'on retrouve très souvent comme premier axe en analyse des composantes principales, cette pondération permet de n'analyser que des profils de variables et non des valeurs absolues.

Ainsi, une variété  $V_1$  très fréquente, ayant donc une masse élevée, et répartie régulièrement dans les différentes classes de rendements, se trouvera près du centre de gravité; c'est à dire de l'origine des axes, une variété peu fréquente mais donnant les mêmes rendements que  $V_1$  sera voisine de  $V_1$  sur la carte du nuage des variétés données par les deux premiers axes factoriels et ce, malgré des effectifs beaucoup plus faibles.

Au contraire, une variété donnant des rendements très différents, se trouvera fort éloignée de l'origine.

Tous ces raisonnements faits sur les variétés peuvent encore être tenus sur les rendements, ces 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 il ne sera pas nécessaire d'effectuer une nouvelle analyse pour obtenir les axes factoriels, car ceux-ci se déduisent immédiatement du premier ensemble, les deux nuages accusent généralement des formes semblables; il y a non seulement correspondance mathématique, mais aussi correspondance réelle entre facteurs homologues de ces deux nuages.

Dans notre exemple, nous n'avons considéré qu'une des variables (les variétés = variable qualitative) pouvant expliquer les rendements. Dans la réalité, il nous fallait mettre en relation plusieurs variables qualitatives et quantitatives. Pour ce faire, comme dans le cas des rendements, nous avons découpé chaque variable quantitative en classes de valeurs, chaque classe étant considérée comme une modalité de la variable étudiée.

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 sera appelé contribution, produit de la fréquence par le carré de la distance du point au centre de gravité. On verra que ces contributions sont plus utiles que les situations géométriques relatives des différents points (modalités).

Nous avons pris en compte 72 variables auxquelles correspondaient 290 modalités; ces variables peuvent être subdivisées en variables édaphiques et biotiques. Les variables édaphiques sont de deux types :

- les facteurs rendements (éléments nutritifs, eau);
- les conditions (\*) du milieu qui règlent l'action des facteurs du rendement.

---

(\*) Nous avons adopté la terminologie proposée par S. HENIN.

En effet, pour qu'un facteur du rendement (l'azote par exemple), exerce son effet, il faut que *les conditions* du milieu le permettent, par exemple dans un sol hydromorphe, saturé en eau, l'absorption de l'azote sera gênée par l'asphyxie racinaire. Ici, l'hydromorphie est une condition du milieu. Notons, à ce propos, que l'eau est à la fois un facteur et une condition de la croissance et du développement de la culture.

Les variables biotiques concernent la betterave (teneurs en éléments minéraux, caractères morphologiques). Il s'agit là de variables intermédiaires qui influencent les rendements de façon plus directe que les variables édaphiques, comme nous l'avons déjà signalé.

## 2. RESULTATS DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES.

Seules les projections sur le premier plan factoriel, axes 1 et 2 ont été considérées.

### 2.1. PROJECTION DES MODALITES DU RENDEMENT EN RACINE TOTAL PAR STATION.

Les classes du rendement (numérotées  $TO_1$  à  $TO_6$ ) se répartissent sur la fig. 1 suivant une parabole à l'exception de  $TO_6$ .

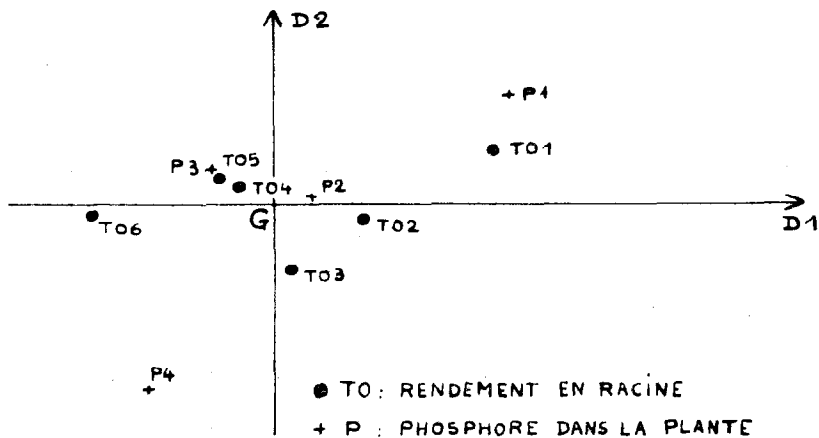


Figure 1. - Projections des modalités « Rendement en racine » et teneur en phosphore sur le 1-er plan factoriel.

Cette disposition particulière signifie qu'il y a, grossomodo, liaison linéaire entre les facteurs du rendement et le rendement lui-même.

Cependant la situation excentrique de la classe  $TO_6$  nous pose un problème.

Les très forts rendements ( $TO_8$ ) ne s'obtiennent sûrement pas par une simple extrapolation des valeurs des différentes variables contribuant aux rendements moyens, mais plutôt par de nouveaux rapports entre ces variables ou bien par l'entrée en jeu de certaines variables non prises en compte dans l'enquête, comme les facteurs sociologiques, par exemple.

Quoiqu'il en soit, si l'on ne considère que les projections sur l'axe 1 les classes de rendements sont rangées sans erreur suivant l'ordre des coordonnées décroissantes, ce qui nous conduit à l'interpréter, cet axe, comme étant l'axe des rendements.

On se trouve en présence de deux paramètres : les coordonnées des différentes modalités du rendement ou racines total et les contributions de ces différentes modalités à l'inertie (\*) de l'axe des rendements. Sur le tableau 1 on constate que ce sont les modalités extrêmes  $TO_1$ ,  $TO_2$ ,  $TO_8$  qui jouent le rôle le plus important dans la détermination de l'inertie de cet axe. Ceci est tout à fait naturel quand on sait que le rendement a une distribution empirique unimodale et à peu près symétrique, c'est à dire voisine d'une distribution normale. En effet, ceci veut dire que de nombreuses stations ont un rendement moyen, le centre de gravité, c'est à dire l'origine des axes factoriels du nuage des classes de rendements, sera donc voisin du centre de gravité des classes moyennes dont l'effectif est très nombreux. Par contre, la direction des axes sera influencée par les points éloignés de ce centre de gravité qui ont, de ce fait, une inertie assez grande.

TABLEAU 1. - *Caractérisation des modalités du rendement.*

Modalités du rendement	Contribution absolue (de la modalité)	Contribution de la modalité en % de la contribution de l'axe 1	Ordonnée des modalités sur l'axe 1
$TO_1$	138,0	39,2	0,599
$TO_2$	72,0	20,6	0,251
$TO_3$	2,2	0,6	0,042
$TO_4$	18,0	5,1	-0,102
$TO_5$	38,1	10,8	-0,177
$TO_8$	83,7	23,7	-0,467

Contribution de l'axe 1 = 352,7

(\*) Rappelons que l'inertie d'un point matériel est égale au produit de la masse par le carré de la distance au centre de gravité.

TABLEAU 2. - Variables correspondant aux faibles rendements en racines (11-51 kg par station) (Variables classées par ordre d'importance en tenant compte de leur contribution à l'inertie de l'axe 1 rendements en racines).

Taille	Techniques culturales	Eau	Surfaces en domaines
1) Faible taux de betteraves marchandes (6 à 25% de bet. < 45 mm)	10) Durée de végétation courte (150 à 174)j.	33) Pression réelle aux Asperseurs (58 à 68%)	— Les plus petits domaines (6 à 62 ha)
2) Fort % de betteraves non marchandes (61 à 82% de bet. < 45 mm)	14) Mauvais démariage ( $Sx = 1,38$ à 1,63)	34) Déficit hydrique fort (31 à 41%)	— Les plus grands domaines (3109 à 3734 ha).
3) Assez fort % de betteraves non marchandes (41 à 61% de bet. < 45 mm)	20) Nombre d'irrigations avant 1970 (2 campagnes d'irrigation)	42) Humidité faible à 10-30 cm avant irrigation (23-39% de He)	
4) Faible % de betteraves longues (2 à 25% de bet. > 15 cm)	30) Nombre de jours entre les semis et la première pluie (36 à 48 j.)	47) Gain d'humidité entre les 2 prélèvements fort. 56-humidité 10-30 cm après irrigation (86 à 104% de He).	
7) Fort % de betteraves courtes (28 à 43% de bet. < 10 cm)	54) Date de semis (15 janvier 20 février)		
12) Fort % de betteraves de longueur moyenne (38 à 57% de bet. 10 cm $\lll$ 15 cm)	61) Variété K W S A A		
15) Fort % de betteraves courtes (43 à 58% de bet. < 10 cm)	<i>Physique du sol</i>	<i>Nutrition</i>	
37) Assez faible % de betteraves courtes (14-28% de bet. < 10 cm)	44) % de sable grossier (4,5 à 9%)	9) Teneur en Na des feuilles (203 à 250 meq/100 g de MS)	
43) Assez faible % de betteraves moyennes (19 à 38% de betteraves (10 cm $\lll$ 15 cm)	41) % limons fins (19 à 28%)	16) Forte teneur en Ca des feuilles (54 à 68 meq/100 g MS)	
58) % moyen de betteraves fourchues (14-29% de betteraves fourchues)	81) Capacité d'échange (21 à 27%)	25) Faibles teneurs en P des feuilles (0,15 à 0,20% de P)	
	51) Conductivité 1/5 (0,4 à 0,6 mm hos)	39) Forte teneur en Mn des feuilles (218 à 280 ppm de MS)	
	87) % de saturation en sodium (14 à 18% de la capacité d'échange).	63) Faible teneur en bore des feuilles (28 à 33 ppm de MS).	
		83) Forte teneur en Mg des feuilles (meq/100 de MS).	



TABLEAU 3. - Variables correspondant aux forts rendements en racines (71 à 130 kg par station) (Variables classées par ordre d'importance en tenant compte de leur contribution à l'inertie de l'axe 1 des rendements en racines).

Taille	Techniques culturales	Eau	Nutrition (suite)
3) Faibles % de betteraves < 45 mm (0 à 25% de bet. < 45 mm)	13) Variétés Zwan poly	22) Forte humidité de l'horizon 10-30 cm avant irrigation (56-73% he)	49) Forte teneur en P dans le sol (277-366 ppm)
6) Fort % de betteraves > 15 cm (73 à 97%)	28) Précédent vigne	23) Forte humidité horizon 0-10 cm après irrigation (96-115% de He)	68) Forte teneur en N dans le sol (1,26 à 1,64%)
8) Faible % de betteraves moyennes (0 à 19% de bet. 10 cm <<< 15 cm)	36) Faible recouvrement des mauvaises herbes en juin	24) Très forte humidité de l'horizon 0-10 cm avant irrigation (51-70% de He)	69) K/Mg assez faible dans la plante (1,65-2,83)
11) Faible % de betteraves courtes (0 à 14% de bett. < 10 cm)	45) Nombre de jours semis démarrage (83 à 99 j)	24) Très forte humidité de l'horizon 0-10 cm avant irrigation (51-70% de He)	84) Teneur moyenne en Na (157-203)
38) Fort % de betteraves > 45 mm	59) Nombre de jours semis 1 <sup>o</sup> pluie (36 à 48 j)	52) Très forte humidité de l'horizon 30-50 cm avant irrigation (76-93% de He)	88) Capacité d'échange forte (27-33 meq/100)
62) Très fort % de bet. marchandes (64-84% de bet. > 45 mm)	66) Durée de végétation la plus longue (222-245 j)	65) Faible déficit de la pression réelle (10 à 20% de pression théorique)	<i>Surface des domaines</i>
	70) Une seule campagne d'irrigation avant betteraves	72) Forte humidité de l'horizon 10-30 après irrigation (104-122% de He)	17) Surfaces moyennes (62 à 1249 ha)
	90) Nombre de jours pour démarrage un hectare (7-13)		
	<i>Physique du sol</i>		
	18) Fort % agrégats stables à l'alcool (57-75%)		
	35) Fort % agrégats stables eau (38-51%)		
	76) % moyen agrégats stables au benzène (13 à 24%)		
	82) Fort % agrégats stables à l'alcool (40 à 57%)		
	25) % sables grossiers moyen (9 à 13%)		
	74) Rapport Argile/Limon fort (1,05 à 1,44)		
		<i>Nutrition</i>	
		19) Forte teneur en bore dans les feuilles (46 à 56 ppm)	
		21) K/Ca fort (3,2 à 4,08)	
		27) Forte teneur en Cu dans les feuilles (16-19 ppm)	
		44) Faible teneur en Ca dans les feuilles (27 à 40 meq/100 g de MS)	
		48) Faible teneur en Mg dans les feuilles (17 à 38 meq/100 g de MS).	

## 2.2. PROJECTION DES MODALITES DES VARIABLES EXPLICATIVES.

L'examen du diagramme homologue de celui du schéma 1 pour les variables explicatives, est difficile et fastidieux à interpréter du fait du grand nombre de points dont il est constitué. Pour la clarté de l'exposé des résultats, nous présenterons le dépouillement par diagrammes partiels, en nous attachant aux variables qui sont apparues comme ayant une influence sur les rendements en racine ou les composantes de ce rendement.

Etant donné l'importance de l'axe 1, démontrée au paragraphe précédent, il est intéressant de contrôler si les modalités de chaque variable se rangent dans leur ordre naturel (croissant ou décroissant) le long de l'axe 1, ceci afin de rendre compte si une telle variable suit ou non la liaison globalement linéaire du rendement avec ses divers facteurs.

Mais n'oublions pas notre propos qui était d'analyser les relations entre le rendement et telle ou telle variable ainsi que d'établir une hiérarchie des influences de ces variables sur les rendements.

C'est ici que le calcul des contributions va être utile puisque celles-ci sont une estimation chiffrée de ces influences. Nous avons donc dressé les tableaux 2, 3 qui montrent les contributions des modalités aux forts et aux faibles rendements. Ces modalités ont été classées en plusieurs rubriques. (Techniques culturales, eau, nutrition) afin de clarifier la présentation.

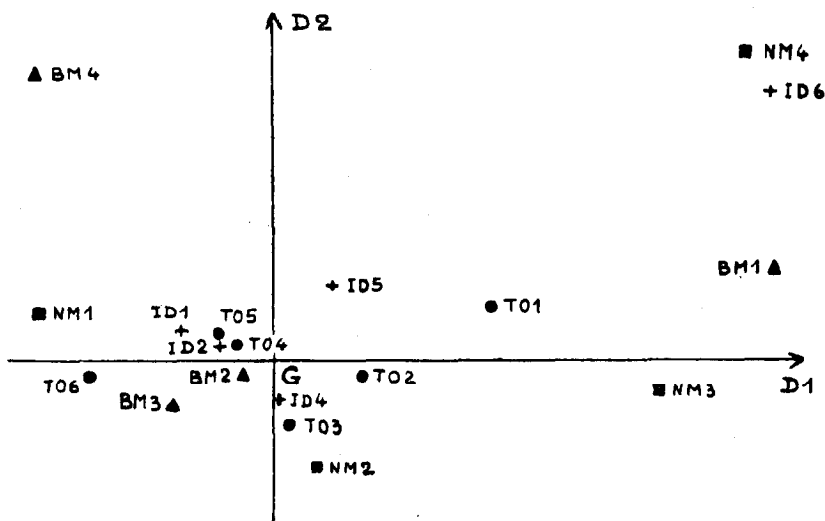
Ce qui nous conduit à examiner séparément les variables les plus importantes quant à leur contribution aux fluctuations des rendements en racine de betteraves sur le périmètre.

## 3. EXAMEN DES PRINCIPALES VARIABLES.

### 3.1. VARIABLES INTERMEDIAIRES.

Certaines variables liées à la taille des betteraves, à leur densité, occupent une situation intermédiaire entre les variables du milieu et les rendements, comme le souligne DEFFONTAINE *et al.* (1971) ces variables prennent partiellement en compte l'action des facteurs du milieu.

Les résultats de l'analyse factorielle de ces variables sont portés sur la figure 2; ils montrent la relation entre le pourcentage de betteraves non marchandes (NM) le nombre de betteraves marchandes par station (BM), la longueur des betteraves, l'indice de dispersion  $I_D$ , et les rendements en racines TO. Le calcul des contributions, des modalités de ces variables à l'inertie de l'axe 1 des rendements, montre (tableaux 2 et 3) qu'elles jouent le rôle le plus important pour l'explication des rendements. Ces résultats concordent avec ceux de l'analyse en régression progressive qui avaient montré que le variable pourcentage betteraves non



- TO : RENDEMENT EN RACINE      ▲ BM : BETTERAVES MARCHANDES  
 + ID : INDICE DE DISPERSION      ■ NM : BETTERAVES NON MARCHANDES

Figure 2. - Projections des modalités « composants du rendement » et « rendement en racine » sur le 1-er plan factoriel.

marchandes se classait en tête des facteurs responsables des variations de rendements sur le périmètre. L'indice de dispersion joue également un rôle important (14-ème contribution à l'explication des rendements faibles).

Etant donné l'importance du facteur taille des betteraves, nous avons effectué une analyse factorielle des correspondances pour « expliquer » le facteur nombre de betteraves marchandes (< 45 mm) par station. Le fort nombre de betteraves marchandes correspond à un faible salissement par les mauvaises herbes (stations propres en juin) à une distribution régulière des betteraves sur la ligne  $0,13 < I_D < 0,3$ , à une durée de végétation assez longue (174 à 198 j.) et à un pourcentage d'argile situé entre 48 et 59%.

### 3.2. VARIABLES PHYSIQUES DU SOL.

Les analyses en régression n'avaient pris en compte que la perméabilité et le test de stabilité au benzène. L'analyse factorielle des correspondances a été effectuée sur l'ensemble des variables (granulométrie, tests de stabilité, perméabilité) sans discrimination. Les résultats de la figure 3 indiquent :

1) que les forts taux d'argile ou les pourcentages de sable fin dans les sol (> 23%) correspondent aux meilleurs rendements en racines de betteraves sur le périmètre;

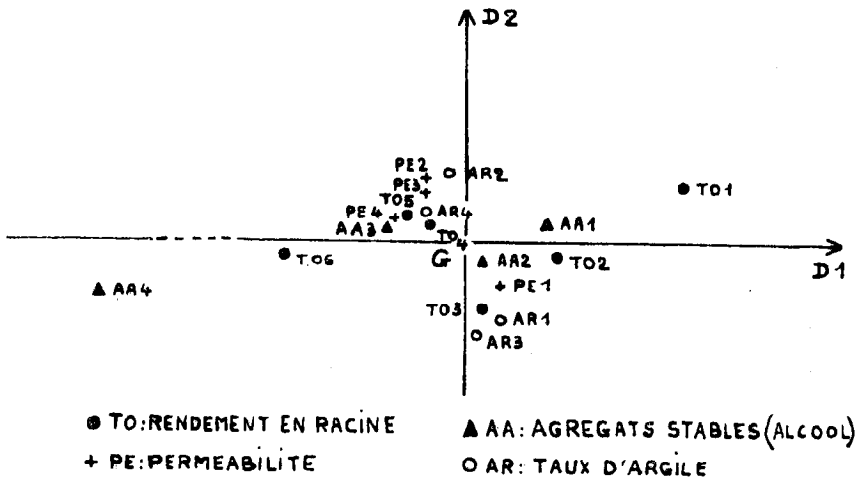


Figure 3. - Projections des modalités « variables physiques » et « rendement en racine » sur le 1-er plan factoriel.

2) le test de stabilité après prétraitement à l'alcool et la perméabilité sont fonction linéaire des rendements. Le pourcentage d'agrégats stables à l'alcool possède la 18-ème contribution aux bons rendements (tableau 3) et apparaît comme un facteur important de la production.

L'examen des corrélations montre que ces différentes variables (figure 4) ne sont pas indépendantes et confirme l'influence des teneurs en argile et en limon sur la stabilité structurale des sols. L'argile semble jouer le rôle le plus important dans la stabilisation de la structure (test à l'alcool) alors que nous n'avons pas mis en évidence de corrélation entre les réserves organiques des sols et le test avec prétraitement au benzène. Ce résultat peut s'expliquer par la formation d'humates sodiques labiles qui ne joueraient pas un rôle dans la « stabilisation » de la structure.

### 3.3. VARIABLES LIEES A LA ROTATION.

L'analyse factorielle met en lumière la relation entre les rendements en racine, représentés comme nous l'avons vu par l'axe 1, et les différentes rotations (figure 5). Le précédent vignes apparaît le plus favorable aux rendements en racine (28-ème contribution aux bons rendements) suivi par la rotation céréales-fourrage-betteraves et fourrage-céréales-betteraves (le fourrage étant dans les deux cas la vesce-avoine) (tableaux 2 et 3).

Notons que 25% des stations suivent la succession betteraves-céréales-fourrage préconisée par les services techniques du périmètre.

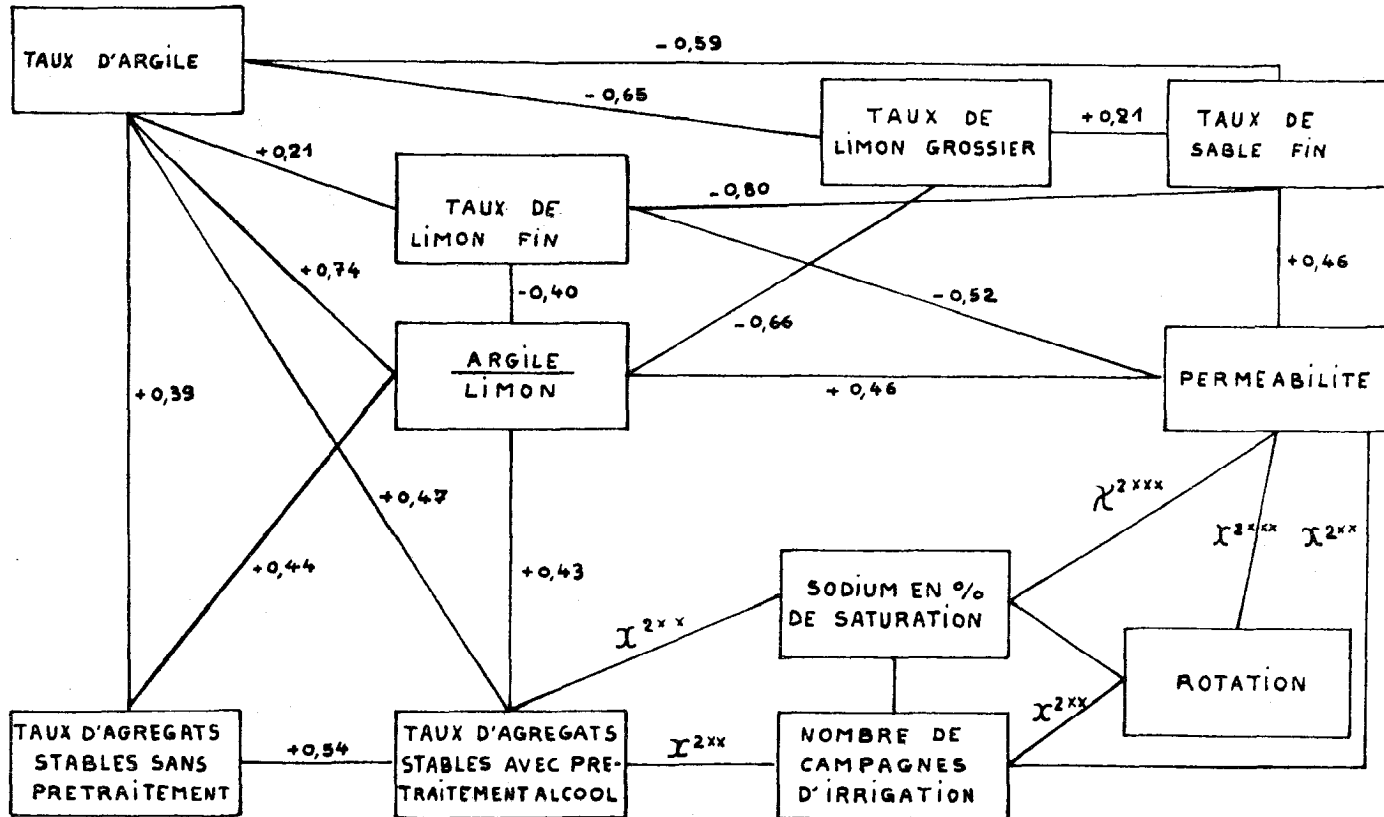
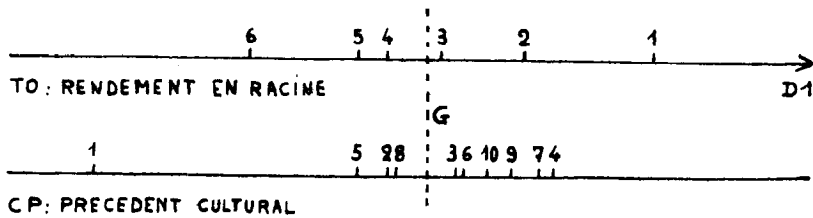


Figure 4. - Liaisons entre les variables physiques du sol et d'autres facteurs du milieu.



DIFFERENTS PRECEDENTS DE LA BETTERAVE*			
	ANNEE 1970 - 1971	ANNEE 1969 - 1970	ANNEE 1968 - 1969
CP1	BETTERAVES	VIGNE	VIGNE
CP2	"	BETTERAVES	CEREALES
CP3	"	CEREALES	BETTERAVES
CP4	"	BETTERAVES	FOURRAGES (ou jachere)
CP5	"	FOURRAGES (ou céréales)	CEREALES (ou fourrages)
CP6	"	JACHERE	CEREALES
CP7	"	FOURRAGES	FOURRAGES
CP8	"	JACHERE	BETTERAVES
CP9	"	BETTERAVES	BETTERAVES
CP10	"	FOURRAGES	BETTERAVES

Figure 5. - Projections des modalités « précédents culturaux » sur le 1-er axe factoriel (rendement en racine).

Le choix d'une rotation entraîne plusieurs conséquences :

- les apports d'eau (chargée en sels) sont différents sur les parcelles ;
- les précédents influencent les dates de labour et de semis, donc la longueur du cycle végétatif des betteraves et le choix des variétés ;
- la présence d'adventices, sur les parcelles, les attaques parasitaires, peuvent être conditionnées par la succession des cultures sur les stations.

Il résulte que les liaisons mises en lumière entre les rotations et les rendements peuvent masquer l'influence complexe d'autres facteurs, ce qui nous conduit à étudier plus finement ces facteurs en relation avec les rotations. Dans la suite de l'exposé, pour simplifier le problème, nous avons regroupé les 10 rotations pratiquées sur le périmètre en 5 grands types, le critère de regroupement choisi étant le nombre d'années séparant deux cultures betteravières sur une même parcelle.

### 3.3.1. Liaisons rotations - salinisation.

Le tableau 4 montre la liaison qui existe entre le type de rotation pratiquée et la conductivité de l'extrait 1/5 des sols. On note que lorsque la betterave

TABLEAU 4. - *Relations entre les rotations et la conductivité des sols.*

CO	RO					Total
	Vigne	B-C-F B-F-C	B-F-J B-C-J B-J-C	B-C-B B-F-B B-J-B	B-B-C B-B-F B-B-J	
0,10 à 0,20	2	14	10	6	3	35
0,20 à 0,25	1	6	3	9	6	25
0,25 à 0,73	1	3	5	15	11	35
Total	4	23	18	30	20	95

$\chi^2 = 18,6^{++}$   
dl = 8.

CO: Conductivité                      B: Betteraves                      F: Fourrage  
RO: Rotation                            C: Céréales                        J: Jachère

« revient » fréquemment sur les parcelles, le degré de salinisation paraît plus élevé.

### 3.3.2. *Liaison rotation (précédent) date de labour, date de semis, rendements.*

Sur le tableau 5. nous avons porté les dates de labour et de semis les plus fréquentes correspondant aux différents précédents. On note que les précédents jachère ou vigne correspondent en général, à des labours et des semis précoces, tandis que les précédents céréales correspondent au contraire, à des labours et à des semis tardifs, effectués en hiver. Les relations sont moins nettes pour les autres précédents.

L'étude des correspondances entre *les dates de labour* et les rendements indique que la plus mauvaise période pour labourer (qui correspond aux rendements les plus faibles) semblait être, en 1970, celle du 1-er juin au 1-er août. Les labours effectués avant le 1-er juin correspondent aux meilleurs rendements en racines et aux stations qui ont le plus grand nombre de betteraves marchandes (< 45 mm). Notons que 23% des stations avaient été labourées avant le 1-er juin, en 1970.

Les labours effectués avant l'été, dans de bonnes conditions d'humidité, semblent avoir permis l'action structurante de la sécheresse estivale, les 32 mm de pluie, tombés au mois d'octobre, ont favorisé, dans ce cas, la préparation des lits de semence. Au contraire, pour les labours tardifs, effectués en condition sèche, les semis semblent avoir eu lieu souvent en condition trop humide.

Les labours effectués avant le 1-er juin supposent un précédent qui libère les parcelles assez tôt. Sur le périmètre les labours sont généralement effectués à la charrue à disque.

TABLEAU 5. - *Relation entre précédents, dates de labours et dates de semis.*

Précédents	Dates de labours		Dates de semis	
Jachère (ou vigne) 22 stations	DL <sub>1</sub>	14 stations	}	SE <sub>1</sub> 10 stations
		3 stations		SE <sub>2</sub> 3 stations
		4 stations		SE <sub>3</sub> 1 station
		1 station		
Betteraves 17 stations	DL <sub>1</sub>	3 stations	}	SE <sub>1</sub> 6 stations
		2 stations		SE <sub>2</sub> 2 stations
		10 stations		SE <sub>3</sub> 2 stations
		2 stations		
Céréales 25 stations	DL <sub>1</sub>	0 station	}	SE <sub>1</sub> 4 stations
		1 station		SE <sub>2</sub> 0 station
		14 stations		SE <sub>3</sub> 10 stations
		10 stations		SE <sub>1</sub> 1 station
				SE <sub>2</sub> 4 stations
		SE <sub>3</sub> 5 stations		
Vesce avoine 21 stations	DL <sub>1</sub>	4 stations	}	SE <sub>1</sub> 6 stations
		9 stations		SE <sub>2</sub> 2 stations
				SE <sub>3</sub> 1 station
		6 stations		SE <sub>1</sub> 0 station
		2 stations		SE <sub>2</sub> 3 stations
		SE <sub>3</sub> 3 stations		
Fourrages (autres que vesce avoine). 10 stations	DL <sub>1</sub>	0 station	}	SE <sub>1</sub> 5 stations
		1 station		SE <sub>2</sub> 1 station
		8 stations		SE <sub>3</sub> 2 stations
		1 station		

L'analyse des correspondances montre que *les semis tardifs*, (15 janvier-20 février) correspondent aux rendements les plus faibles (tableau 2) par contre en 1970-1971, la date de semis la plus favorable aux bons rendements correspondait à la période de 1-er décembre au 15 janvier. Les semis tardifs semblent avoir été effectués dans de mauvaises conditions d'humidité. La betterave ayant une racine pivotante est très sensible aux discontinuités du profil que peut



entraîner un mauvais travail du sol; sur 37 stations semées tardivement, 23 ont plus de 18% de betteraves fourchues.

Le tableau 6 montre schématiquement la relation entre le % de betteraves fourchues et les rendements.

TABEAU 6. - *Influence du % de betteraves fourchues sur les rendements.*

% de betteraves fourchues	0 - 12%	> 12%
Rendements moyens en racines	77	66
Nombre de stations	53	42

### 3.3.3. *Relations variétés-rendement.*

Les services techniques du périmètre (CLAUS, 1971) proposent un choix de variétés en fonction des périodes de semis :

- pour les semis précoces KWSAA (diploïde), à cycle végétatif semi long ;
- pour les semis moyens ZWAN POLY et MEGAPOLY (polyploïde) à cycle long et moyen ;

— pour les semis tardifs d'hiver KW poly beta variété à cycle court. L'analyse des correspondances montre (tableau 2 et 3) que Zwan poly correspond aux bons rendements (13-ème contribution) alors que Kwsaa correspond généralement, aux faibles rendements (61-ème contribution). Le classement des six variétés dénombrées sur le périmètre s'établit dans l'ordre :

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| 1) Zwan poly         | rendements forts           |
| 2) Maribo maroc poly | } rendements moyens        |
| 3) Maribo magna poly |                            |
| 4) Poly 2            | } rendements moyen-faibles |
| 5) Poly beta         |                            |
| 6) Kwsaa             | rendements faibles         |

### 3.3.4. *Relation cycle végétatif-rendement.*

La durée du cycle végétatif dépend de la date de semis et de la variété choisie.

L'analyse factorielle des correspondances confirme la relation, entre la longueur du cycle végétatif et les rendements, que nous avons constatés lors de l'analyse en régression.

Les faibles rendements correspondent à des cycles courts de 150 à 182 jours (10-ème contribution) tandis que les rendements élevés correspondent à des cycles longs de 222 à 245 jours (tableaux 2 et 3).

3.3.5. *Relation rotation-attaque de cassides-rendement.*

Sur le tableau 7 on note que la présence de casside semble liée à certaines rotations, lorsque la rotation comprend une jachère les attaques sont moins nombreuses que pour la rotation betteraves-céréales-fourrage.

TABLEAU 7. - *Relation rotation-attaques des cassides.*

Casside	RO					Totaux
	B-V	B-C-F B-F-C	B-C-J B-J-C B-F-F B-F-J	B-C-B B-F-B B-J-B	B-B-C B-B-F B-B-J	
Absence	0	11	16	17	13	57
Faible attaque	0	5	0	5	4	14
Forte attaque	4	7	2	7	3	24
Totaux	4	23	18	30	20	95

 $\chi^2 = 21,4$ 

dl = 8.

L'analyse factorielle n'a pas permis de mettre en évidence de pertes de rendements liées aux attaques de cassides. Il est possible que cela s'explique, en 1970/1971, par le fait qu'elles avaient eu lieu tardivement. Une étude menée par un étudiant (FOURAR 1973) dans le cadre du laboratoire de zoologie de l'I.N.A. d'El-Harrach, a permis de comparer expérimentalement l'efficacité de différents pesticides vis à vis de la casside. FOURAR a, en outre, après mise au point d'une méthode d'échantillonnage et enquête, établit une carte d'infestation et il a montré que les résidus de betteraves (fane + terre) pouvaient constituer des foyers d'infestation.

3.3.6. *Relation rotation-enherbement-rendement.*

L'enquête a montré que 30% seulement des stations étaient propres début avril. L'analyse factorielle montre (tableau 2) que les bons rendements en racines correspondent aux stations propres (26-ème contribution).

Le degré de salissement, noté en avril, dépend (tableau 8) de la rotation. La présence d'une culture de betteraves, l'une des deux années qui précèdent la campagne étudiée, correspond généralement à des parcelles plus propres.

TABLEAU 8. - *Relation rotation-enherbement.*

Rotation 1: Présence de betteraves au cours d'une des 2 années précédentes.

Rotation 2: Absence de betteraves au cours des 2 années précédentes.

HA: Observation du début Avril.

HA	Rotation		
	1	2	
Propre	19	10	29
Peu sale	21	17	38
Sale à très sale	10	18	28
	50	45	95

 $\chi^2 = 5,46$ 

dl = 2.

Le tableau 9 montre que le degré de salissement des stations est lié aux dates de labour, les labours précoces, qui suivent en général la jachère, correspondent à des parcelles propres, au contraire les labours tardifs semblent correspondre plutôt à des parcelles sales.

TABLEAU 9. - *Relation - date de labour-enherbement Juin.*

DL: date de labour

HJ: mauvaises herbes en Juin

HJ	DL				Total
	Février à Juil. 1970	Juin à Juil. 1970	Août à Oct. 1970	Novembre à Décem. 1970	
Propre à peu sale	13	3	29	5	51
Sale à très sale	8	12	14	10	44
	21	15	43	15	95

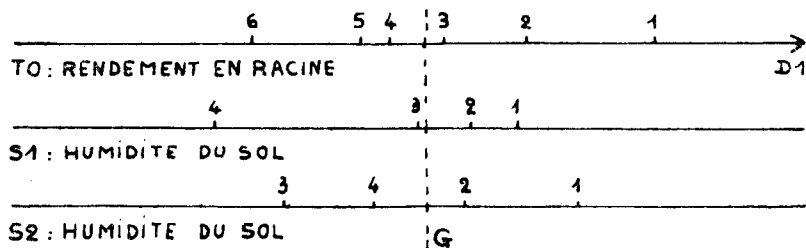
 $\chi^2 = 13,18^{++}$ 

dl = 3.

## 3.4. L'IRRIGATION.

La durée des arrosages est théoriquement uniforme sur le périmètre et fixée à 10 heures. Les quantités d'eau apportées peuvent donc être considérées comme proportionnelles à la pluviométrie horaires des asperseurs, elle-même déterminée par la pression d'utilisation.

Cette pression d'utilisation nous a permis de constater que, en 1970-1971, la grande majorité des asperseurs, fonctionnaient à une pression inférieure à celle, normale, d'utilisation. L'analyse des correspondances montre que le déficit de pluviométrie des asperseurs, (par rapport aux normes) correspond aux mauvais rendements (34-ème contribution-tableau 2). L'étude des rendements en relation avec l'humidité des différents horizons, mesurée avant et après une irrigation, confirme les résultats obtenus lors de l'analyse en régression. On constate que les liaisons les plus fortes existent entre l'humidité du sol avant irrigation (cette humidité traduit partiellement les déficits hydriques antérieurs à la date d'observation) et les rendements; c'est en particulier l'humidité de l'horizon 10-20 cm qui apparaît le plus lié aux rendements (figure 6). Après irrigation, seule l'humidité de l'horizon 0-10 cm se montre liée aux rendements en racine sur les stations.



S 1 HORIZON 0-10cm		S 2 HORIZON 10-30cm	
S 1 1	14 à 33 % DE HE	S 2 1	23 à 40 % DE HE
S 1 2	33 à 52 % DE HE	S 2 2	40 à 57 % DE HE
S 1 3	52 à 71 % DE HE	S 2 3	57 à 73 % DE HE
S 1 4	71 à 90 % DE HE	S 2 4	73 à 90 % DE HE

Figure 6. -- Projections des modalités « Humidité avant irrigation » sur le 1-er axe factoriel (Rendement en racine).

Lorsqu'on considère les constantes hydrodynamiques du sol, l'humidité équivalente apparaît fortement corrélée aux pourcentages de betteraves non marchandes ( $r = -0,33$ ) ce qui peut s'expliquer par la liaison qui existe entre l'humidité équivalente et le pourcentage d'argile des sols ( $r = 0,75$ ).

## 3.5. SALINISATION.

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances, confirment l'effet de la salinité sur les rendements, que nous avons constaté lors de l'étude en régression. Une forte conductivité de l'extrait 1/5 des sols et un fort pourcentage de saturation de la capacité d'échange par le sodium, correspondent aux rendements faibles (51-ème et 87-ème contribution).

L'effet de la salinité au niveau de la nutrition est encore plus net. Les fortes teneurs en sodium (16-ème contribution) en calcium magnésium (83-ème contribution) correspondent à des rendements faibles en racines de betteraves, tandis que des faibles teneurs en calcium, en magnésium dans les feuilles correspondent à des rendements en racines forts. La figure 7 montre les différentes liaisons

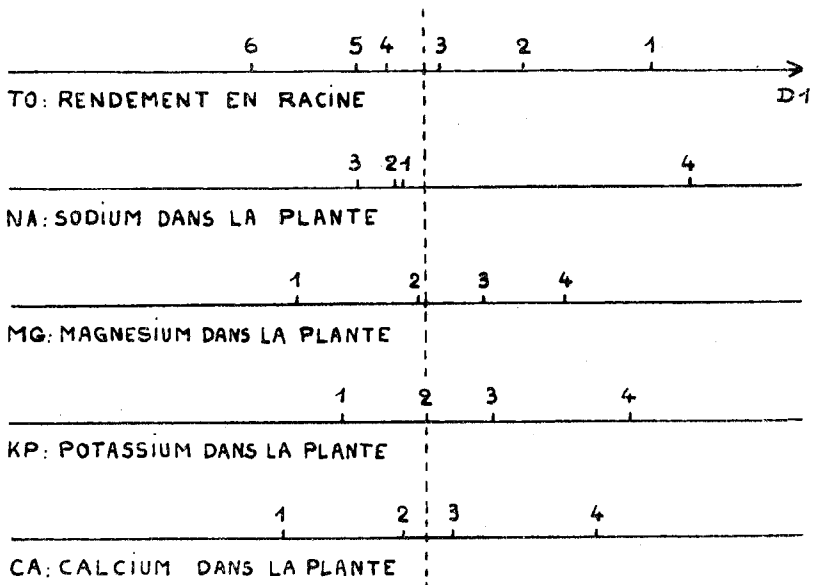


Figure 7. – Projections des modalités « teneurs en cations dans la plante » sur le 1-er axe factoriel (rendement en racine).

entre les facteurs liés à la salinité, de l'eau d'irrigation et des sols, et les rendements. On remarque une relation inverse entre les teneurs en potassium des feuilles et les rendements. Notons que le potassium dans la plante provient en partie de l'eau d'irrigation (aspersion des feuilles). La relation globale potassium de la plante-rendement traduit, probablement, un effet global de la salinité de l'eau d'irrigation puisque l'eau d'irrigation contient 6 mg/l de potassium mélangé aux autres cations.

## 3.6. LA NUTRITION.

L'analyse des correspondances n'a pas révélé d'effets particuliers liés à l'azote; par contre elle confirme la liaison forte entre le phosphore dans la plante et les rendements en racines. Les faibles teneurs en phosphore des feuilles possèdent la 25-ème contribution à l'explication des faibles rendements (tableau 2) tandis que les fortes teneurs en phosphore des sols possèdent la 43-ème contribution (tableau 3) à l'explication des forts rendements en racines (figure 1).

L'effet de la nutrition en bore a été confirmé par l'analyse des correspondances (figure 8) le bore joue un rôle important puisqu'il possède la 19-ème contribu-

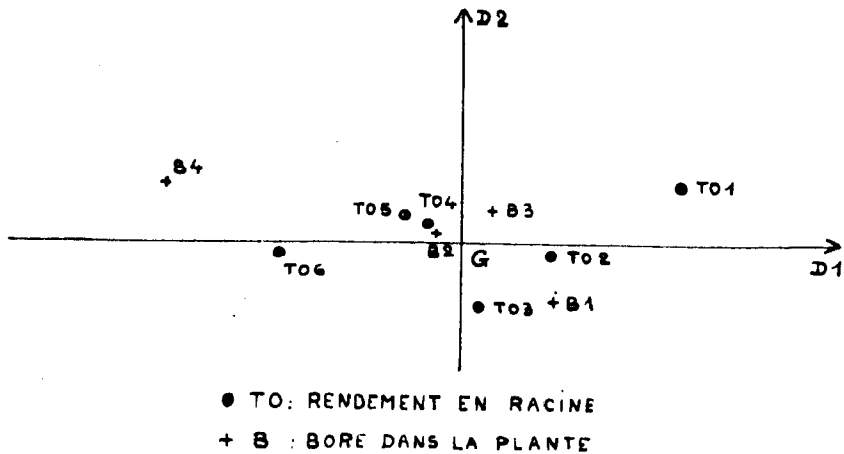


Figure 8. - Projections des modalités « rendement en racine » et « teneur en bore » sur le 1-er plan factoriel.

tion à l'explication des forts rendements et la 68-ème contribution à l'inertie des rendements faibles.

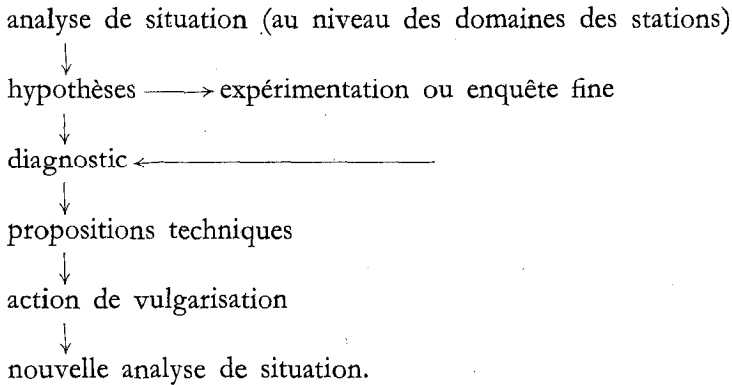
Notons enfin le rôle du manganèse; les rendements en racines les plus faibles correspondent aux fortes teneurs en manganèse (218-280 ppm) dans les feuilles. (tableau 2).

## 4. CONCLUSIONS.

L'enquête se proposait plusieurs objectifs: pédagogiques, méthodologiques, pratiques.

Au niveau pédagogique l'analyse du système population de betteraves-milieu-techniques a permis aux étudiants d'apprendre la cohérence de cet ensemble à partir d'un travail en vraie grandeur. L'étude d'un cas concret a

permis également d'associer l'enseignement aux processus du développement dans le cadre d'une pédagogie active. Ce type de recherche apparaît donc particulièrement adapté aux laboratoires de recherches ayant une fonction d'enseignement. Il débouche sur une réflexion au niveau de la rationalisation des actions de développement :



Au niveau méthodologique, les témoignages des chefs de cultures, les observations stationnelles, les mesures au champ ou en laboratoire, permettent de réunir une masse d'informations.

Il convient de ne pas perdre de vue l'importance de la caractérisation de la variable étudiée.

Pour être fiable l'échantillonnage doit être représentatif de la station étudiée, par exemple la densité des betteraves au mètre ne suffit pas à caractériser la compétition intraspécifique, il convient également de tenir compte de la régularité de la distribution des betteraves sur la ligne, qui dépend de la structure du peuplement. D'autre part, l'absence de liaison entre les attaques de casside et les rendements, peut être due à une mauvaise caractérisation de cette variable.

L'ensemble des données collectées donne une image de la situation, mais au-delà de cette description, il s'agit de dégager les relations entre variables, « d'expliquer », les rendements. On se heurte alors à deux difficultés au niveau du traitement :

- les variables prises en compte peuvent présenter des interactions,
- certaines variables sont qualitatives, d'autres quantitatives.

Les analyses en régression pas à pas ou sous contrainte positive permettent de lever partiellement l'effet des interactions, les analyses en régression permettent en outre de tester la signification des liaisons révélées par le traitement statistique, elles présentent cependant l'inconvénient de ne pas permettre une analyse effectivement globale puisque les variables discrètes ne sont pas, habituellement, traitées dans ce type d'analyse. Comme le souligne J. P. BENZECRI (1973) lorsqu'il

« convient de traiter simultanément des informations concernant le plus grand nombre possible de dimensions, le problème de la validité du test passe au second plan ». Dans notre cas l'analyse factorielle des correspondances a permis le traitement des variables discrètes.

Cette méthode est moins lourde que la méthode avec hypothèse linéaire généralisée à la prise en compte des facteurs qualitatifs proposée par GRAS *et al.* 1971. Dans notre cas, l'analyse en régression et l'analyse des correspondances ont donné, pour les variables communes, un classement assez proche (quant à leur « explication » des rendements).

Dans le cas de l'analyse des correspondances, ce classement a été obtenu à partir du calcul des contributions de chaque variable à l'inertie de l'axe des rendements en racines.

---

*Pour les régressions*


---

*Analyse des correspondances*


---

- pourcentage de betteraves non marchandes
- densité des betteraves au  $m^2$
- quantité d'eau
- pourcentage de saturation en sodium
- teneurs en bore des feuilles
- indice de dispersion
- durée de végétation
- phosphore dans la plante
- potassium dans la plante

- tailles des betteraves (= betteraves non marchandes, longueur des betteraves)
  - sodium dans les plantes
  - indice de dispersion
  - durée de végétation
  - pourcentage de sables grossiers
  - phosphore dans la plante
  - pourcentage d'agrégats stables à l'alcool
  - bore dans la plante
  - déficit de pression aux asperseurs.
- 

Il faut cependant souligner que ces résultats ont été obtenus dans des conditions qui étaient celles du périmètre d'El-Khemis pendant la campagne 1970-1971, il convient donc d'éviter une généralisation qui ne tiendrait pas compte de ces conditions spécifiques.

Au niveau pratique l'étude globale a permis de dégager la cinétique moyenne de salinisation des sols, l'influence de la salinité sur la nutrition et la fertilisation, en particulier sur la fertilisation phosphatée et potassique. L'importance accordée aux facteurs de la nutrition peut paraître excessive dans le cadre d'une enquête globale, on peut en effet, objecter qu'il existe des méthodes expérimentales plus efficaces et plus précises pour étudier ces facteurs. En fait les études négligent souvent l'influence de certains facteurs, tels que l'enracinement, la compétition, la stabilité structurale, sur la nutrition. Il s'agit là de facteurs difficiles à maîtriser dans le cadre d'un modèle expérimental plus ou moins simplifié.

Les travaux du sol étant assez uniformes sur le périmètre, nous n'avons pas intégré cette variable dans l'analyse. Cependant, l'effet de la stabilité structurale sur les rendements, la présence de forts pourcentages de betteraves fourches,



la présence de forts pourcentages de betteraves non marchandes, nous amènent à penser qu'il serait nécessaire d'étudier le problème du travail du sol.

En ce qui concerne le système cultural nous avons montré l'influence de la rotation sur les rendements. L'étude expérimentale des systèmes culturaux est longue et peu aisée. L'enquête globale nous a permis de dégager les relations entre les rotations et la salinisation des sols, les dates de labour, le salissement des parcelles par les mauvaises herbes, le parasitisme. De nouvelles enquêtes, en série chronologique, devraient permettre de mieux intégrer le facteur temps et d'appréhender ainsi l'évolution des systèmes.

Notre étude n'avait pas pris en considération les facteurs socio-économiques qui conditionnent certaines variables techniques ou écologiques, c'est pourquoi nous pensons qu'un tel travail devrait être élargi au système de production.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENZECRI J. P. et al., *L'analyse des données, II: L'analyse des correspondances*, Dunod, p. 617, (1973).
- CONESA A. P. - CAZES P. - TOMASSONNE R. - BAILLON P. - HADJ MILOUD D. - MAGNIEAU C. - LEMAIRE G., *Etude globale de la culture de la betterave sur le périmètre du Haut Chélif, I: Analyses en régression*, à paraître in Ann. Agron., (1975).
- GRAS R. - OSTY P. L. - DEFFONTAINES J. P. - MARIN LA FLECHE A., *Contribution à l'étude de la culture de la betterave à sucre sur des sols légers du Laonnais et de la champagne de l'Aisne*, Ann. Agron., 22 (5), 537-584 (1971).