

Possibilités d'étude de l'influence d'un aménagement bocager sur la croissance d'un maïs grain par l'analyse factorielle

Ph. MALET et R. DELECOLLE (1)

INTRODUCTION

Un aménagement bocager induit des modifications climatiques à la fois à l'échelle de la parcelle (GUYOT et VERBRUGGHE, 1976*) et à l'échelle de la zone aménagée toute entière (GUYOT et SEGUIN, 1976*).

Une étude prélimaire (SIMON, 1972) montre que l'effet «parcellaire» de l'aménagement sur la croissance et la production d'un maïs-grain (INRA 258) et d'un ray-grass italien consiste d'abord en une augmentation importante de la variabilité intraparcélaire. Ce résultat, ajouté à la constatation que les distributions des mesures ne sont pratiquement jamais gaussiennes (DELECOLLE et SIMON, 1976*), conduit à trouver d'autres méthodes statistiques que celles de l'analyse de variance, pour distinguer et mesurer chacun des deux effets climatiques.

Or, cet objectif peut être atteint par le biais de la recherche des phases de croissance ou de développement sur lesquelles les modifications climatiques agissent plus particulièrement. Pour ce faire, il faut disposer de méthodes d'analyse capables de prendre en compte des mesures de croissance et de développement échelonnés tout le long du cycle de la plante et purement descriptives (ne faisant appel à aucune inférence statistique).

A priori (CAILLEZ et PAGES, 1976 ; LEBART et FENELON, 1976), les méthodes d'analyse factorielle

répondent à ce besoin. Après une étude sur leurs possibilités et leurs limites d'utilisation pour les études de croissance et de développement (MALET et DELECOLLE, 1976), deux de ces méthodes ont été sélectionnées et mises en oeuvre pour comparer la croissance et la production d'un maïs-grain entre une parcelle bocagère et une parcelle dégagée.

Nous allons voir les possibilités qu'offrent ces méthodes de mettre en évidence les phases de croissance plus particulièrement sensibles au double effet climatique d'un aménagement.

MESURES ET MÉTHODES

1 — Mesures

On a utilisé les mesures de croissance sur maïs (variété LG7) effectuées en 1973 (DELECOLLE et SIMON, 1974) qui étaient :

- les hauteurs des tiges sous le panicule (HTI)
- les matières sèches des plantes entières (MPL)
- les matières sèches des épis (EPI)

Le tableau 1 donne les dates de ces mesures et les codes qui ont été utilisés dans les analyses (par exemple : la mesure de matière sèche des plantes entières du 22/6 sera codée MPL 1, celle du 9/7 MPL 2, etc...).

(1) - I.N.R.A., Station de Bioclimatologie, Domaine Saint-Paul 84140 MONTFAVET

TABEAU 1
Répartition temporelle et types de mesures de croissance effectuées sur MOREAC T et MOREAC ZO

Type de mesure	Codes de date				
	1	2	5	7	8
Moréac T					
		9/7	20/8		
	22/6	9/7	20/8	22/9	12/10
Moréac ZO					
		9/7	20/8		
	22/5	9/7	20/8	27/9	18/10

2 — Plan de prélèvement et méthode d'échantillonnage

Ces mesures ont été effectuées dans deux parcelles de la commune de MOREAC : l'une, MOREAC T, entourée de talus surmontés en majeure partie de chênes pédonculés d'une hauteur moyenne de 10 mètres, l'autre, Moréac ZO, entièrement dégagée.

La figure 1 représente le plan de prélèvement adopté sur Moréac T : tous les points de prélèvement sont à des distances des bords du champ multiples de la hauteur (h) des brise-vent et sur quatre profils parallèles à la direction dominante (SW-NE) des vents (1). Par analogie, le plan de prélèvement de Moréac ZO était strictement le même.

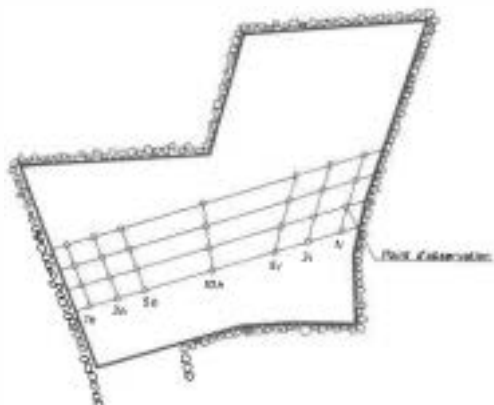


Fig. 1 : PLAN SCHÉMATIQUE DE LA PARCELLE MOREAC T.

A chaque point de prélèvement, les mesures étaient faites plante par plante : sur 20 plantes aux dates 1 et 2, sur 40 plantes aux dates 5, 7 et 8 en raison de l'évolution dans le temps de la précision (DELECOLLE et SIMON, 1976*). Ce sont les moyennes de ces échantillons qui ont été utilisées dans les analyses.

I — ANALYSE DESCRIPTIVE : L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

1 — Principe

Si nous considérons chaque mesure à une date donnée comme une variable, nous avons sur chaque parcelle (tabl. 1) dix variables mesurées autant de fois qu'il y a de points de prélèvement dans les parcelles (28 points : fig.1). Le tableau des données de chaque parcelle peut se représenter graphiquement de deux façons :

- en repérant chaque point de prélèvement dans un système de 10 axes correspondant chacun à l'ensemble des variables.

- en repérant chaque variable dans un système de 28 axes correspondant chacun à l'un des points de prélèvement.

Un des principaux objectifs de l'analyse factorielle des correspondances (A.F.C.) est de transformer

(1) Les distances sont exprimées par «h» quand on s'éloigne de la haie sous le vent, par «i» quand on s'éloigne de la haie au vent (h = i = 10 m environ)

ces deux repères en deux nouveaux repères de dimension beaucoup plus réduite de façon à pouvoir facilement visualiser les données, tout en perdant le moins d'information possible. Pour cela on recherche, à l'ordinateur, les combinaisons linéaires des variables (réciproquement des points de prélèvement) qui définissent des axes linéairement non corrélés (orthogonaux) et tels que les projections des individus (réciproquement des variables) sur ces axes déforment le moins possible la structure de départ des données.

On obtient ainsi, pour chacune des deux représentations de départ, un nouveau repère d'axes orthogonaux, appelés «axes factoriels» qui prennent chacun en compte une proportion connue et décroissante de la variance totale du tableau de données, et qui, de ce fait, sont hiérarchisés.

Chaque variable de départ (réciproquement chaque individu) «contribue» évidemment plus ou moins fortement à la variance attachée à chaque axe factoriel,

si bien que le classement des axes en fonction de la variance qu'il prend en compte induit une hiérarchie des variables de départ (réciproquement des individus). Cette hiérarchie est le principal fondement de l'interprétation.

Enfin, les deux nouveaux repères sont superposables car on démontre (LEBART et FENELON, 1973) que les axes factoriels de même rang extraient dans chaque analyse la même part de variance du tableau de départ.

La visualisation des résultats se fait par la projection des individus et des variables sur les plans factoriels formés par deux axes.

2 — Analyse de la parcelle bocagère MORÉAC T seule

Les deux premiers axes factoriels extraits par l'A.F.C. représentent respectivement 44 p. 100 et 28 p. 100 de la variabilité totale ; ils déterminent un plan factoriel représenté figure 2.

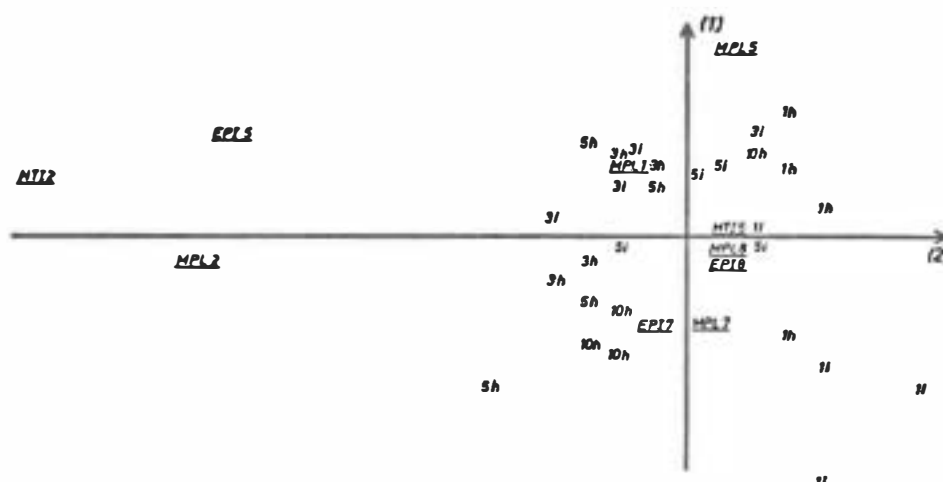


Fig. 2 : ANALYSE DES CORRESPONDANCES DU TABLEAU MOREAC T. : axes (1) et (2).

Les variables qui contribuent le plus au premier axe sont MPL 5, EPI 7 et MPL 7. Mais la variabilité de ce premier axe est, par rapport à l'objectif de l'étude, une variabilité «résiduelle», car elle provient de ce que les variables MPL 5, EPI 7 et MP 7 sont les variables qui ont la plus forte vitesse d'évolution au moment de leur enregistrement (MALET, 1976).

Sur l'axe 2, les variables aux plus fortes contributions sont EPI 5 et MPL 2, caractéristiques des phases précoces de croissance de l'épi et de la plante entière. D'autre part, si l'on relie les points d'une même distance au talus boisé (cf les distances 1 h et 5 h) on constate que les lignes brisées obtenues sont grossièrement parallèles à l'axe 1, et donc hiérarchisées par l'axe 2. Ainsi, l'effet intraparcellaire est visible sur l'axe qui est

en relation avec les variables de précocité ; l'effet «talus boisé» se caractérise donc par un accroissement de la précocité à certaines distances, notamment 3 h, 5 h et 3 i.

Notons que EPI 8 et MPL 8 contribuent seulement au troisième axe.

3 — Analyse de la parcelle ouverte Moréac ZO seule

Dans cette analyse, les variables aux plus fortes contributions sur le premier axe sont toujours MPL 5, MPL 7 et EPI 7. Par contre ce sont EPI 8 et MPL 8 qui contribuent le plus à l'axe 2 et non EPI 5 et MPL 2. D'autre part, les points de prélèvement ne sont hiérarchisés par aucun axe.

4 – Analyse des parcelles Moréac T et ZO ensemble

Le premier axe extrait 50,8 p. 100 de la variabilité, le second 24,6 p. 100 et le troisième 12,4 p. 100. La figure 3 représente le premier plan factoriel, sur lequel on constate immédiatement une nette séparation entre les points de Moréac T et ceux de Moréac ZO le

long du premier axe.

A ce premier axe contribuent les variables précoces MPL 2 et EPI 5 vers lesquels se placent les points Moréac T. Au second axe contribuent les variables MPL 5, MPL 7 et EPI 7. La structure des variables est donc analogue à celle de Moréac T à l'ordre des axes près. Le troisième axe décrit essentiellement la phase tardive (EPI 7, EPI 8, MPL 8).

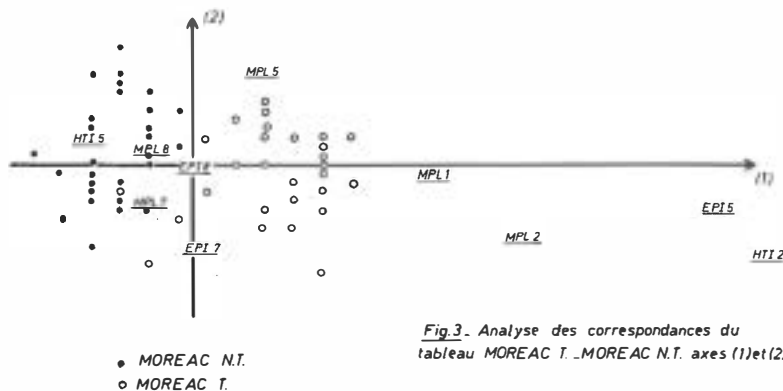


Fig. 3 - Analyse des correspondances du tableau MOREAC T - MOREAC N.T. axes (1) et (2).

Fig. 3 : ANALYSE DES CORRESPONDANCES DU TABLEAU MOREAC T – MOREAC ZO : axes (1) et (2).

La comparaison des résultats de cette analyse avec ceux des deux précédentes est très instructive

(tabl. 2). Elle fait apparaître trois groupes de variables.

TABLEAU 2

Comparaison des trois analyses factorielles des correspondances

On notera les changements de hiérarchie dans la contribution des mesures selon le type d'aménagement

ANALYSE CONSIDÉRÉE	Mesures ayant les plus fortes contributions aux axes		
	n° 1	n° 2	n° 3
Zone ouverte Moréac ZO	MPL 5 MPL 7 EPI 7	MPL 8 EPI 8	MPL 7
Bocage Moréac T	MPL 5 MPL 7 EPI 7	MPL 2 EPI 5	MPL 8 EPI 8 MPL 7
Zone ouverte + Bocage	MPL 2 EPI 5	MPL 5 MPL 7 EPI 7	MPL 8 EPI 8

- le groupe des variables ayant la plus grande vitesse d'évolution (MPL 5, MPL 7, EPI 7) : sur l'axe 1 pour la zone ouverte et pour le bocage seul mais sur l'axe 2 pour bocage + zone ouverte.

- le groupe des variables de rendement (MPL 8, EPI 8) : sur l'axe 2 pour la zone ouverte mais sur l'axe 3 pour le bocage seul et pour le bocage + zone ouverte.
- le groupe des variables de précocité (MPL 2,

EPI 5) qui apparaît sur l'axe 2 pour le bocage seul et passe sur l'axe 1 pour bocage + zone ouverte.

La comparaison entre les analyses zone ouverte seule et bocage seul permet de mettre en évidence l'**effet intraparcellaire**, plus simplement appelé «effet parcelaire» dû à la présence de talus boisés : il consiste en l'apparition en deuxième position hiérarchique du groupe des variables de précocité (MPL 2 et EPI 5), variables qui, nous l'avons vu, caractérisent les distances aux talus boisés ; il consiste également au recul en troisième position hiérarchique des variables de rendement (MPL 8 et EPI 8) avec une diminution notable de leur contribution absolue à l'analyse (surtout pour EPI 8).

La comparaison entre les analyses «parcelle bocagère seule» et «parcelle bocagère + parcelle ouverte» permet d'appréhender l'**effet interparcellaire**, qui est une des composantes de l'appréciation de l'effet global, ou encore «régional» de l'aménagement : il entraîne le passage en première position hiérarchique des variables de précocité (MPL 2 et surtout EPI 5) et le recul hiérarchique des variables ayant la plus grande vitesse d'évolution (MPL 5, MPL 7, EPI 7) qui étaient en tête pour les deux analyses précédentes.

L'**effet interparcellaire** est donc strictement de même nature que l'**effet intraparcellaire** : c'est un effet de précocité sur la croissance des plantes en début de végétation (MPL 2) et surtout des épis (EPI 5) (1).

En dehors de ces conclusions très importantes par rapport à l'objectif de l'étude entreprise, ces analyses montrent qu'une A.F.C. permet de classer les sensibilités relatives des variables et des périodes de croissance par rapport aux facteurs abiotiques en jeu. Par exemple, elles indiquent que les périodes pendant lesquelles la vitesse de croissance est la plus forte (dates 5 et 7) sont les phases les moins sensibles aux modifications climatiques en jeu dans cette expérience (il s'agit essentiellement d'une augmentation des températures de surface des plantes dans le bocage) et qu'au contraire les phases de début de croissance pour la matière sèche de la plante (MPL 2) et surtout pour l'épi (EPI 5) sont les plus sensibles.

II — ÉTUDE ANALYTIQUE DE L'EFFET INTERPARCELLAIRE : L'ANALYSE DISCRIMINANTE.

1 — Principe

L'analyse discriminante (REMEDER, 1973) est une forme particulière d'analyse factorielle qui consiste

à rechercher entre deux ou plusieurs groupes d'observations faites sur les mêmes variables, la combinaison linéaire des variables qui discrimine le mieux les deux groupes. Le critère de discrimination est, en gros, de maximiser la variance intergroupes (c'est-à-dire de rendre ces groupes les plus éloignés possibles les uns des autres) et de minimiser la variance intragroupes (c'est-à-dire de rendre les individus d'un groupe les plus proches possibles).

De plus, on emploie souvent une procédure pas à pas : on recherche d'abord la variable qui permet la meilleure discrimination entre les groupes ; puis on recherche la seconde variable qui, associée à la première, permet la meilleure discrimination à deux variables ; et on poursuit l'analyse en introduisant pas à pas toutes les variables.

On peut faire un certain nombre de tests statistiques sur la discrimination (ROUX et TOMASSONE 1973) :

- tester à chaque pas si la distance entre les groupes créée par la fonction discriminante est significative ;
- tester à chaque pas s'il est utile d'introduire les variables qui n'ont pas encore été utilisées ;
- tester si une des variables précédemment introduites ne devient pas inintéressante à la suite de l'introduction d'une nouvelle variable.

On calcule également la probabilité d'un mauvais classement et les probabilités *a posteriori* d'appartenir à tel groupe sachant que l'observation appartient à un groupe donné (le même puis tous les autres).

2 — Résultats

L'analyse discriminante pas à pas entre Moréac T et Moréac ZO fournit cinq variables discriminantes, dans l'ordre suivant : EPI 5, EPI 8, MPL 8, MPL 1 et HTI 5.

Ainsi la précocité de croissance de l'épi (EPI 5) et les variables de rendement final (EPI 8 et MPL 8) sont les variables les plus discriminantes entre les deux parcelles : résultat cohérent avec l'A.F.C. sur Moréac T et Moréac ZO réunies, et qui confirme que la variabilité du deuxième axe doit être considérée comme une variabilité résiduelle.

CONCLUSION

L'exemple décrit montre que l'emploi complémentaire de l'analyse des correspondances et de l'ana-

(1) On peut expliquer partiellement la participation apparemment faible (cf. analyse discriminante) du poids d'épi à la récolte (EPI 8) dans la discrimination par le décalage survenu entre les dates de prélèvement sur MOREAC T et MOREAC ZO (tabl. 1).

lyse discriminante permet de hiérarchiser la sensibilité des phases de croissance du maïs aux effets interparcellaire et intraparcellaire.

On met ainsi en évidence :

- une sensibilité de l'épi et de la plante entière en début et en fin de leur croissance respective en matière sèche, à la variabilité interparcellaire, dont l'effet climatique régional est une composante ;

- une sensibilité de la plante entière, en début de sa croissance en matière sèche, à la variabilité intraparcellaire dont la principale composante est l'effet de distance au talus protecteur.

Ces résultats restent cependant ponctuels, inféodés à une année climatique particulière et deux parcelles précises. C'est pourquoi cet exemple ne prétend pas résoudre définitivement le problème de la différence entre

aménagements, mais plutôt montrer comment on peut caractériser cette différence.

L'établissement d'une hiérarchie entre les phases de croissance de la plante par le biais de leur variabilité permet ainsi de simplifier le problème initial, en attirant l'attention sur les phases les plus sensibles, suivant l'effet que l'on se propose d'étudier.

Il faut pour cela conserver à l'esprit les limites de l'interprétation :

- les données prises en compte par l'analyse factorielle doivent être une description aussi précise que possible du cycle de la plante, afin de saisir la totalité des phases sensibles aux modifications climatiques ;

- on doit se garder d'interpréter la forte variabilité des phases de croissance les plus actives, comme un signe de plus grande sensibilité aux facteurs abiotiques.

SUMMARY

Factor analysis, a method for growth development and land planning studies

Factor analysis was applied to growth measures of maize performed both in a protected field and an open one.

Correspondance analysis (analyse factorielle des correspondances) shows that within fields varia-

bility due to wooden hedges is mainly created during the early stages of plant and ear growth. Likewise, a great deal of comportmental differences between the two fields results from these stages.

Discriminant analysis points out the importance of precocity and final yield in discriminating the two fields.

Thus, factor analysis appears as an useful set of methods for growth development and land planning studies at the same time.