

ELEMENTS DE REFLEXION POUR LA MISE AU POINT  
D'UN PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LA FERTILISATION AZOTEE  
DES CEREALES AU MAROC

-----  
Par J.C. TALINEAU  
(Département d'Agronomie)

Le déficit chronique céréalier du Maroc avoisine deux millions de tonnes chaque année. Au cours des dix dernières années l'accroissement du rendement moyen, actuellement de l'ordre de 12 quintaux à l'hectare, n'a guère dépassé 10%.

A elles seules ces trois données justifient l'attention et les efforts que l'on peut consacrer aux programmes de recherche sur céréales.

Une recherche sur la satisfaction des besoins en éléments nutritifs de ces cultures, en particulier azotés, peut également retenir l'intérêt dans la mesure où l'on dispose et/ou l'on va disposer très prochainement de variétés performantes permettant d'espérer de sensibles gains de rendement.

Un soin tout particulier devra être apporté à l'étude des variétés à paille courte dites semi-naines. A priori adaptées aux conditions culturales du Maroc caractérisées, en sec, par une courte saison de croissance en raison du risque élevé de déficit hydrique en fin de cycle, ces variétés offrent par ailleurs une bonne résistance à la verse, autorisant ainsi, en irrigué notamment, l'apport de fortes doses d'engrais azotés. Encore convient-il de vérifier que ces apports correspondent aux exigences variétales, ce qui revêt une grande importance étant donné le coût de production de cet élément fertilisant.

Avant de présenter un programme de recherche il est important de faire le point sur les travaux entrepris et en cours d'exécution sur le même sujet au sein du département d'Agronomie de l'Institut.

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

Fonds Documentaire

N° : 02703 x 1

Cote B

Date : 1981

## I/ - ANALYSE SOMMAIRE DES TRAVAUX ANTERIEURS

Il n'apparaît pas très utile d'être exhaustif en mentionnant et analysant tous les travaux accomplis sur céréales - limités en fait au blé et à l'orge- mais bien plutôt d'essayer de regrouper de manière simple les sujets de recherche pour bien montrer à la fois l'attitude conceptuelle et les motivations qui ont prévalu au moment de leur initiation et de leur développement.

Il est possible de distinguer deux grands thèmes :

- l'analyse des céréalicultures régionales,
- l'analyse des mécanismes au sein de la production végétale.

### 1.1 - Analyse des céréalicultures régionales

C'est avant tout une démarche par voie d'enquête destinée à l'analyse du suivi des pratiques culturales des agriculteurs. Elle a été largement développée en mettant à profit un processus pédagogique appelé "diagnostic agronomique" destiné à sensibiliser et initier les étudiants aux problèmes de développement agricole régional.

L'objet de recherche est une caractérisation des systèmes de production et de culture et la mise en évidence de contraintes et de freins à l'accroissement des rendements. Son outil d'analyse privilégié est l'établissement des itinéraires techniques et de l'élaboration du rendement par l'analyse des composantes de ce dernier, méthode extrêmement démonstrative dans le cas du blé.

Cette démarche est fondamentale et irremplaçable. Elle permet aux étudiants et enseignants de ne pas se couper du réel, de mesurer l'impact de la vulgarisation et la maîtrise technique des agriculteurs, de prendre conscience des disparités régionales etc. Si elle est orchestrée par un animateur elle est avant tout l'affaire de tous les enseignants qui se doivent d'y participer activement.

Cela n'empêche pas de souligner certaines limites :

- manque de précision et de fiabilité des données d'enquête sur les techniques culturales.
- forte hétérogénéité spatiale et temporelle en grande culture rendant encore plus aléatoire un minimum de contrôle des facteurs du milieu.
- difficulté à dépasser le constat et la comparaison de situation à un instant donné.

Ce thème a cependant pris une certaine ampleur dans les régions à déficit hydrique prononcé et a justifié une recherche spécifique conduisant à la mise en place d'expérimentation en grandes parcelles chez les agriculteurs portant sur le travail du sol, les dates de semis, la fertilisation etc... Apparenté le plus souvent à des essais "pour voir" ils permettent néanmoins après analyse la détection des principaux facteurs limitants du rendement. En ce sens ils constituent un préalable utile à d'autres essais, plus performants peut-être, destinés à tester, puis vulgariser en cas de succès, des innovations techniques.

Les objectifs ont été récemment redéfinis et il existe un projet d'expérimentation visant à tester, en milieu davantage contrôlé - surtout pour le facteur eau - des successions de culture plus performantes que les systèmes cultureux existants au sein desquelles le blé occupe une place majeure.

#### 1.2 - Analyse de mécanismes au sein de la production céréalière

En dépit de larges inter-dépendances on peut considérer quatre sous-thèmes dominants.

##### 12.1 - Méthodes d'observation du végétal

Appliquées à des études de développement, de croissance, d'élaboration du rendement, ces recherches ont contribué à mettre au point des techniques d'observation, comme par exemple l'échantillonnage, la définition et le repérage des stades de développement. Très nombreux dans la phase de démarrage des programmes, ces travaux de recherche doivent avoir un caractère pérenne d'absolue nécessité si l'on veut progresser dans la précision et le niveau des explications fournies.

##### 12.2 - Etude des mécanismes de croissance et de développement des céréales au champ sous conditions méditerranéennes

Ces recherches se sont efforcées d'expliquer les mécanismes de réalisation des principaux stades de développement en prenant en compte un certain nombre d'exigences biophysiques telles que la somme des températures, la durée du jour, les états hydriques du sol etc ; le plus souvent on a essayé d'approcher le déterminisme du tallage - épi et sa dépendance avec le tallage herbacé.

De telles recherches, qui sont loin d'être achevées ont un but final de modélisation de la croissance et du développement des céréales, principalement le blé.

### 12.3 - Etude de comportement global des peuplements au champ sous l'effet de divers facteurs

Ces études regroupent un certain nombre d'essais de techniques culturales dont les effets sont testés à partir d'une réaction de la plante, analysée souvent globalement mais parfois en interaction avec les facteurs du milieu, jusqu'à l'élaboration du rendement.

Une place particulière a été faite à des expérimentations de comparaisons de comportement variétal surtout axées sur des différences inter-spécifiques blé dur - blé tendre. On peut se demander pourquoi à partir de 1975 de tels essais ont été arrêtés et toute l'analyse ne porte plus que sur une seule variété. Non seulement on se prive d'une large gamme de variabilité mais on semble ignorer les nombreuses créations des sélectionneurs souvent testées sur leurs seules aptitudes à la résistance aux maladies et dont la variabilité de la croissance, du développement végétatif au travers de la réaction aux techniques culturales ne font pas l'objet de suffisamment de recherches.

### 12.4 - Etude de la nutrition azotée

Commencée très tôt dès 1972 cette recherche s'est tout d'abord limitée à l'étude des effets de la fertilisation azotée en interaction avec la densité de peuplement et la date de semis pour prendre en compte un effet climat. Les résultats de ces travaux, non seulement ne se situent pas à un niveau explicatif très élevé mais encore n'aboutissent pas à des recommandations pratiques fiables au sujet des doses d'engrais et des techniques d'application. On peut avancer quelques éléments d'explication à ce relatif plafonnement des investigations.

- Prise en compte d'un trop grand nombre de facteurs très souvent mal contrôlés. On aurait pu au moins chercher à travailler avec le facteur eau non limitant en installant quelques expérimentations en conduite irriguée.

- Insuffisance des observations au niveau du végétal et en particulier des hétérogénéités du couvert. Absence fréquente de la mise en relation d'états successifs de développement dont l'intensité aurait pu révéler et traduire l'effet d'un facteur par ailleurs contrôlé.

A partir de 1976 on voit se dessiner une nouvelle approche de la nutrition azotée des céréales essayant d'assurer un meilleur contrôle de la part de la fourniture en azote par le milieu sol, tentative fort louable mais analyse combien complexe de processus déterminés par tant de facteurs. L'objectif vise à établir un bilan prévisionnel de l'évolution des différentes formes de l'azote au sein du système plante-sol constituant la base du raisonnement de la fertilisation azotée. On ne peut manquer de souligner la nécessaire maîtrise d'ordre méthodologique, aussi bien dans le raisonnement théorique du problème étudié que dans la mise en place des expérimentations, exigée par cette recherche. Il serait souhaitable d'avoir un débat justificatif avant de continuer dans cette voie.

## II/ - ANALYSE CONCEPTUELLE D'UN PROGRAMME

L'analyse d'une culture de céréales prend place dans un des grands thèmes de la recherche agronomique concernant le fonctionnement d'un peuplement végétal cultivé. De manière schématique les recherches peuvent être conduites à deux niveaux :

- au plan de l'étude de l'expression de ce fonctionnement par l'analyse des états végétatifs des cultures et leur aboutissement en termes de rendement ; c'est le "comment" de l'étude,

- au plan du déterminisme de ce fonctionnement où l'analyse confronte les besoins des cultures à leur satisfaction par l'offre du milieu relayé et complétée par celle apportée par l'emploi de techniques culturales au sein d'un système de culture ; c'est le "pourquoi" de l'étude.

Examinons ces deux optiques .

### 2.1 - Constat du fonctionnement d'une parcelle culturale et choix d'un thème de recherche

L'expression générale de ce fonctionnement se manifeste par un processus général de croissance entrecoupé de processus de développement, l'ensemble aboutissant au rendement.

Dans ce schéma très général l'agronome distingue des phases particulières dont la réalisation est particulièrement importante et définies par des stades biologiques précis de la culture.

Ainsi dans le cas des céréales on pourra distinguer :

- une phase germination et levée,
- une phase tallage herbacé finissant à la montaison,
- une phase de formation et de remplissage des épillets qui est la période reproductrice où les phénomènes de développement sont dominants.

Nous choisissons de nous intéresser à la deuxième de ces phases qui constitue la période végétative pendant laquelle la croissance est un phénomène dominant. Le choix de ce thème de recherche, que l'on pourrait intituler déterminisme de la réalisation du peuplement épi, est motivé par le constat, fréquent quand on parcourt la campagne marocaine, d'un peuplement épi à la fois hétérogène et faible.

Nous indiquerons plus loin le contenu de cette recherche mais notons d'ores et déjà que compte-tenu des nombreuses attaques parasitaires que nous avons pu constater, dont le virus de la jaunisse nanisante est peut-être l'exemple le plus frappant, nous aimerions faire la part, dans cette régression des talles au moment de la montaison, de ce qui est d'ordre pathologique et de ce qui résulte d'une perturbation du fonctionnement physiologique.

Une telle recherche ne se conçoit pas sans un minimum d'analyse de la sanction finale du fonctionnement d'un couvert végétal c'est à dire le rendement. L'analyse de son élaboration en termes de composantes du rendement est, dans le cas des céréales notamment, suffisamment connue pour qu'il soit inutile d'y revenir. Plus souvent ignoré et donc beaucoup moins utilisé est l'indice de récolte établissant la part du rendement en grain dans la production biologique totale ; un tel critère, de plus en plus retenu par les sélectionneurs, présente un intérêt majeur pour juger des caractéristiques génotypiques, telle le semi-nanisme, et pour différencier les influences de certains facteurs de l'environnement.

Enfin si le rendement est généralement exprimé en matière sèche il n'en faut pas moins négliger certaines expressions qualitatives et en particulier dans le cas des céréales, les teneurs en azote des organes récoltés, la justification de ce point de vue appliqué à notre recherche sera fournie un peu plus loin.

## 2.2 - Analyse du déterminisme du fonctionnement et bases d'un protocole expérimental

Il ya fonctionnement parceque la mise en place d'une culture entraine immédiatement une demande biologique s'exprimant en besoins plus ou moins satisfait par l'offre du milieu et celle résultant des interventions de l'homme.

L'expression des besoins d'une culture se traduit par toute une gamme d'exigences biophysiques qu'il serait fastidieux d'énumérer; il suffit de se limiter aux besoins déterminants le processus biologique majeur que l'on a choisit d'étudier. Ce qui est important c'est de bien voir que:

- d'une part l'analyse du degré de satisfaction de ces besoins se fait au travers d'une réponse du végétal traduisant des états de croissance et de développement,

- d'autre part on analyse d'autant mieux a une gamme étendue de variabilité D'où l'idée d'introduire dans les traitements la variabilité due à l'effet variétal.

L'offre du milieu s'exprime le plus souvent en termes de contraintes mais on parle également de possibilités ou d'atouts quand les facteurs sont favorabl Là encore il est vain de faire la revue des facteurs climatiques et édaphiques mais plus profitable d'isoler des contraintes majeures ajustées aux besoins déterminants fixés au paragraphe précédent.

Une part importante de la satisfaction des besoins des cultures peut être assurée par la mise en place d'un système de culture prévoyant des successions culturales et l'utilisation de techniques culturales. Dans notre démarche la notion desystème cultural n'a que peu d'intérêt et il est avantageux de la remplacer par celle de choix des traitements expérimentaux. Ces dernier vont résulter de la considération des besoins les plus importants de la culture testée et des contraintes du milieu correspondantes qu'on s'efforcera de rendre soit non limitants soit d'une plus grande variabilité.

Compte-tenu du sujet de recherche choisi, déterminisme du peuplement épi incluant en majorité des phénomènes de croissance, il est raisonnable de penser que les facteurs les plus limitants vont être l'azote et l'eau . En conséquence il sera judicieux d'inclure dans le dispositif expérimental:

- d'une part un traitement irrigué permettant de rendre l'eau facteur non limitant,

- d'autre part un traitement doses d'azote destiné à accroître la variabilité contrôlée afin "deffacer" quelque peu la variabilité naturelle de cet élément.

Les fondements de notre programme de recherche étant ainsi posés il devient possible de définir plus complètement à la fois les thèmes qui en découlent et les premiers éléments du protocole expérimental.

### III/ - CARACTERISATION DES THEMES DE RECHERCHE

Outre le thème de recherche principal relativement fondamental sur le mécanisme de la réalisation du peuplement épi un certain nombre de thèmes plus appliqués peuvent être développés à partir du programme proposé.

Il s'agira le plus souvent de passer en revue quelques idées dont certaines demandent à être précisées, complétées et même critiquées.

#### 3.1 - Analyse du mécanisme de la réalisation du peuplement épi

Pour l'instant on peut imaginer

##### 31.1 - Deux recherches préliminaires

- La première consistant à caractériser la variabilité variétale des phénomènes de :

- vitesse de tallage et de montaison,
- potentialité de tallage, herbacé et épi,
- homogénéité de croissance,
- compétition entre talles ,
- régression des talles

- La deuxième s'efforçant de définir des méthodes d'observation

##### 31.2 - Quelques idées

- Sur les paramètres à mesurer , en termes de vitesse de croissance sur les caractéristiques telles que :

- le nombre de pieds,
- le nombre de talles par pied,
- le nombre de feuilles par talle ,
- l'ordre d'apparition et de disparition des talles.



- Sur la mise en relation de surfaces foliaires avec l'énergie interceptée par le couvert.

- Sur les analyses et interprétations possibles ; en particulier il serait intéressant d'effectuer une analyse comparée des hétérogénéités-au moyen d'une comparaison de variance. Dans l'espace et dans le temps et à plusieurs niveaux, dans l'espace notamment :

- celui de l'essai incluant les traitements retenus (variétés, doses d'azote),

- celui d'une parcelle d'un traitement particulier où les hétérogénéités peuvent se situer :

- à l'intérieur d'une touffe ou hétérogénéité intra-touffe,
- entre deux touffes contigües sur une ligne de semis ou hétérogénéité inter-touffe sur ligne ,
- entre deux séries de touffes sur des lignes contigües ou hétérogénéité inter-touffe entre lignes

### 3.2 - Etude de l'adaptation variétale à la sécheresse

Limitée aux essais conduits en sec c'est un thème appliqué qui pourrait consister en la mise en relation de la production de biomasse et de la LAI avec la consommation en eau ou mieux peut-être le rapport  $\frac{ETR}{ETP}$

Il y aurait donc nécessité de connaître ETR c'est-à-dire la fourniture d'eau aux plantes à partir des pluies et du stock d'eau du sol. Le calcul est relativement aisé quand il n'y a pas drainage ; il suffit de délimiter une profondeur de sol exploitée par les racines, éventuellement variable selon les variétés, et de réaliser un nombre limité de profils hydriques. En cas de drainage il faut évidemment accroître le nombre et la fréquence des relevés de profil hydrique.

### 3.3 - Analyse des réponses variétales à l'azote

Envisageable sur les expérimentations en sec et irrigué, elle a pour but de connaître l'accumulation d'azote total en fin de cycle et sa partition dans les différents organes, paille et grains.

Il serait également intéressant de suivre des niveaux d'absorption en cours de cycle pour définir des seuils critiques et des rythmes d'absorption ; cela est réalisable par dosage de l'azote soluble à l'eau c'est à dire les nitrates au moyen d'une électrode spécifique.

Enfin on peut établir un classement variétal fonction du coefficient d'utilisation apparent des engrais azotés.

### 3.4 - Analyse des potentialités variétales de rendement

Réalisable en culture irriguée elle consiste en l'analyse des composantes du rendement et de l'indice de récolte établissant des relations entre production de paille et des grains.

## IV/ - ELEMENTS DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL

La proposition est faite de commencer à travailler sur des variétés d'orge, en particulier semi-naines, afin de mettre à profit et de valoriser les importants travaux de sélection et les échanges de matériel végétal réalisés entre l'ICARDA (Syrie) et le CIMMYT (Mexique) d'une part et le Département d'Amélioration des Plantes de l'Institut d'autre part.

L'orge est en fait la céréale dont la culture est la plus répandue au Maroc. Que l'on se rende bien compte que toute amélioration de productivité pour cette espèce se traduira par une libération de surfaces au profit d'autres cultures en particulier le blé.

Volontairement rédigé de manière sommaire ce paragraphe sera repris plus en détail ultérieurement pour constituer la base du travail d'un étudiant du 3ème cycle agronomie. Cette rédaction définitive exigera un accord précis sur la définition et surtout la délimitation des objectifs retenus.

### Motivations,

- Importance économique de l'orge parmi les céréales cultivées au Maroc
- Faiblesse, en nombre, des travaux de recherche entrepris sur cette culture
- Volonté de promouvoir une collaboration entre les départements d'amélioration des plantes et d'agronomie, éventuellement une concertation avec les chercheurs de l'INRA intéressés .

### Objectifs

Dans une première étape :

- Connaissance des exigences optimales en azote des variétés choisies.
- Comparaison des rendements à ces niveaux optima de nutrition azotée.

Voir in fine, le prolongement éventuel d'une telle recherche.

### Techniques d'étude

- Contrôle et analyse de l'élaboration du rendement en composantes élémentaires.
- Sur un nombre limité de variétés, étude précise de l'installation, de la croissance et du développement du couvert végétal, en particulier analyse des phases levée, tallage et montaison. Prise en compte des phénomènes de compétition et compensation par l'étude des hétérogénéités intra-touffes.

### Conditions d'exécution

- Encadrement réalisé par MM. GALLAGHER (Amélioration des plantes) et TALINEAU (Agronomie).
- Deux zones d'étude prévues sur les stations INRA de Tessaout et Sidi Kacem offrant la possibilité d'une division du travail et d'une concertation entre deux étudiants, l'un agronome, l'autre généticien.

### Bases du protocole

- Expérimentation subdivisée en deux sous-essais, l'un conduit en sec, l'autre en irrigué. Nécessité de définir les conditions d'irrigation.
- Traitements
  - Une dizaine de variétés dont un certain nombre commune aux deux sous-essais ; on adjoindra éventuellement une variété de blé dur et blé tendre au dispositif.
  - Trois niveaux de fertilisation azotée en sec (0 - 60 - 120 unités à l'ha), quatre en irrigué (0 - 120 - 240 - 360 unités à l'ha). Niveaux de P et K non limitants. Nécessité de définir les conditions du fractionnement, en tout état de cause guidé par les résultats des études de croissance.
  - Quatre répétitions, les niveaux de fertilisation étant au préalable regroupés.

Compléments et prolongements éventuels d'une telle étude

- La **conduite** en sec devra être répétée dans le temps et pourra faire l'objet ultérieurement d'un essai complémentaire "date de semis".
- Très rapidement il faudra envisager, sur les variétés aux comportements les plus différenciés, l'établissement de courbes d'absorption et d'accumulation d'azote dans les principaux organes.
- Mise au point d'un test analytique de détection de seuils de carence en azote à différents stades végétatifs à partir de la détermination des teneurs en nitrates des tissus végétaux.
- Etude de l'interaction alimentation hydrique-nutrition azotée par le contrôle de l'état hydrique du milieu et la caractérisation de la résistance à la sécheresse.

R E M E R C I E M E N T S

*Je tiens à remercier tous les enseignants du département qui ne m'ont pas ménagé leurs encouragements et leurs critiques constructives pour mener à bien cette réflexion. Je suis particulièrement reconnaissant à F. LELIEVRE de m'avoir aidé à y voir plus clair dans les travaux sur céréales déjà accomplis par le département.*

*Enfin je remercie vivement L. GALLAGHER qui est à l'origine du choix de ce travail et qui sans relâche m'a fourni une sélection d'articles se rapportant au thème retenu : cela ne peut que bien augurer d'une future collaboration.*

---