

THÈSE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR INGÉNIEUR

« Sciences Agronomiques »

par

GBONGUE Douagbeu

Ingénieur Agronome de l'ENSA d'Abidjan

Influence de l'alimentation azotée sur l'élaboration du nombre de grains
d'un peuplement d'orge d'hiver (*Hordeum Hexastichum L.*).

Soutenue le 21 Mai 1985

devant la Commission d'examen

MM.	M. SEBILLOTTE	Président
	J. CHÉRY	Rapporteur
	R. BOURDU	Examineur
	J. MASLE	" "
	G. THÉVENET	" "

AVANT - PROPOS

- . Ce travail, dont le thème se conforme aux réalités concrètes de la Côte d'Ivoire, a été conçu et réalisé pendant trois années successives au sein du Laboratoire d'Agronomie de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.

- . Le Professeur Michel SEBILLOTTE, très au courant des problèmes de développement agricole et des besoins en matière de programme d'enseignement agricole des pays d'Afrique, nous a accueilli dans son Laboratoire et aidé à définir avec soin le profil particulier de ce travail. Il convient en outre de souligner qu'en nous acceptant au sein de sa dynamique équipe d'Agronomes, le Professeur Michel SEBILLOTTE avait d'emblée mis à notre disposition d'importants moyens matériels et intellectuels, nous faisant ainsi bénéficier de la réflexion et de l'expérience de son équipe, en particulier sur le plan de la méthodologie de travail. Pour toutes ces faveurs, nous tenons, au moment où ce travail arrive à son terme, à lui exprimer notre très respectueuse gratitude.

- . Puisse ensuite Josette MASLE, Chargé de recherches à l'INRA, trouver ici le témoignage sincère de notre reconnaissance. C'est tout d'abord à elle qu'est revenue la lourde responsabilité de la direction scientifique de cette thèse qu'elle a assurée avec une compétence sans faille. Faisant preuve d'une disponibilité sans demi-mesure, elle nous aura été d'un apport inestimable aussi bien sur les parcelles d'expérimentation qu'au laboratoire dans les délicats travaux d'analyse des données, de rédaction et de mise en forme finale, sacrifiant ainsi des week-end de repos pour voir aboutir ce travail. Le tout a été fait sans complaisance, avec un inlassable souci de rigueur et de respect de la vérité scientifique. Enfin, nous ne voudrions aucunement passer sous silence le permanent réconfort moral qu'elle a toujours su nous procurer dans les moments de dépressions d'ordre personnel.

- . Messieurs CHERY, Maître de Conférences à l'ENSAM de Montpellier ; BOURDU, Professeur de Physiologie Végétale à l'Université d'Orsay ; THEVENET, Chef du Secteur Agronomie de l'ITCF ont accepté de sacrifier une partie de leur temps pour juger le contenu de ce travail. Nous leur exprimons notre profonde gratitude.

- . Nous devons beaucoup à Jean-Marc MEYNARD, Maître-Assistant à la Chaire d'Agronomie de l'INA P-G ; il nous a toujours fourni des renseignements nécessaires à l'aboutissement de ce travail : qu'il trouve ici l'expression très amicale de notre reconnaissance.

- . Monsieur TROIZIER a assuré sur le Domaine Expérimental INRA de Grignon la mise en place et la conduite d'une partie de nos essais : qu'il en soit remercié.

- . Sur le terrain, à différentes reprises, nous avons bénéficié de l'aide des Techniciens du laboratoire, nommément : Charles BRUEDER, Cyrille BARRIER, Xavier CHARRIER et Pierre LABAT : nous leur en sommes infiniment reconnaissant.

- . La dernière année d'expérimentation (1983) s'est déroulée avec la collaboration de deux étudiants de 3ème année agronomie : Xavier CAPELLE et El Hassane HARGAL, nous les remercions de tout coeur.

- . Nos meilleures pensées vont également vers Monsieur RENAUD, responsable de l'ADANE à Noyon et son secrétariat ; ils ont gracieusement facilité nos tours de parcelles. Nous n'oublierons pas non plus d'adresser nos sincères remerciements à tous les agriculteurs du Noyonnais qui ont accueilli nos essais sur leurs parcelles et en particulier, Monsieur GERMAIN.

- . Enfin, dans la phase finale, nous avons bénéficié d'une équipe de dactylographes exceptionnellement efficace. Nous leur adressons nos meilleurs remerciements, en particulier à Madame Anne EYRAL (qui nous a, par ailleurs, rendu de nombreux services sur le plan administratif) et à Madame Genevière BAUDRAN.

- . Enfin, nous ne saurions terminer sans adresser toute notre sympathie à Jacqueline DECOIN ainsi qu'à Madame LOUBARESE dont l'amitié nous a été d'un grand bénéfice durant notre séjour à l'INA P-G ; et nos remerciements à tout le personnel de l'INA P-G et à toutes les personnes qui, de loin ou de près, ont contribué à l'aboutissement de cette thèse.

S O M M A I R E

	<u>Pag</u>
<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
 <u>PREMIERE PARTIE</u>	
DIAGNOSTIC DES EFFETS DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES	
<u>I - METHODES</u>	15
1 - <u>DISPOSITIF EXPERIMENTAL</u>	15
1.1. - Choix des sites expérimentaux	17
1.2. - Choix des traitements expérimentaux	19
1.2.1. - Traitements imposés	19
1.2.2. - Traitements "Agriculteur" NA	23
1.2.3. - Choix du matériel végétal	23
2 - <u>METHODES D'ETUDE - CONTROLES</u>	25
2.1. - Caractéristiques d'état du peuplement	25
2.2. - Caractéristiques d'état du milieu	27
 <u>II - RESULTATS</u>	 29
1 - <u>PRESENTATION GENERALE DES RENDEMENTS</u>	29
1.1. - Gamme de variation	29
1.2. - Effet des traitements	29
1.3. - Relation entre le rendement et ses deux principales composantes (NG/m ² et pIG)	33
2 - <u>ANALYSE DES VARIATIONS DU NOMBRE DE GRAINS/m²</u>	37
2.1. - Utilisation de l'engrais	37
2.1.1. - Coefficient d'utilisation apparent	37
2.1.2. - Facteurs limitant l'utilisation de l'engrais	39
2.2. - Relation entre nombre de grains-accumulation de matière sèche-quantité d'azote absorbée	41
2.3. - Rôle des modalités de fertilisation azotée dans les variations de la nutrition azotée. Influence du 1er apport d'azote	43
2.3.1. - Influence du 1er apport d'azote sur les conditions de nutrition précoces : analyse de l'état du peuplement au début de la montaison	43
2.3.1.1. - Comparaison des traitements 0 et Y	45
2.3.1.2. - Causes de variations de la croissance sur le traitement Y	49

	<u>Pages</u>
2.3.2. - Arrière effet du 1er apport d'azote sur le nombre d'épis et de grains/m ²	53
2.3.2.1. - Classement des composantes entre OM et et YM	53
2.3.2.2. - Influence d'une compétition temporaire pour N	57
2.3.3. - Causes de variation du nombre de grains/m ²	63
3 - <u>CONCLUSION GENERALE</u>	65

DEUXIEME PARTIE

INFLUENCE SUR LES NOMBRES D'EPIS ET DE GRAINS/m² D'UNE COMPÉTITION TEMPO-RAIRE POUR L'AZOTE PENDANT LA PHASE SEMIS-FLORAISON

I - <u>METHODES D'ETUDE</u>	69
1 - <u>PRINCIPES</u>	69
2 - <u>CHOIX DES TRAITEMENTS EXPERIMENTAUX</u>	73
2.1. - Facteurs de variation retenus	75
2.2. - Dispositif - Conduite des essais	79
3 - <u>CONTROLES</u>	81
II - <u>RESULTATS</u>	83
A/- <u>VARIATIONS DU RENDEMENT ET DE SES COMPOSANTES : EFFET GLOBAL DES TRAITEMENTS</u>	83
1 - <u>PRESENTATION GENERALE</u>	83
1.1. - Gamme de variation des rendements	85
1.2. - Relations entre rendement et absorption d'azote ..	85
1.3. - Rôle des différentes composantes du rendement dans ses variations	89
2 - <u>EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE NOMBRE DE GRAINS/m²</u>	89
2.1. - Analyse des courbes de réponse du nombre de grains/m ² aux modalités de fertilisation azotée	89
2.1.1. - Influence de la dose du 1er apport d'azote	89
2.1.2. - Influence de la date du 2ème apport d'azote	91
2.1.3. - Incidence du fractionnement de la dose totale : comparaison des traitements C et A2	91
2.1.4. - Niveau des nombres de grains en absence de fertilisation (Ø)	93

	Pag
2.2. - Constitution du nombre de grains/m ²	93
2.2.1. - Relation entre nombre de grains et nombre d'épis	93
2.2.2. - Variabilité intra-traitement des caracté- ristiques des talles fertiles	99
2.2.3. - Effet des traitements sur les caractéris- tiques de la population d'épis de maturité la plus précoce ("j")	101
2.2.3.1. - Nombre d'épis/m ²	101
2.2.3.2. - Nombre de grains/épi	101
2.2.4. - Effets des traitements sur les caractéris- tiques de la population de verdillons	
2.2.4.1. - Effectifs	105
2.2.4.2. - Nombre de grains/épi	105
3 - <u>CONCLUSION</u>	107
B/ - <u>DYNAMIQUE DE CROISSANCE ET DE DEVELOPPEMENT</u>	111
1 - <u>PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU CYCLE DE DEVELOPPEMENT</u> ...	111
1.1. - Dates de réalisation des stades de l'apex	111
1.2. - Apparition des feuilles	113
2 - <u>DYNAMIQUE DE CROISSANCE EN POIDS SEC</u>	115
2.1. - Influence de la dose du 1er apport N	115
2.1.1. - Comparaison des traitements Ø, A, B et C jusqu'à la date 4 pour chaque densité et site	115
2.1.1.1. - Essai GRI	115
2.1.1.2. - Essai NOY	115
2.1.2. - Influence du nombre de plantes/m ² : compa- raison des densités d1 et d2 de Grignon ...	12
2.1.2.1. - Influence sur la matière sèche/plante ..	12
2.1.2.2. - Conséquences à l'échelle de la surface..	12
2.1.3. - Comparaison des 2 sites	12
2.1.4. - Conclusion partielle	15
2.2. - Influence des variations de la date du 2ème apport	
2.2.1. - Comparaison des croissances observées après le 2ème apport d'N à celles observées en son absence	
2.2.2. - Adéquation de la dose du 2ème apport aux besoins du peuplement ultérieurs à son application	
2.2.3. - Conclusion partielle	

3 - <u>CROISSANCE ET ABSORPTION D'AZOTE</u>	
3.1. - Comparaison des traitements \emptyset - A - B avant application du 2 ^{ème} apport	135
3.2. - Influence d'une réalimentation du milieu en azote ..	139
3.3. - Conclusion partielle	141
4 - <u>CONCLUSION</u>	145
C/ - <u>EVOLUTION DE LA STRUCTURE DU PEUPEMENT DE TALLES</u>	147
1 - <u>DYNAMIQUE DU TALLAGE</u>	147
1.1. - Nombre moyen de talles/plante	147
1.2. - Constitution de la population de talles : étude des séquences de talles présentes aux différentes dates	
1.2.1. - Modèle de tallage potentiel	151
1.2.2. - Relation entre démarrage des bourgeons axillaires et statut nutritif	151
1.2.2.1. - Influence de l'installation d'une compétition pour l'azote ou la lumière	153
1.2.2.2. - Influence d'un retour à des conditions d'alimentation azotée non limitante	153
1.3. - Conclusion partielle	163
2 - <u>REPARTITION DE LA MATIERE SECHE ENTRE LES DIFFERENTES TALLES</u>	
2.1. - Analyse de la croissance avant application du 2 ^{ème} apport d'engrais	165
2.2. - Conséquences de la structure du peuplement au moment du 2 ^{ème} apport d'azote sur sa structure finale	171
2.2.1. - Nature des talles fertiles	171
2.2.2. - Matière sèche et nombre de grains des différentes talles à maturité	177
3 - <u>VARIATIONS DU NOMBRE DE GRAINS</u>	181
3.1. - Influence des rangs et histoire de la talle	181
3.2. - Influence des conditions de nutrition	181
3.2.1. - Variations du nombre de grains selon les modalités de fertilisation azotée	183

3.2.2. - Relation entre nombre de grains et nombre d'épillets totaux	185
4 - <u>CONCLUSION</u>	187
D/ - APPROCHE QUANTITATIVE DES VARIATIONS DE STRUCTURE DU PEUPEMENT A MATURITE, CAUSES DES VARIATIONS DES EFFECTIFS DES 3 POPULATIONS D'EPIS ET DE LEURS NOMBRES DE GRAINS	189
1 - <u>DETERMINATION DES EFFECTIFS NE1 - NE2 - NE3</u>	189
1.1. - Nombres d'épis potentiels obtenus en absence de com- pétition pour l'azote pendant la montaison	189
1.2. - Nombre d'épis obtenus en situation de compétition tem- poraire pour l'azote pendant la montaison	193
1.2.1. - Détermination de l'effectif NE1	193
1.2.2. - Détermination de l'effectif NE2	195
1.2.3. - Détermination de l'effectif NE3	197
2 - <u>DETERMINATION DES NOMBRES DE GRAINS PRODUITS PAR LES DIFFE- RENTES CATEGORIES DE TALLES FERTILES</u>	199
2.1. - Nombre de grains produits pour les épis NE1 + NE2	201
2.2. - Nombre de grains produits par les verdillons	203
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	209
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	225
<u>A N N E X E S</u>	233

INTRODUCTION GENERALE

En France, comme dans plusieurs pays d'Europe du Nord, on assiste depuis 1970 à une très forte augmentation des surfaces cultivées en orge d'hiver (*Hordeum vulgare* ou *Hordeum hexastichum* L.) : de l'ordre de 250 à 350 milliers d'hectares dans les années 1950-1970, ces surfaces représentaient en 1983 environ 1,2 millions d'hectares. Cette explosion, s'est largement faite au détriment de l'orge de printemps qui correspond actuellement à à peine 30 % des surfaces en orge contre 90 % après la guerre et encore en 1966.

Les niveaux de production nationale sont passés de 0,3 millions de quintaux en 1970 (MOULE, 1980) à près de 56 millions de quintaux en 1983 (enquête SCEES, 1983) du fait non seulement de cette augmentation des surfaces mais aussi d'une progression régulière du niveau de rendement/hectare, grossièrement parallèle à celle observée chez le blé d'hiver. Les rendements de ces deux céréales sont aujourd'hui du même ordre, voire légèrement à l'avantage de l'orge, si on considère l'orge à 6 rangs (56,4 et 52 quintaux en 1983 respectivement, 67 et 64,8 en 1984 !). Cette augmentation des rendements traduit l'évolution du matériel végétal : création de variétés plus productives (ex. BARBEROUSSE ou GERBEL pour lesquelles des rendements supérieurs à 100 quintaux sont couramment observés dans le Bassin Parisien), plus précoces (ex. HATIF de GRIGNON puis SONJA), présentant une meilleure résistance à la verse (ex. variétés ARES ou AGER produites par l'INRA à partir de 1959) et au froid. On dispose aujourd'hui de variétés à haut potentiel (BERBIGER et CHERY, 1978).

Cependant, les rendements effectifs sont souvent inférieurs à ce potentiel et extrêmement irréguliers à la fois entre petites régions (gamme de rendements des 69 départements français : 20 à 65 quintaux en 1983 (SCEES)), mais aussi entre parcelles implantées sous un même pédoclimat. Ainsi, entre des parcelles réparties sur 3 cantons voisins dans le Noyonnais, les rendements variaient de 35 à 65 quintaux en 1981, de 45 à 80 quintaux en 1980 (enquête Unité SAO - INA P-G). Ces derniers chiffres sont une illustration des variations interannuelles qui sont également fortes.

Cette variabilité n'est pas spécifique de l'orge d'hiver. Cependant, une étude comparative des statistiques de rendement orge-blé d'hiver, région par région, indique qu'elle est en tendance plus importante pour l'orge et ceci du fait d'extrêmes plus bas.

L'analyse de cette situation est complexe. Cependant, on peut avancer un certain nombre d'éléments d'interprétation :

- la maîtrise d'un certain nombre d'infestations parasitaires est, dans l'état actuel des moyens de lutte, problématique (rhynchosporiose, jaunisse nanisante, orge).
- traditionnellement destinée à l'alimentation animale, en autoconsommation, cette culture était et est encore souvent considérée comme secondaire par rapport à des cultures de vente

INTRODUCTION GENERALE

En France, comme dans plusieurs pays d'Europe du Nord, on assiste depuis 1970 à une très forte augmentation des surfaces cultivées en orge d'hiver (*Hordeum vulgare* ou *Hordeum hexastichum* L-) : de l'ordre de 250 à 350 milliers d'hectares dans les années 1950-1970, ces surfaces représentaient en 1983 environ 1,2 millions d'hectares. Cette explosion, s'est largement faite au détriment de l'orge de printemps qui correspond actuellement à à peine 30 % des surfaces en orge contre 90 % après la guerre et encore en 1966.

Les niveaux de production nationale sont passés de 0,3 millions de quintaux en 1970 (MOULE, 1980) à près de 56 millions de quintaux en 1983 (enquête SCEES, 1983) du fait non seulement de cette augmentation des surfaces mais aussi d'une progression régulière du niveau de rendement/hectare, grossièrement parallèle à celle observée chez le blé d'hiver. Les rendements de ces deux céréales sont aujourd'hui du même ordre, voire légèrement à l'avantage de l'orge, si on considère l'orge à 6 rangs (56,4 et 52 quintaux en 1983 respectivement, 67 et 64,8 en 1984 !). Cette augmentation des rendements traduit l'évolution du matériel végétal : création de variétés plus productives (ex. BARBEROUSSE ou GERBEL pour lesquelles des rendements supérieurs à 100 quintaux sont couramment observés dans le Bassin Parisien), plus précoces (ex. HATIF de GRIGNON puis SONJA), présentant une meilleure résistance à la verse (ex. variétés ARES ou AGER produites par l'INRA à partir de 1959) et au froid. On dispose aujourd'hui de variétés à haut potentiel (BERBINGER et CHERY, 1978).

Cependant, les rendements effectifs sont souvent inférieurs à ce potentiel et extrêmement irréguliers à la fois entre petites régions (gamme de rendements des 69 départements français : 20 à 65 quintaux en 1983 (SCEES)), mais aussi entre parcelles implantées sous un même pédoclimat. Ainsi, entre des parcelles réparties sur 3 cantons voisins dans le Noyonnais, les rendements variaient de 35 à 65 quintaux en 1981, de 45 à 80 quintaux en 1980 (enquête Unité SAD - INA P-G). Ces derniers chiffres sont une illustration des variations interannuelles qui sont également fortes.

Cette variabilité n'est pas spécifique de l'orge d'hiver. Cependant, une étude comparative des statistiques de rendement orge-blé d'hiver, région par région, indique qu'elle est en tendance plus importante pour l'orge et ceci du fait d'extrêmes plus bas.

L'analyse de cette situation est complexe. Cependant, on peut avancer un certain nombre d'éléments d'interprétation :

- la maîtrise d'un certain nombre d'infestations parasitaires est dans l'état actuel des moyens de lutte, problématique (rhynchosporiose, jaunisse nanisante, orge).
- traditionnellement destinée à l'alimentation animale, en autoconsommation, cette culture était et est encore souvent considérée comme secondaire par rapport à des cultures de vente

(blé en particulier), assurant une rémunération plus immédiatement palpable. Elle est donc préférentiellement localisée sur des terrains moins favorables que ceux alloués au blé (ainsi, en Noyonnais, des sols à dominante sableuse, séchants) ; en cas de concurrence avec d'autres cultures pour l'organisation du travail (ex. : apport d'azote au printemps), elle est placée en seconde priorité (GITTON, 1982).

- Les travaux concernant l'élaboration du rendement de cette culture et sa conduite sont peu nombreux. Ceci peut s'expliquer par sa faible extension jusque encore récemment, mais aussi probablement par le fait, qu'au nom d'une certaine identité des caractéristiques de leurs morphogénèses, on pense généralement que blé et orge sont assimilables donc a priori redevables des mêmes techniques. Le conseil technique, l'effort de vulgarisation portent ainsi essentiellement sur la 1ère céréale, sauf sur le thème de la qualité. Les pratiques des agriculteurs sont très variées, relevant principalement d'un empirisme hérité d'une expérience accumulée ; ou bien elles sont calquées sur celles vulgarisées pour le blé d'hiver. Ceci est particulièrement net des modalités de fertilisation azotée : dates des apports, raisonnement des doses selon la date et la densité de semis. Les enquêtes du SCEES (1983) montrent par exemple que le nombre des apports d'engrais azoté varie de 1 à 3, leur dose totale de 70 à 150 Kg/ha.

Un meilleur raisonnement de la fertilisation azotée repose sur une meilleure connaissance du fonctionnement de la plante et du peuplement, en particulier de la dynamique des besoins en azote et des relations nutrition azotée-composantes du rendement, qui, au moins quantitativement, sont différentes de celles observées chez le blé.

L'objet de cette thèse est de contribuer à cette connaissance. L'étude est focalisée sur l'analyse des effets de l'azote sur la croissance pendant la phase semis-floraison et la mise en place des composantes nombre d'épis et nombre de grains/m². Nous fournirons cependant un certain nombre d'éléments concernant le poids d'un grain.

Nous nous intéressons, ici, à l'aspect quantitatif du rendement. Cependant, la compréhension des variations du nombre de sites à remplir et de la taille de l'appareil végétatif au début de la phase de remplissage du grain est une composante indispensable à l'interprétation de différences de qualité de la production.

Ce travail a été mené au champ, au cours de deux années successives : 1982 et 1983, sur orge d'hiver à 6 rangs.

PROBLEMATIQUE

Face à une finalité de raisonnement de la fertilisation azotée, il s'agit d'explicitier tout au long du cycle, une chaîne de relations.



Les connaissances produites aux maillons (2) et (3) doivent donc répondre à un certain nombre d'exigences concernant :

- la nature des paramètres de caractérisation de l'alimentation azotée qui sont à retenir : ils doivent être compatibles avec les conditions de nutrition azotée créées par les modalités de fertilisation pratiquées dans des systèmes de culture réels et avec leurs gammes de variation.
- les phases du cycle et processus physiologiques qui sont à privilégier dans l'analyse : ils doivent être choisis en fonction des différences de comportement observées dans cette gamme de conditions et de leurs incidences quantitatives sur les composantes du rendement, variables de sortie dont il s'agit de prévoir le niveau.
- la nature des relations nécessaires : elles doivent permettre d'identifier l'intervention d'une limitation de la nutrition azotée, et être dans la mesure du possible, quantitatives.

Examinées au crible de ces exigences, les connaissances fournies par la littérature concernant les relations entre azote et élaboration du rendement présentent un certain nombre de limites importantes.

De nombreux auteurs ont examiné les relations entre fertilisation azotée et nombre d'épis ou de grains : les sens de variations obtenus sont connus et stables sauf lorsque les apports sont effectués très tardivement en fin de montaison : l'incidence de l'azote est alors, selon les expériences, nulle ou positive (WATSON, 1939 ; THORNE et WATSON, 1955) . Mais l'amplitude de la réponse à l'azote est très variable ; le plus souvent, on n'a pas la possibilité d'interpréter cette variabilité, car on ne dispose pas des variables intermédiaires de la relation : dose apportée → composantes du rendement, en particulier concernant les principales caractéristiques du milieu qui interfèrent sur l'utilisation de l'azote, ou encore la position dans le cycle cultural des traitements appliqués.

Des analyses effectuées à l'échelle de la plante apportent des informations importantes concernant l'influence de l'azote dans les processus de croissance et de développement qui interviennent dans la mise en place des composantes : ainsi des travaux de THORNE (1962), ASPINAL (1960-1961) concernant le processus de tallage et la répartition de la matière sèche entre talles ; de KIRBY et al. (1982) sur l'initiation des primordium de feuilles et d'épillets, puis sur leur apparition, de GALLAGHER et al. (1976) sur la croissance en poids sec et ses relations avec les composantes du rendement.

Ces travaux indiquent une large insensibilité à la nutrition azotée des processus d'initiation d'organes ou de différenciation de l'apex (FRANK et BAUER, 1983).

Ils permettent de préciser certains aspects de la physiologie de la nutrition (travaux sur la nitrate réductase (CHATTERJEE et al., 1983) et leurs conséquences sur la répartition de la biomasse entre talles (FLETCHER, 1974).

Mais, leur synthèse et insertion dans la chaîne précédemment définie, sont souvent problématiques. En effet, on ne dispose souvent pas des termes de passage entre les conditions créées par les traitements appliqués (souvent conditions artificielles) et la gamme des conditions créées par des modalités de fertilisation au champ. Or, on a plusieurs indications, par exemple, du rôle du rythme de la fourniture de l'azote, à même quantité (ASPINAL, 1961). De plus, ce sont des études sectorielles, portant sur des processus ou des variables dont les relations avec les composantes du rendement sont lointaines et souvent hors de l'objet de préoccupation des auteurs. On ne sait donc souvent pas si dans les conditions de l'expérience, les processus analysés sont limitants ou non pour la mise en place de ces composantes.

Cette situation justifie la démarche adoptée dans ce travail.

Dans une première étape, nous avons engagé un travail de diagnostic cultural dans une petite région du Bassin Parisien où l'orge d'hiver est en forte progression et soumis à des systèmes de culture diversifiés. Il s'agit d'explicitier le rôle des modalités de fertilisation azotée pratiquées ou vulgarisées dans les variations des conditions d'alimentation azotée du peuplement ; c'est-à-dire :

- d'identifier les caractéristiques de ces variations : moment du cycle où elles interviennent, durée ;
- de les hiérarchiser selon leurs incidences sur les nombres d'épis et de grains ;

- enfin, dans ces deux étapes, d'appréhender le rôle des principales caractéristiques du milieu et du peuplement qui interfèrent avec la fertilisation azotée pour la détermination des conditions de nutrition azotée : en particulier celles liées aux techniques culturales : date de semis, densité de plantes/m², état structural.

Cette première étape, devait permettre de formuler en des termes agronomiques et de hiérarchiser les questions à étudier pour expliciter le rôle de la fertilisation dans les variations de rendement

Elle a abouti à circonscrire comme une des questions à éclairer de façon prioritaire pour une meilleure conduite de la fertilisation : le rôle sur le nombre de grains d'un manque d'azote temporaire pendant les phases de tallage-montaison. L'étude de cette question fait l'objet d'une deuxième partie, corps de la thèse.

Les résultats disponibles montrent des similitudes très importantes dans les lois de morphogénèse des différentes céréales à paille, voire même plus largement des graminées à talles et dans leurs variations avec les conditions d'alimentation. Ainsi, la formalisation du processus de tallage proposé par MASLE (1982) sur blé rend compte également des variations du nombre de talles observées sur riz par DURR (1984) et semble tout à fait cohérente avec les observations de THORNE (1962) puis CANNELL (1969), sur orge. Plusieurs études indiquent que les règles de répartition de la matière sèche sont comparables pour les 2 céréales : en cas de limitation de la nutrition azotée, les observations d'ASPINALL (1961), FLETCHER (1974), sur orge, sont en accord avec celles de MASLE (1981) sur blé. Elles montrent que l'azote est d'abord utilisé pour la croissance des organes existants (arrêt du tallage avant réduction de la croissance des talles) et parmi eux, d'abord pour les talles les plus âgées.

Il était donc logique d'envisager une extrapolation à l'orge des connaissances acquises sur blé. En particulier : sur les relations entre croissance en matière sèche et niveau des composantes. MASLE (1981) montre que le démarrage des bourgeons axillaires, la senescence des talles au cours de cycle ont une origine nutritionnelle, c'est-à-dire sont principalement liés à la quantité totale de matériaux disponibles pour la croissance de la plante entière, et pas à la réalisation d'une étape particulière de l'organogénèse de l'épi. PRIOUL et GUYOT (1985) le confirment dans une autre gamme de conditions de nutrition azotée. BOIFFIN et al. (1975), FISCHER (1977), MASLE (1980) mettent en évidence l'existence d'une relation linéaire très étroite entre nombre de grains et masse de matière sèche élaborée jusqu'à la floraison.

Ces travaux ont fourni un certain nombre d'éléments de modélisation du nombre d'épis et de grains, qui sont actuellement utilisés pour raisonner les itinéraires techniques de conduite de la culture (MEYNARD, 1985), en particulier la fertilisation azo-

Mais l'extrapolation de ce type de résultats ne pouvait se faire d'emblée au moins dans ses aspects quantitatifs. A l'intérieur d'un schéma général de fonctionnement très comparable, les deux espèces présentaient a priori un certain nombre de différences susceptibles de fortement modifier l'expression de variations d'alimentation azotée.

Ces différences concernent en particulier :

- les relations entre croissance et développement : du fait de la position du cycle cultural par rapport au calendrier climatique et à la courbe de minéralisation de l'azote, les étapes de la différenciation de l'apex, les phases du cycle, se positionnent différemment sur la courbe d'évolution de la biomasse. Ceci est probablement accentué dans le cas des orges à 6 rangs, pour lesquelles les décalages dans les stades de développement des différents rangs d'épillets semblent importants (BONNETT, 1936). Dans la mesure où la vitesse de croissance pendant la mise en place de l'inflorescence apparaît très importante pour le nombre d'organes reproducteurs (Cf. travaux DURR, 1984 sur riz), on peut s'attendre à ce que cette caractéristique entraîne une sensibilité du nombre de grains aux variations des conditions de milieu, différentes de celle observée chez le blé.
- La sensibilité d'un certain nombre de processus au changement de régime azoté : ainsi, ASPINALL (1961) chez orge, observe une reprise de tallage consécutive à une réalimentation de plantes en azote intervenant après une période de limitation de la nutrition en cet élément. La reprise a lieu pour des apports qui, chez le blé, seraient insuffisants semble-t-il pour provoquer le même type de comportement.

Cet auteur, se référant à WATSON (1936) émet l'hypothèse d'une "souplesse", différente entre les deux espèces, concernant la réponse à l'azote.

Les observations de PIGEAIRE (1980) et DURR (1984) sur riz iraient dans le sens de cette hypothèse : les interruptions temporaires de tallage sous l'effet de limitation temporaire de la nutrition sont fréquentes en condition culturale alors que chez le blé, de telles limitations semblent généralement provoquer une interruption définitive de ce processus. Ceci pourrait suggérer l'existence de variations entre espèces, dans les seuils de nutriment nécessaires à l'expression des organes initiés, ou dans les règles d'allocation de la matière sèche entre talles, entre talles et bourgeons axillaires.

L'ensemble du travail a donc été conduit de manière à éprouver la possibilité d'utiliser, comme outil d'analyse des relations entre nutrition azotée et élaboration du nombre de grains chez l'escourgeon, des connaissances récentes élaborées sur d'autres

céréales à talles, en premier lieu le blé. Il participe ainsi de la préoccupation de dégager les éléments d'un modèle général de croissance et développement des céréales à paille voire même graminées à talles.

Cette préoccupation nous paraît très importante sur un plan méthodologique mais aussi pour un progrès plus rapide des connaissances.

PREMIERE PARTIE

DIAGNOSTIC DES EFFETS DE LA FERTILISATION
AZOTEE SUR LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES

ESSAI CODE	TYPE de SOL	PRECEDENT CULTURAL : BLE, avec PAILLE	DATE de SEMIS	NOMBRE de PLANTES/m ² (2)	MODALITE DE FERTILISATION AZOTEE SUR LE TRAITEMENT "AGRICULTEUR"	
					Dose Totale	Nombre d'apports
MIL	Alluvions sableuses	exportée	1/10	179	150	2
BOUA	Colluvions peu hydro- morphes	enfouie	3/10	183	185	4
BOUS	Sable	"	1/10	267	165	3
COT	L hydromorphe	"	30/09	218	150	3
HACL(1)	Limon sain	exportée	7/10	224	130	2
HACS(1)	Sable	"	"	236	130	2
GVM	L hydromorphe	enfouie	1/10	218	180	2
TEN	Sable	exportée	29/09	310	160	2
STB	LS sains	"	7/11	177	66	1
TIE	Limon sain	enfouie	7/11	293	76	1

Fig. 1 - Principales caractéristiques des parcelles retenues.

1 - METHODES

1. - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Compte tenu des objectifs assignés à cette étape du travail, on devait comparer différents régimes de fertilisation qui, d'une part, couvrent la gamme des modalités de fertilisation couramment pratiquées (dose et date d'apport), d'autre part, soient susceptibles de créer des conditions de nutrition azotée effectivement très différents pendant l'élaboration des nombres d'épis et de grains/m²;

Enfin, les traitements retenus et la structure des comparaisons devaient permettre d'isoler l'effet du mode de fertilisation, des autres sources de variation de la nutrition azotée du peuplement au champ : fourniture d'azote minéral par le sol, caractéristiques de l'enracinement (profondeur, dynamique) et ses conditions de fonctionnement (état structural du sol en particulier), dynamique des besoins par rapport au calendrier climatique et à celui des apports (nombre de plantes/m²). Les travaux accomplis sur blé ces dernières années dans différentes régions du Bassin Parisien ont montré la variabilité de ces différents paramètres d'une parcelle à l'autre et leur importance sur les courbes de réponse à la fertilisation azotée (MEYNARD et al., 1981 ; BOIFFIN et al., 1982).

Face à ces exigences, nous avons mis en place, en 1982, un dispositif multilocal associant au champ, enquête et expérimentation. Ce dispositif a été implanté dans l'oise dans une petite région couvrant un rayon d'une trentaine de kilomètres autour de NOYON. L'escourgeon y a subi une évolution très représentative de l'évolution générale constatée dans les régions de grandes cultures du Nord de la France. Traditionnellement cultivé sur les petites exploitations de polyculture élevage pour l'alimentation du troupeau, il est maintenant présent sur les grandes exploitations et de plus en plus destiné à la vente. Ses surfaces sont en forte extension.

Par ailleurs, en 1981, une action pluridisciplinaire⁽¹⁾ avait été engagée dans cette région et fournissait des informations concernant le milieu physique, très diversifiées, et les systèmes de culture pratiqués, ainsi que sur leurs incidences sur le comportement du blé d'hiver.

Dix sites d'expérimentation ont été retenus, avec en chacun la comparaison de plusieurs traitements, ne différant que par les modalités de fertilisation azotée :

(1) Fertilité et système de production en région de grande culture. Contrat de programme ECAR - Compte rendu 1981 - M. SEBILLOTTE -
Analyse de la reproductibilité des systèmes de production du Noyonnais - Recherche des solutions aux problèmes détectés et démarrage d'actions - tests de développement - Action incitative DGRST - Chaire d'Agronomie - juin 1982 -

ESSAIS	HACS BOUS TEN			TIE		STB HACL	GVM		BOUA		MIL
	SOLS SABLEUX	SOLS ARGILEUX	CRANLITES (RENDZINES)	SOLS LIMONEUX SAINS	SOLS LIMONO-SABLEUX SAINS	SOLS LIMONEUX peu HYDROMORPHES	SOLS LIMONEUX HYDROMORPHES	COLLUVIONS SAINES	COLLUVIONS PEU HYDROMORPHES	COLLUVIONS HYDROMORPHES	COLLUVIONS SABLEUSES
Etude géologique	Cuisien thanétien	Sparnassien	Lutétien	Limons loessiques	Limons sableux	Limons loessiques ou sableux	Limons loessiques ou sableux	Colluvions	Colluvions	Colluvions	Alluvions
Texture de l'horizon de surface (Ap)	SL ou S	A ou AS	(taux de CaCO ₃ élevé)	L ou LA	LS ou LSA	L ou LA ou LS	L ou LA ou LS	L, LA, LS LSA, AS	L, LA, LS LSA, AS	L, LA, LS LSA, AS	S ou SL
Hydromorphie (2)	1	5	1	1	1	2 ou 3	4 ou 5	1	2 ou 3	4 ou 5	4
Risques de disparition de plantes (levée et hiver) (3)		+		variables	+	+	+	variables	variables	variables	
Risques d'anoxie au printemps		++				+	++		+	++	++
Risques de compactations de la couche arable	+	++	+	+	+	+	++	+	+	++	++
Risques d'échaudage	+		+								+
Risques de pénétration difficile au printemps		++				+	++		+	++	++
Profondeur d'enracinement (en cm) (4)	50	90	90	110	profondeur du sable, ou 110	110	90	90	90	90	50

/ - risque nul ; + = risque faible ; ++ = risque élevé

(1) établies dans la même région à partir d'une expérimentation pluriannuelle (4 ans).
 (2) note 1 = pas de trace ; 2 = pseudogley entre 80 et 120 cm
 3 = " " 40 et 80 cm
 4 = " " 0 et 40 cm
 5 = horizon d'argile du sparnassien endohydromorphe dans le profil
 (3) risque : / nul ; + : faible ; ++ = élevé
 (4) profondeur maximum la plus fréquente atteinte à la floraison.

... des différents essais, caractéristiques vis-à-vis de l'élaboration du

- 3 traitements imposés, théoriquement homogènes, entre essais quant à leur réalisation et aux conditions de nutrition qu'ils devaient engendrer (Cf. Infra).
- un quatrième, non imposé, sur lequel le régime de fertilisation azotée et les autres techniques culturales étaient laissés à l'initiative de l'agriculteur et correspondaient à ses pratiques.

1.1. - Choix des sites expérimentaux

Le choix des sites effectué en cours d'hiver après implantation des peuplements a été imposé par le double impératif de couvrir des types de sols et des systèmes de culture différents.

Il n'était pas dans notre propos d'analyser les interactions entre la fertilisation azotée et ces éléments, mais il était nécessaire de se placer dans une gamme de milieux et techniques culturales suffisamment large pour qu'on puisse éprouver la stabilité des effets de la fertilisation azotée.

La Fig. 1 donne les principales caractéristiques des parcelles retenues. Les sols sont variés avec cependant une prépondérance des textures sableuses pourtant peu représentées dans la région relativement aux textures argileuses et limoneuses. Ceci traduit l'attitude la plus fréquente des agriculteurs, qui réservent préférentiellement ces sols séchant, à faible réserve utile, à l'escourgeon plutôt qu'au blé de maturité plus tardive ou a fortiori aux cultures d'été. Cependant, selon les observations de MEYNARD et al. (1984) effectuées sur blé d'hiver pendant quatre années successives dans le même secteur, la gamme de sols explorée était de nature à créer des variations importantes d'un certain nombre des caractéristiques précédemment évoquées : profondeur d'enracinement, état structural de la couche arable, régime hydrique en particulier (Fig. 2).

Parmi les éléments du système de culture, on a privilégié les variations de la densité de pieds, et des modalités de fertilisation azotée pratiquées par l'agriculteur (Fig. 1) :

- les nombres de plantes comptés en sortie d'hiver varient de 170 à 310 sans relation nette avec les dates de semis qui, pour la plupart des parcelles sont très groupées dans la 1ère décennie d'octobre, pour 2 seulement début novembre, date tardive relativement rare.
- les doses totales d'engrais sur le traitement NA varient de 1 à 3, mais surtout sont fractionnées de manière très variable, à la fois dans le nombre des apports (1 à 4) et leurs doses ; contrairement à ce qui est observé sur blé la dose totale est répartie de manière relativement équilibrée entre les différents apports.

TRAITEMENT CODE	APPORTS D'AZOTE		
	<u>AU SEMIS</u>	<u>EN SORTIE D'HIVER</u>	<u>AU STADE 1 cm</u>
00	0	0	0
0M	0	0	M (2)
YM	0	Y (1)	M

protection fongicide,
insecticide, anti-
verse systématique.

(1) (2) Y et M doses visant à une alimentation azotée non limitante pendant, respectivement, la phase semis - stade 1 cm ; stade 1 cm - floraison.
(Cf. texte p.

Fig. 3 - Définition théorique des traitements expérimentaux imposés sur chaque essai.

1.2. - Choix des traitements expérimentaux

1.2.1. - Traitements imposés

La nature théorique de ces traitements et leur mode de comparaison sont donnés FIG. 3.

. Traitement "YM"

Ce traitement est défini par 2 apports d'engrais, l'un (dose Y) réalisé en sortie d'hiver (mi-février) avant que dans cette région, le bilan hydrique ne s'inverse et que la minéralisation de l'azote ne devienne significative ; l'autre (dose M) devait être appliqué au tout début de la montaison, repéré par le moment auquel le sommet de l'épi est à 10 mm au-dessus de la base du plateau de tallage ("stade 1 cm").

Les quantités apportées visent à créer une alimentation azotée non limitante sur l'ensemble du cycle : la dose totale Y + M correspond à la dose X déterminée par application aux différentes parcelles de la méthode du bilan prévisionnel (HEBERT, 1969 ; REMY, HEBERT, 1977)

En l'absence d'informations précises sur les variations du rendement potentiel, le calcul a été fait sur la base d'un même objectif de rendement pour tous les essais, correspondant au rendement maximum enregistré les deux années précédentes, soit 80 quintaux/hectare. Y + M a ainsi été fixée à 160 unités, dose partout supérieure à la dose X calculée.

La dose Y, égale à 80 unités pour tous les essais, a été déterminée empiriquement ; disposant de peu de références pour cette culture pour effectuer un bilan partiel de l'azote jusqu'au stade 1 cm, on s'est appuyé sur les références disponibles sur blé dans la même petite région : pour tenir compte des différences de croissance hivernale entre les 2 céréales, on a appliqué une dose comparable à celle qui a été déterminée comme non limitante pour de fortes densités de peuplement de semis précoce, nettement supérieures à celles des parcelles considérées ici.

Ce mode de fertilisation est représentatif de celui adopté par certains agriculteurs sur orge (Cf. traitement NA des essais GVM, TEN) et très largement pratiqué sur blé depuis la vulgarisation de la méthode du bilan prévisionnel et le développement des modes de conduite intensifs. Il correspond, par ailleurs, dans son principe, aux recommandations récentes données pour les orges d'hiver par l'ITCF (1982)

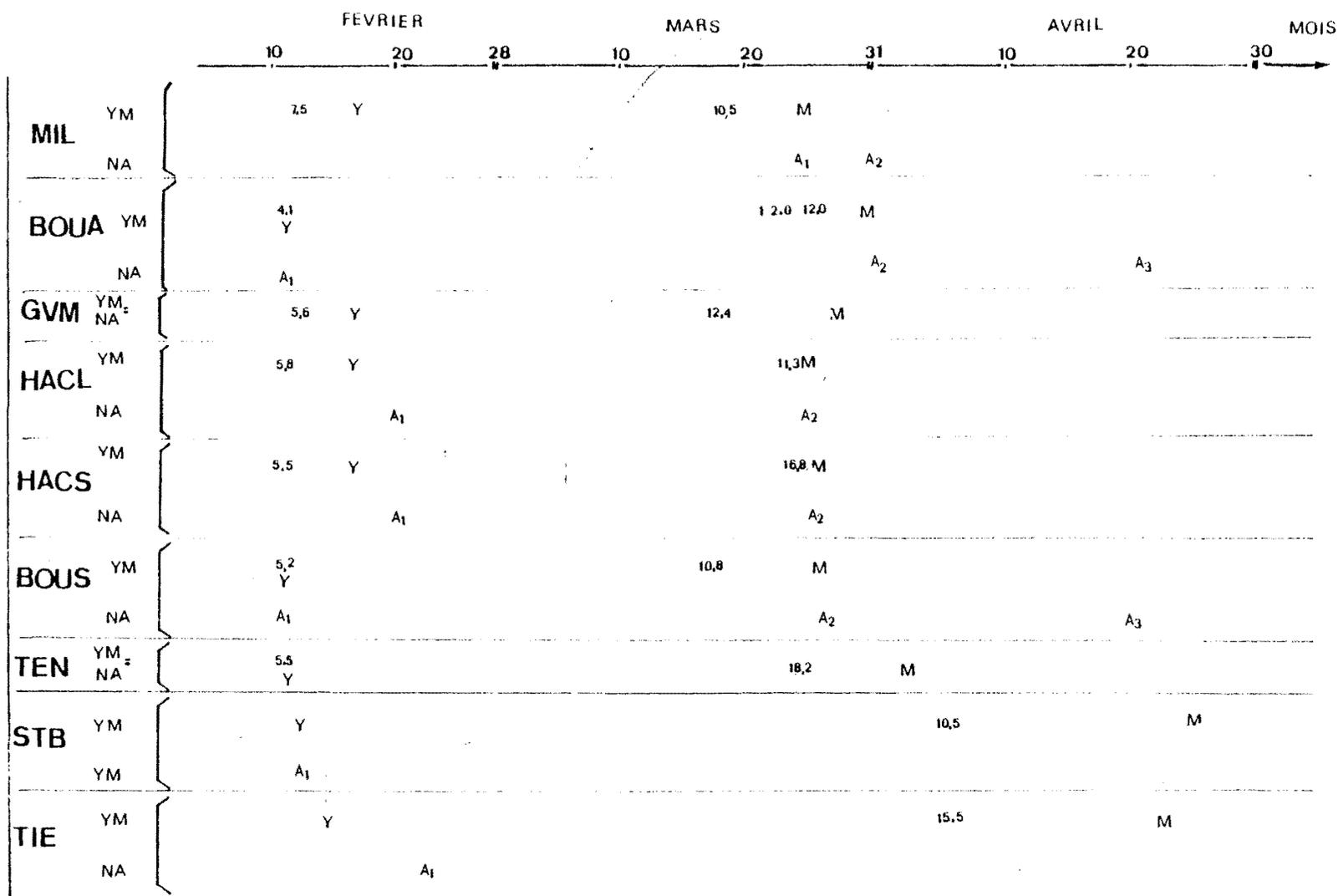


Fig. 4 - Calendrier des apports d'azote sur les différents essais, situés par rapport aux dates de prélèvements 1 et 2 et au stade du peuplement à ces dates. (stade décrit par la longueur tige + épi du brin maître (chiffre en mm); apports d'azote: Y et M et sur le traitement NA: A_i, l'indice i correspondant au i^{ème} apport)

. Traitement "OM"

Un seul apport (M) devait être appliqué, en même temps (stade 1 cm) et à la même dose (80 u.) que le deuxième apport effectué sur le traitement "YM" précédemment défini. Un seul apport d'engrais correspond à une pratique encore courante, en particulier dans les petites exploitations de polyculture-élevage où l'escourgeon est destiné à l'alimentation du troupeau et cultivé de manière relativement extensive (Cf. traitement NA des essais TIE et STB).

Les date et dose retenues pour ce seul apport permettaient une comparaison avec le traitement YM et par là de discuter l'intérêt d'un 1er apport d'azote par rapport à l'obtention du nombre de grains. Cette question a toute son importance dans une région où la portance d'un certain nombre de sols est faible jusqu'au début avril, ce qui rend problématique des interventions techniques plus précoces. Dans le cas où l'on n'effectuerait qu'un seul apport d'engrais, le stade 1 cm apparaissait a priori le plus pertinent à la fois par rapport à la dynamique des besoins en azote du peuplement et par rapport aux risques de réorganisation ou de lessivage d'une partie des apports précoces.

. Traitement "OO"

Aucune fertilisation n'est apportée. La seule source d'azote minéral est le reliquat laissé par le le précédent et la minéralisation. Ce traitement visait à réaliser des conditions où l'azote serait facteur limitant dominant sur tout autre (en particulier la lumière), pendant l'essentiel du cycle. Comparé au traitement OM, il devait permettre d'étudier l'influence de différences de nutrition azotée pendant la montaison.

Dans chaque essai, pour ces 3 traitements, on a ainsi créé une large gamme de richesse du milieu en azote, globalement sur l'ensemble du cycle, mais aussi sur chacune des deux grandes périodes constitutives de la phase semis-floraison : semis-début montaison ; début montaison-floraison. Les traitements OO et YM jouent un rôle privilégié intra et inter essais.

La comparaison des traitements "OO" entre essais permet d'évaluer les différences de fourniture d'azote par le sol, paramètre indispensable pour interpréter les différences de réaction à la fertilisation azotée. Celle des traitements YM permet d'apprécier les différences de rendement potentiel entre les essais.

Les traitements précédemment décrits étaient "imposés" dans la mesure où on fixait les doses d'engrais à apporter, et après observation du peuplement, leur date. Pour tous, traitement NA compris, on demandait une protection systématique, d'assurance contre les infestations parasitaires ou adventices et la verve. Mais leur réalisation était laissée à l'agriculteur.

CODE ESSAIS	TRAITEMENT	DOSE (data) DES DIFFERENTS APPORTS			DOSE TOTALE
		1er APPORT	2ème APPORT	3ème apport	
MIL	OM	0	80 (25/03)	-	80
	YM	80 (17/02)	80 "	-	160
	NA	0	80 "	-	80
GVM	OO	0	0	-	0
	OM	0	100 (27/03)	-	100
	YM	80 (17/02)	100 "	-	180
	NA	80 (20/02)	100 "	-	"
COT	OO	0	107 (25/03)	-	107
	YM	80 (17/02)	107 "	-	187
	NA	40 (23/02)	78 (18/03)	35 (16/04)	153
HACS	OO	0	0	-	0
	YM	80 (17/02)	80 (25/03)	-	160
	NA	80 (20/02)	50 "	-	130
HACL	OO	0	0	-	0
	OM	0	80 (25/03)	-	80
	YM	80 (17/02)	80 (25/03)	-	160
	NA	80 (20/02)	50 "	-	130
BOUA	OO ⁽¹⁾	45 (11/02)	0	-	70
	YM	" "	80 (30/03)	-	150
	NA	" "	45 "	85 (20/04)	180
BOUS	OO	0	0	-	0
	OM	0	80 (26/03)	-	80
	YM	80 (11/02)	80 "	-	160
	NA	54 "	50 "	60 (20/04-	164
TEN	OO	0	0	-	0
	YM	80 (11/02)	80 (3/04)	-	160
	NA	80 (")	80 "	-	160
STB	OO	0	0	-	0
	OM	0	80 (25/04)	-	80
	YM	80 (12/02)	80 "	-	160
TIE	OO	0	0	-	0
	OM	0	80 (23/04)	-	80
	YM	80 (15/02)	80 (")	-	160
	NA	76 (23/02)	-	-	76

(1) : sur BOUA, il y a eu un apport de 25 unités d'N/ha sur tout l'essai au semis.

Fig. 5 Modalités de fertilisation azotée - essais 1982 -

Les indications ont généralement été correctement suivies sauf dans quelques cas où :

- le traitement 00 n'existe pas (MIL - COT) ; la zone affectée à ce traitement a reçu de l'engrais par erreur ,
- le 2è apport (M) a été appliqué à un stade très différent du stade 1 cm, toujours plus tardif (Fig. 4) : ceci concerne 2 essais (STB et TIE : apport 3 semaines après la demande, à un moment où on peut estimer que la tige s'était allongée d'au moins 20 à 30 mm et aussi TEN). Mais dans tous les cas, intra-essai il a été fait à une même date sur les traitements OM et YM.

Les doses demandées ont été respectées, sauf dans 2 cas, où la dose M a été majorée, ce qui était une garantie supplémentaire d'être effectivement dans les conditions recherchées à savoir : azote non limitant pendant toute la montaison.

Les doses et dates des différents apports sont donnés Fig 5 et une indication du stade de la culture à ce moment là : Fig 4.

Pour les autres interventions techniques en cours de végétation, on se reportera ANNEXE 2

1.2.2. - Traitements "Agriculteur" NA

Dans un certain nombre d'essais, ils sont comparables aux traitements imposés ou présentent avec eux des termes de passage (Fig 5.). Mais globalement, du fait de leur diversité entre essais, ils ne pourront être caractérisés, du point de vue des conditions de nutrition azotée, qu'après la confrontation intra et inter-essai des 3 traitements imposés, qui en fournira les clés d'interprétation.

1.2.3. - Choix du matériel végétal

L'ensemble des essais ont été implantés avec une orge à 5 rangs, d'une même variété : BARBEROUSSE. Cette variété était en forte progression en 1982 et est actuellement au premier rang des variétés cultivées. Elle est, par ailleurs, précocce ce qui limitait les risques de déficit hydrique en fin de cycle.

2 - METHODES D'ETUDE - CONTROLES

La méthode utilisée pour mettre en évidence et interpréter les effets des traitements procède de la méthode d'analyse des composantes du rendement (SEBILLOTTE, 1980 ; MEYNARD, et SEBILLOTTE, 1982). Le rendement a été décomposé en deux termes, nombre de grains / m² et poids d'un grain dont les niveaux ont été interprétés en relation avec d'une part les états successifs du peuplement aux différentes étapes de leur mise en place, d'autre part les états du milieu aux mêmes périodes.

Les caractéristiques d'état enregistrées, ont été retenues sur la base des connaissances théoriques concernant les relations entre alimentation azotée et nombre de grains.

2.1. - Caractéristiques d'états du peuplement

- les principales sous-composantes du nombre de grains/m² : nombre de plantes (NP/m²), nombre d'épis (NE/m²), nombre de grains/épi (NG/NE).
- la biomasse aérienne et sa teneur en azote en sortie d'hiver (date 1 = courant tallage pour la plupart des essais, sauf pour les deux semis tardifs (TIE et STB : stade 3 feuilles), puis au tout début de la montaison (date 2 = stade voisin du stade 1 cm), enfin à maturité (biomasses paille et grain). La littérature fournissait en effet plusieurs indications, convergentes, d'une étroite relation entre mise en place du nombre grains et dynamique de croissance : sur blé, en absence d'accident à la fécondation, on constate ainsi une relation très stricte entre NG/m² et biomasse de l'appareil végétatif à la floraison ou la récolte (Cf. Introduction). La stabilité de cette relation pour des modalités de variations ou la biomasse très différentes (position dans le temps ; cause) et sa validité aux échelles de la plante et la talle (MASLE, 1980) montrent qu'il s'agit d'une relation fonctionnelle. Sur une même céréale, la biomasse fabriquée au début de la montaison est déterminante du niveau du potentiel de nombre d'épis/m² (MASLE, 1980), composante importante pour les variations du nombre de grains. Sur riz, DURR (1984) observe une relation entre la vitesse de croissance au début de la montaison et le nombre d'axes de la panicule.

Enfin, la biomasse est une variable continue, qui peut être suivie dans le temps et de plus, est homogène à des quantités d'azote absorbées. Elle était donc une des variables privilégiées pour interpréter et quantifier des différences d'alimentation azotée.

- certaines caractéristiques de la structure du peuplement : nombre de plantes/m² ; structure de la population de talles : nombre de talles, nature c'est-à-dire position sur la plante (ordre et rang définis par le numéro de la feuille axillante) ; stade foliaire et poids sec. Ces observations ont été effectuées aux dates 1 et 2, dates (théoriques) des apports d'azote et, pour la date 2, d'une modification importante de la dynamique des besoins en cet élément. Les résultats de MASLE (1980, 1982) sur blé montrent en effet que la réponse du peuplement à une modification de son statut nutritif dépend fortement de sa structure au moment où la modification a lieu. Or, les différences entre essais de la structure du peuplement au moment des apports allaient être a priori très importantes (Cf. les variations du NP/m², de la date de semis, des stades d'application des apports).

Par ailleurs, caractérisant le peuplement au moment des apports, on pouvait dissocier les effets de chacun d'eux et avoir des éléments d'interprétation de leurs interactions.

- les états des capteurs racines et feuilles : profil racinaire à la floraison (Cf. ANNEXE 1.2) moment auquel le système racinaire a sa dimension maximale ; état sanitaire du feuillage et du pied au début de la montaison et pendant le remplissage du grain. Ces caractéristiques ont été notées sur la parcelle. Par contre, les trois groupes précédents sont issus d'observations destructives de plantes prélevées par petites surfaces élémentaires, (en général 10 placettes de 0,20 m²/traitement) sauf pour la structure du tallage qui a été établie sur 100 plantes prélevées ponctuellement sur la parcelle par tirage au hasard.

2.2. - Caractéristiques d'état du milieu

Il s'agissait de traduire les traitements en termes de facteurs et conditions de la croissance et du développement des plantes. Les contrôles ont concerné :

- les quantités d'éléments minéraux majeurs : pour P et K : analyse chimique du sol, pour l'azote : mesure des quantités d'azote minéral présentes dans le profil en sortie d'hiver ;
- l'état hydrique du sol n'a pas été suivi car aucun déficit climatique important n'est intervenu avant la floraison (Cf. ANNEXE 3.1)
- l'état structural de la couche labourée et des horizons sous-jacents (porosité en particulier) ainsi que l'existence de conditions réductrices ;

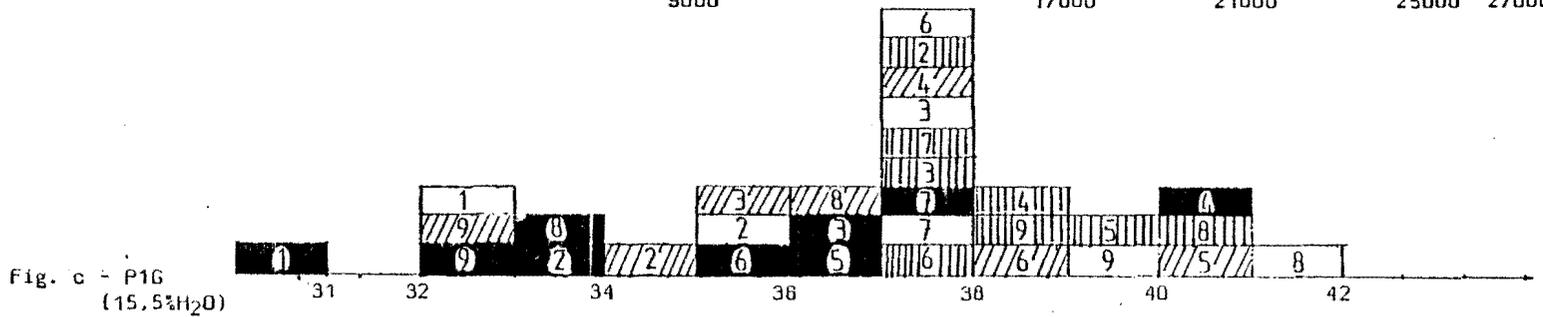
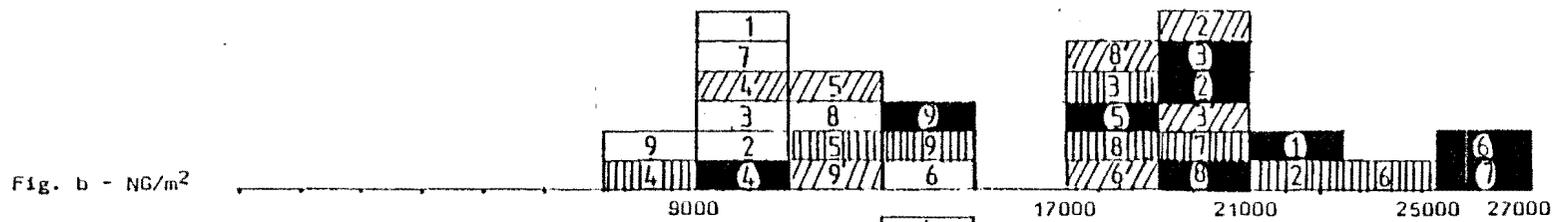


Fig. 6 - Histogrammes de rendements et de leurs principales composantes.

- les principales composantes climatiques : températures, pluviométrie. On ne disposait pas de possibilités d'enregistrement direct sur les parcelles. Le poste climatique de référence utilisé pour tous les essais est celui de St Quentin, pour les températures, Noyon (Adane) pour les pluies.

Le détail du protocole d'observation : échantillonnage, conventions de notation est donné en ANNEXE 1.

II - RESULTATS

1 - PRESENTATION GENERALE DES RENDEMENTS

(Cf. ANNEXE 4 le tableau de synthèse des niveaux du rendement et de ses principales composantes pour l'ensemble des traitements).

1.1. - Gamme de variation

Les rendements obtenus couvrent une gamme très étendue de 28 à 94 quintaux (Fig. 6a). Cette gamme n'est pas créée par la présence des parcelles non fertilisées (00), bien qu'elles soient distribuées dans les classes des rendements les plus faibles (25 à 60 quintaux). Il existe une forte variabilité de rendement pour chaque mode de fertilisation en particulier 00 et YM, ce qui traduit l'existence de fortes variations entre essais des quantités d'azote fournies par le sol ainsi que des niveaux des facteurs et conditions de milieu autres que l'azote.

1.2. - Effet des traitements

Le classement des rendements moyens des différents traitements, tous essais confondus, est le suivant :

00	<	0M	<	NA	<	YM
40,9		59,4		64,7		67,3 Quintaux

Au sein de chaque essai, les traitements 00 sont inférieurs d'au moins 15 quintaux et même le plus souvent d'au moins 25 quintaux au plus faible des rendements obtenus sur les traitements fertilisés.

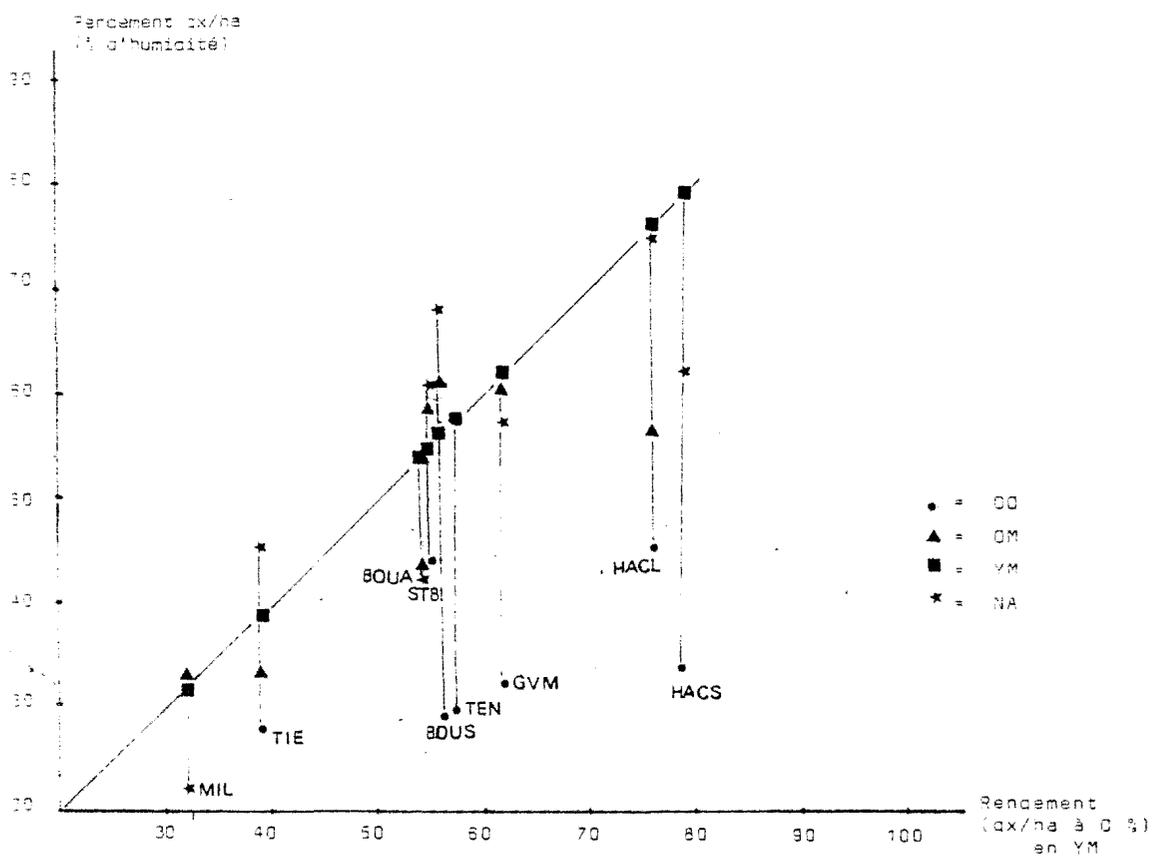


Fig. 7 - Confrontation des rendements entre le traitement VM et les autres traitements pour chaque essai.

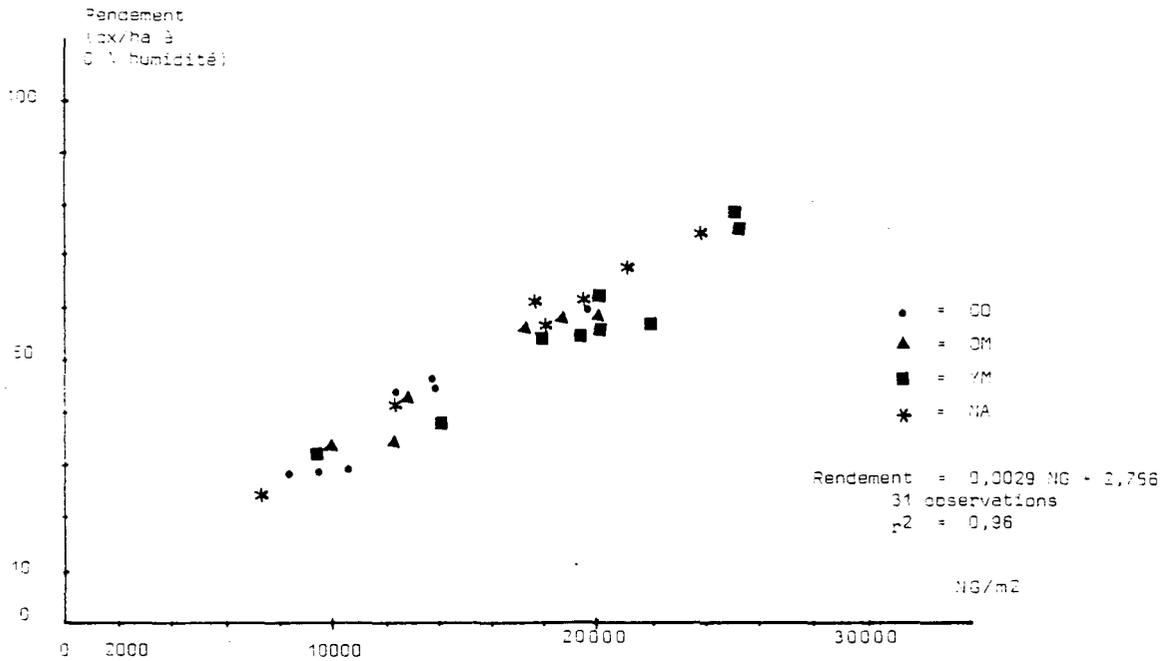


Fig. 8a: Relation entre rendement (Rdt) et nombre de grains au m² (NG)
(1 point = un traitement, moyenne de 10 placettes)

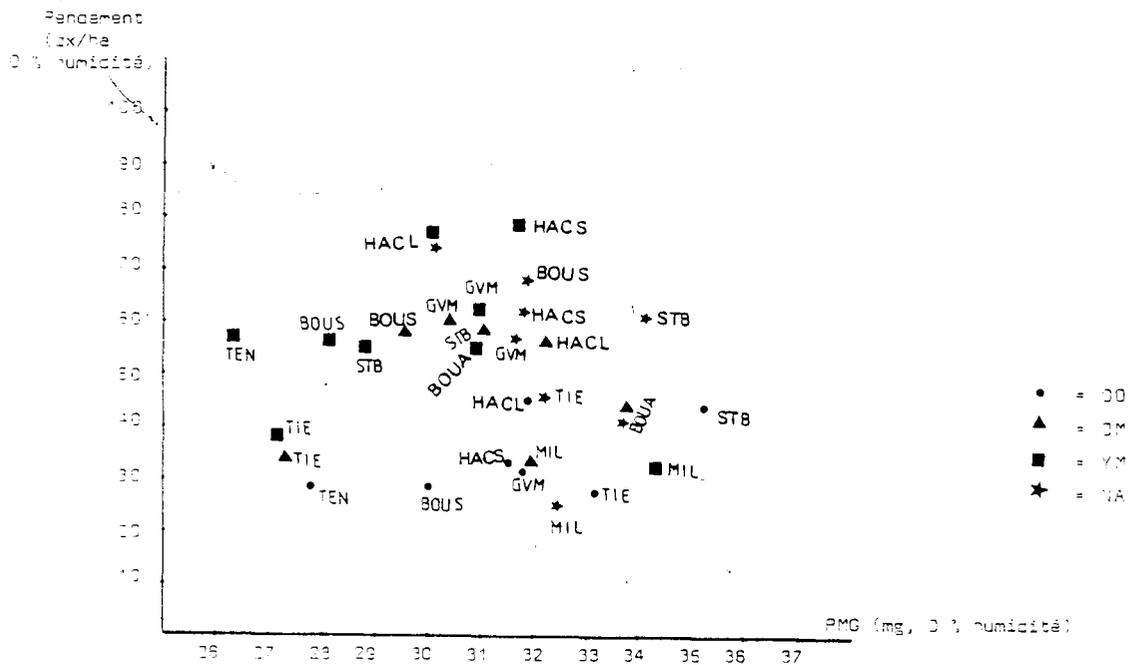


Fig. 8b - Relation entre rendement et poids d'un grain

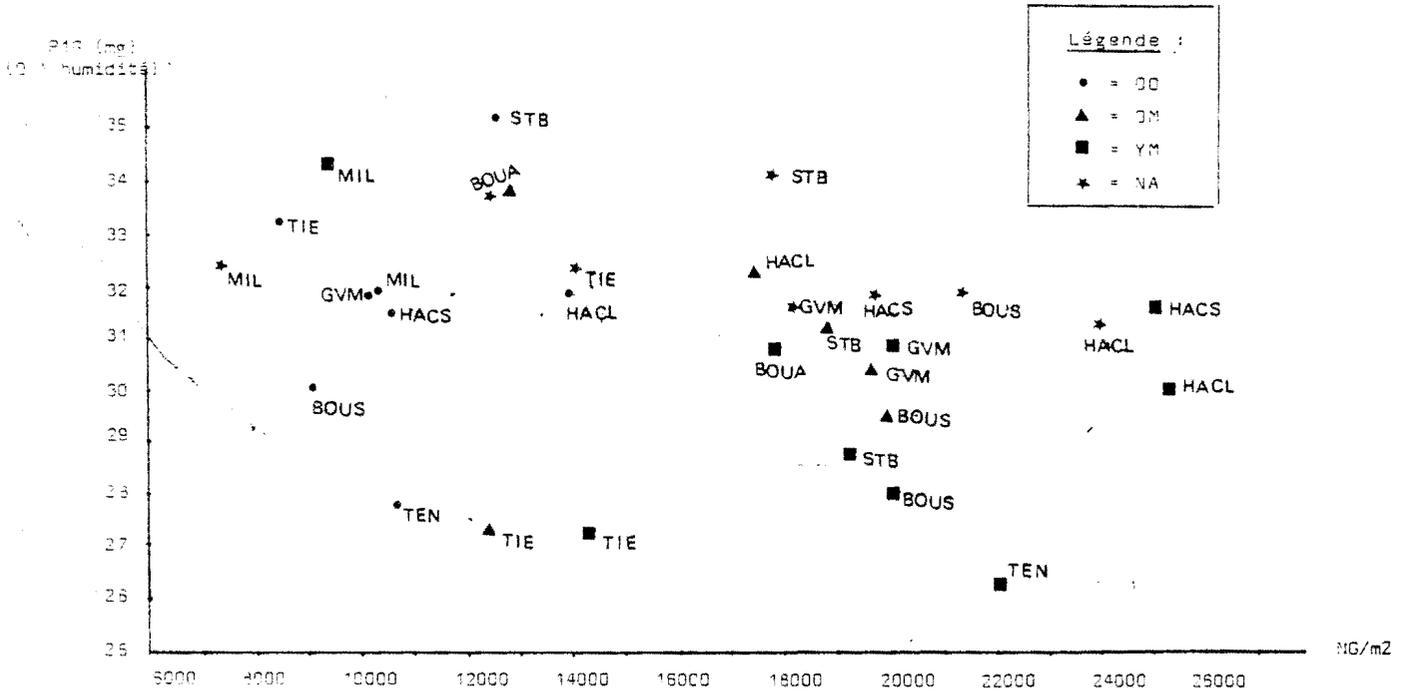


Fig. 9 - Relation entre poids d'un grain et nombre de grains/m2 . Essai 1932

Par contre, entre les traitements OM et YM, les rendements ne se classent pas de manière stable (Fig. 7) ; dans un certain nombre de cas l'absence de fertilisation azotée précoce n'a donc pas pénaliser le rendement. Les rendements en NA se positionnent également de manière variable ; ils ne sont cependant jamais supérieurs à celui observé en YM ; ils en sont parfois voisins pour des modalités de fertilisation très différentes (en STB).

1.3. - Relation entre le rendement et ses deux principales composante (NG/m² et pNG)

Les variations du rendement recouvrent de très fortes variations de chacune de ses composantes (Fig. 8b et c) : 7.000 à 27.000 pour le nombre de grains/m² (NG) avec deux groupes de traitements correspondant à des modes de 10 et 20.000 grains ; 30 à 42 mg pour le poids d'un grain (pNG).

Dans le cas des nombres de grains/m², cette gamme est créée par des variations intra et inter essai, avec des classements très comparables à ceux observés sur les rendements (en particulier OO << traitements fertilisés). La relation entre rendement et nombre de grains est très forte (Fig. 8a) ; l'ensemble des points, tous traitements et essais confondus, définissent un nuage étroit de forme linéaire. Elle est par contre nulle avec le poids d'un grain (Fig 8b).

Celui-ci varie surtout entre essais, sauf pour 3 d'entre eux (TIE, STB, et dans une moindre mesure BOUS) ; il est indépendant du nombre de grains/m² et dans une large mesure des quantités d'azote apportées (Fig. 9 et 6c). Cependant, en tendance, les poids d'un grain les plus faibles sont observés sur le traitement YM qui ont reçu la dose d'engrais la plus forte. La position des traitements "NA" des essais TIE et STB va dans le sens de cette tendance, les poids d'1 grain y sont nettement plus élevés qu'en YM, comparables à ceux obtenus en absence de fertilisation. Or, ce sont les deux seuls cas où ils correspondent à des apports faibles : un seul apport de 60-70 unités.

Les parcelles où la fertilisation a un effet dépressif sur le poids d'un grain sont celles où on a également noté des nécro- ses parasitaires importantes sur les feuilles ou les grains (12 à 30 % de la surface des deux dernières feuilles (STB et TIE - YM et OM ; BOUS) ou des gaines (HACL), étaient encore verts au stade laiteux pateux contre 45 à 70 % sur les autres essais et les terrains OO). Il en est de même sur le traitement YM de l'essai TEN qui correspond à l'extrême le plus bas du poids d'un grain. On retrouverait donc là l'interaction classique : fertilisation azotée x infestation parasitaire x poids d'un grain.

Les variations inter-essai pourraient également être liées à des différences d'alimentation hydrique en fin de cycle : le bilan climatique P-ETP est en effet devenu négatif à partir de la 1ère décade de juin, donc pendant la période de remplissage du grain (le stade laiteux pâteux, qui correspond à la fin d'accumulation de matière sèche dans le grain, est intervenu entre le 10 et 15 juin selon les essais). Pour les parcelles BOUS, TEN, GVM, HACS, le déficit vers les 10 premiers jours de juin était de l'ordre de la réserve utile. Or, il s'avère qu'en absence d'infestation parasitaire grave, les poids d'un grain les plus faibles sont observés sur ces essais, avec une variation intra-essai faible (Fig. 6). On peut donc supputer que l'intervention d'une limitation de l'alimentation hydrique est à l'origine de ce classement, en dehors de tout phénomène d'échaudage (grains non ridés à maturité, température maximale pendant le remplissage toujours inférieure à 30°.

Conclusion partielle

Ces comportements montrent le rôle prépondérant de la phase semis-floraison dans la détermination du niveau de rendement et l'importance des conditions de nutrition azotée, qui par contre semblent beaucoup moins déterminantes sur le poids d'un grain. On retrouve là des résultats tout à fait conformes aux conclusions auxquelles on aboutit le plus souvent sur blé d'hiver dans les conditions de climat du Nord de la France et des régimes de fertilisation ne comportant pas d'apport d'engrais tardif.

Les variations du nombre de grains vont faire l'objet d'une analyse détaillée dans les chapitres suivants. Elles ne sont, en effet, pas en relation simple avec les quantités d'azote apportées (hormis "00" < autres traitements).

Elles mettent en cause une interaction variable entre essais, entre fourniture d'azote par le sol (niveau des "00"), doses d'engrais, mais aussi conditions d'utilisation de l'azote présent dans le milieu et/ou des facteurs et conditions de la croissance et du développement autres que l'azote (Cf. variabilité des niveaux des YM). Outre cette interaction, l'interprétation devra éclairer les causes de la forte variabilité des effets sur le nombre de grains/m² d'une absence de 1er apport d'azote, c'est-à-dire, théoriquement, d'une limitation azotée importante pendant les phases précoces du cycle.

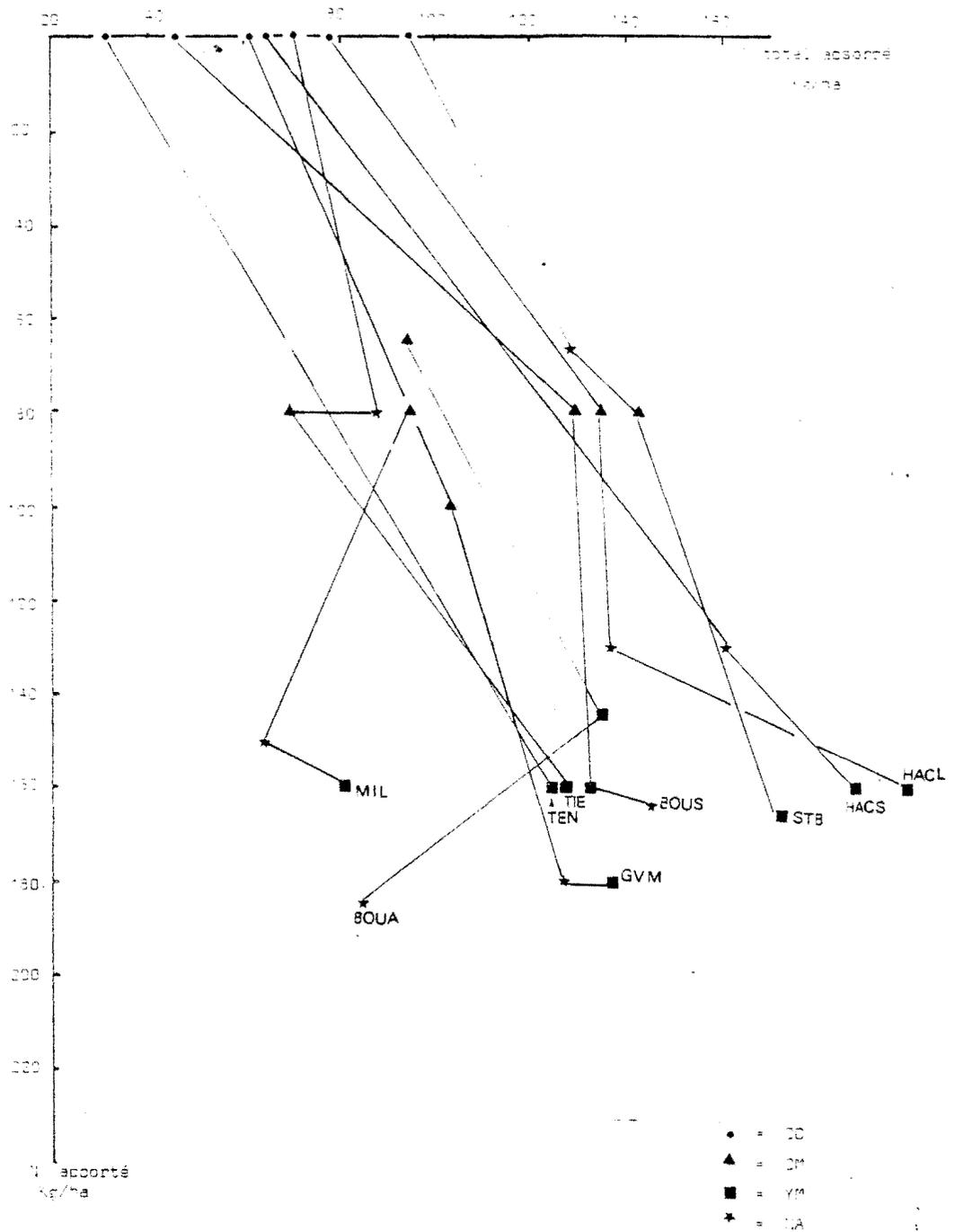


Fig.10- Relation entre azote apporté et azote contenu dans l'ensemble de la plante à la récolte. (grain+paille+racines)

ESSAI	TIE	STB	GVM	BOUS	TEN	HACL	HACS
CUA	0,350	0,463	0,418	0,539	0,588	0,754	0,766

(1) $\frac{N \text{ absorbé en YM} - N \text{ absorbé en CO}}{\text{quantité d'N apporté en YM}}$

Fig.11 - Coefficients d'utilisation apparents de l'engrais (CUA) sur les traitements YM⁽¹⁾

2 - ANALYSE DES VARIATIONS DU NOMBRE DE GRAINS/m²

2.1. - Utilisation de l'engrais

2.1.1. - Coefficient d'utilisation apparent

Sur les traitements YM, les doses d'engrais ont été calculées sur la base d'un même objectif de rendement (80 quintaux/ha) ; elles devaient théoriquement permettre l'obtention d'un rendement supérieur ou égal à cet objectif. Or, sur la plupart des essais, les rendements obtenus sont nettement inférieurs, et très variables. Ceci suggère des variations entre essais des conditions d'utilisation de l'engrais azoté apporté.

La Fig.10 confronte les quantités d'azote contenues dans la plante à la récolte (total grain + paille + racines) aux quantités d'azote apportées. Sur la plupart⁽¹⁾ des essais, ces quantités sont liées, positivement. Font exception, deux essais (MIL et TIE) - les quantités absorbées sont du même ordre entre les différents traitements - ainsi que dans une certaine mesure BOUA.

- . Les quantités absorbées sur les témoins "00" non fertilisés sont très variables, de 30 à 95 kg/ha ; les différences de reliquat d'azote minéral laissé par le précédent et utilisable compte tenu de la profondeur d'enracinement ne sont pas susceptibles d'expliquer une telle variation. Celle-ci semble plutôt en relation avec le mode de traitement des résidus laissés par le blé : les parcelles pour lesquelles les fournitures d'azote par le sol sont les plus faibles sont également celles où les pailles du blé précédant l'orge ont été enfouies.
- . Les coefficients d'utilisation apparents de l'engrais (C.U.A.) calculés sur les traitements YM (Fig.11) varient de 0,18 à 0,77. Deux seulement sont supérieurs à 0,70, valeurs qui d'après la littérature (REMY et HEBERT, 1977 entre autres) correspondent à une utilisation correcte de l'engrais. Il est notable que ces deux traitements soient les deux seuls pour lesquels le rendement dépasse les 80 quintaux. Pour 4 essais, le C.U.A. est très faible puisqu'inférieur à 0,50.

Les conditions d'utilisation de l'engrais ont ainsi été très variables entre essais. La quantité d'azote absorbée est donc une variable intermédiaire obligée pour la comparaison inter-essais des effets des traitements.

(1) Cf. Tableau ANNEXE 5.1

ESSAIS	ETAT du PROFIL		ENRACINEMENT		
	ETAT STRUCTURAL COUCHE LABOUREE (0 - 30 cm) (1)	HYDROMORPHIE (2)	PROFONDEUR MAXIMUM (cm à la floraison) z	DENSITES DE RACINES SUR LA COUCHE LABOUREE (3)	RESERVE UTILE SUR 2 cm (en mm)
BOUS	2 à 3	1	30 à 35	2,7	26
MIL	3	4	35 à 40	1,3	52
GVM	3	4	40	2,1	41
TEN	2	1	35 à 50	2,3	51
HACS	2	1	45	2,7	46
BOUA	1	2	55	2,1	38
TIE	1	1	55	3,3	35
STB	2	1	70 à 75	2,3	131
HACL	X2	1	75	2,6	110

(1) note correspondant à l'importance en volume dans la couche labourée de zones massives (M) ou soudées facilement discernables (SD), peu poreuses (Δ) (MANICHON, 198) -

- 1 : < 20 % M Δ + SD
- 2 : 20% < 40%
- 3 : > 40 %

(2) même légende que Fig.2

(3) nombre moyen de racines par face de 5 x 5 cm, noté sur la tranche du profil cultural

Fig.12 - Caractéristiques du profil cultural des différents essais.

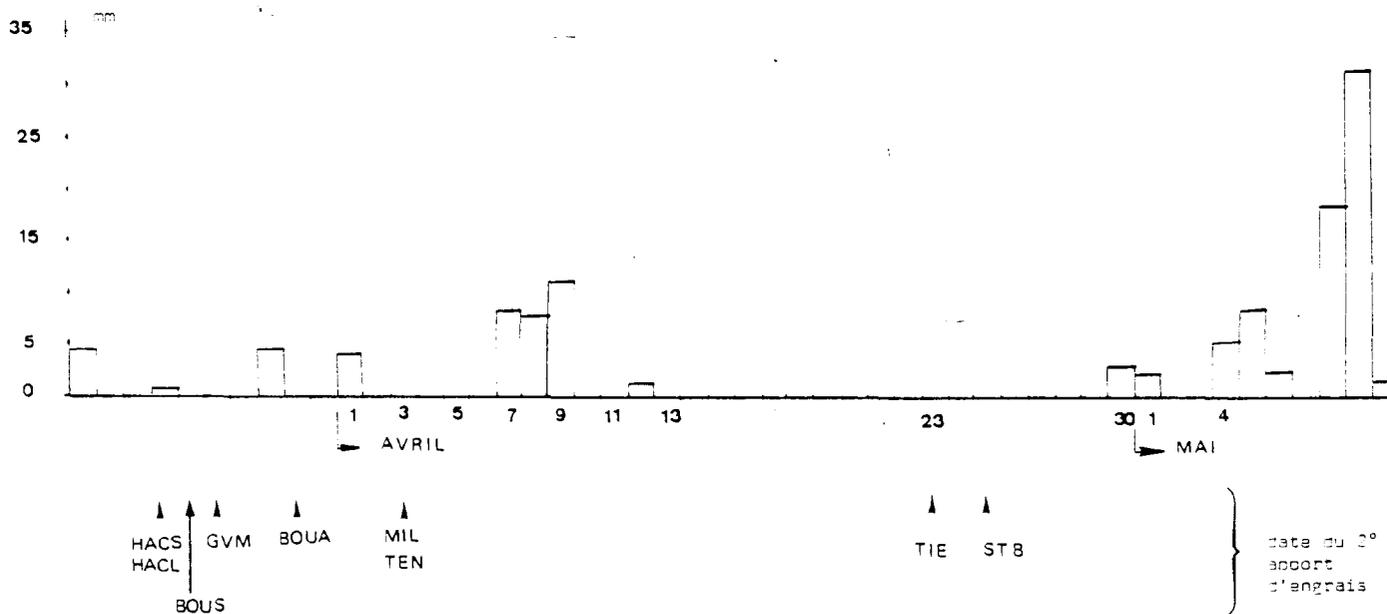


Fig.13 - Confrontation des dates du 2^e apport d'engrais azoté au calendrier des pluies.

2.1.2. - Facteurs limitant l'utilisation de l'engrais

On peut envisager plusieurs causes aux variations d'utilisation de l'engrais :

2.1.2.1. L'existence d'autres facteurs limitants que l'azote, d'intensité variable selon les essais : éléments minéraux, eau, en particulier ; aucun déficit hydrique n'est intervenu avant la floraison (Annexe 3.1)
Par contre, sur un certain nombre d'essais (MIL, TIE, BCUS) les abaques d'interprétation des analyses de sol (programme CERES, REMY 1977) amènent à diagnostiquer une teneur en magnésium faible en même temps qu'un niveau de potasse élevé à très élevé. On ne peut, dans ces cas, éliminer la possibilité d'une carence induite en Mg, en particulier chez MIL et TIE, d'autant plus que ces deux parcelles sont précisément celles pour lesquelles le coefficient d'utilisation de l'azote est très faible.

2.1.2.2. L'existence de facteurs limitant l'absorption de l'azote présent dans le milieu : les Fig. 12 et 13 décrivent pour les différents sites un certain nombre des caractéristiques susceptibles de jouer dans ce sens, en particulier :

- a) - l'état structural de la couche travaillée (0-30 cm) où l'enracinement est le plus dense, et le régime hydrique du profil ; plusieurs travaux montrent qu'une compaction ou des conditions d'hypoxie - anoxie diminuent l'utilisation de l'azote et son efficacité (MEYNARD et al., 1981 ; PRIDUL et GUYOT, 1985 ; BELFORD, 1981). On constate à cet égard (Fig. 12) un certain nombre d'états défavorables (notes 3 pour l'état structural, notes 4 pour l'hydromorphie (MEYNARD, et DANZART, 1984).
- b) - l'humidité des premiers centimètres du sol au moment des apports d'engrais : plusieurs auteurs montrent les effets d'une sécheresse superficielle du sol, même temporaire sur les conditions d'alimentation azotée (SEBILLOTTE et al., 1978 ; MASLE, 1983). Or, le printemps 1982 a été marqué par une période de 3 semaines sans pluies, froides, avec un vent du Nord desséchant. Sur les 2 essais de semis tardif (TIE - STB), le 2ème apport d'engrais a été effectué pendant cette période (23 et 25/04), sur un sol sec en surface ; pour tous les autres, au contraire, il a eu lieu fin mars, sur sol humide (Fig.13).

Les deux groupes de caractéristiques qui viennent d'être examinés, se révèlent très discriminants des

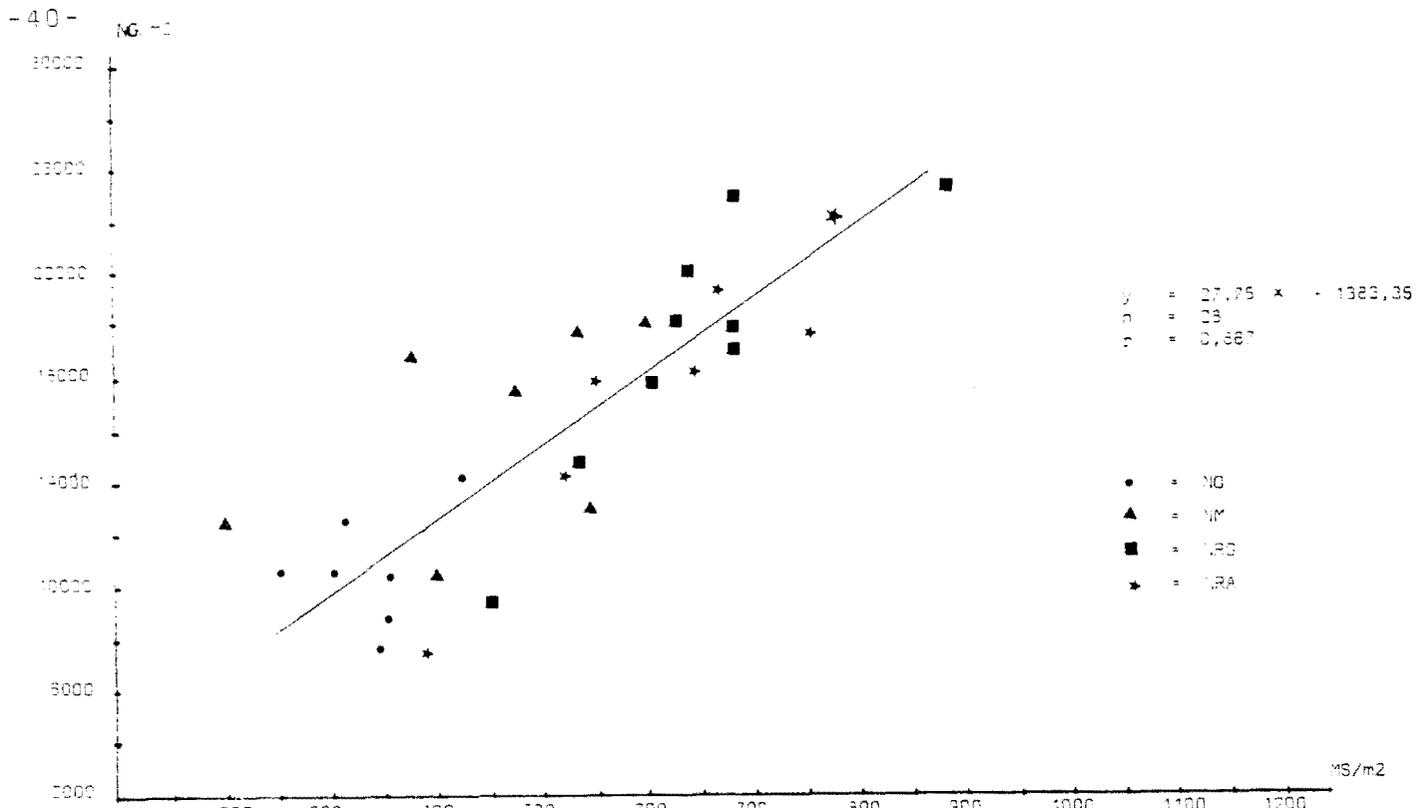


Fig. 15- Relation entre le nombre de grains/m² (NG/m²) et la biomasse aérienne végétative à maturité (MS/m²)

	COEFFICIENT D'UTILISATION APPARENT DE L'ENGRAIS N SUR LE TRAITEMENT VM (1)		
	0,3	0,5	0,7
Etat structural couche travaillée MA + SDA > 40 % (2)	MIL	GVM	
Engorgement tem- poraire de la cou- che travaillée	MIL	GVM	
Engrais apporté sur sol sec	TIE	STB	
Teneur P faible et teneur K élevée à très élevée (3)	TIE MIL		
Pas de facteurs limi- tant de la nutrition minérale ou hydrique identifié		BOUS TEN SBUA	HACL HACS

(1) $\frac{N \text{ absorbé en VM} - N \text{ absorbé en OO}}{N \text{ apporté}}$

(2) MA + SDA = mode d'assemblage des éléments structuraux dans les différentes zones homogènes et porosité interne (MANICHON, 1982 ; MEYNARD et DANZART, 1984 - M = massif ; SD = éléments soudés difficilement discernables ; Δ = porosité très faible.

(3) d'après interprétation analyse du sol - Laboratoire INRA - ARRAS -

Fig.14 - Coefficient d'utilisation apparent de l'engrais confronté à certaines caractéristiques du sol des essais

coefficients d'utilisation de l'engrais (Fig. 14) : sur toutes les parcelles où soit la couche travaillée présente une forte proportion de zones compactées (note 3) et a subi un engorgement temporaire, soit le 2ème apport d'azote a été fait sur sol sec en surface, le coefficient d'utilisation apparent de l'engrais est inférieur à 0,50. Pour toutes les autres, lorsque les niveaux des éléments minéraux ont été jugés satisfaisants, il est supérieur à cette valeur.

Conclusion partielle

On aboutit ainsi à la mise en évidence de deux groupes d'essais :

- un premier, pour lequel aucun facteur limitant autre que l'azote n'a été identifié : BOUA - BOUS - HACS - HACL - TEN,
- un autre groupe pour lequel l'utilisation de l'engrais a pu être plus ou moins fortement limitée du fait de conditions défavorables à la mobilité et à l'absorption de l'engrais et, on ne peut l'exclure, d'une carence en un élément minéral autre que l'azote (Mg) dont les besoins sont également importants. Les mêmes caractéristiques sont susceptibles d'affecter aussi l'efficacité de l'azote absorbé ; il sera donc essentiel d'en tenir compte dans l'étude des relations azoté absorbé-nombre de grains.

2.2. - Relation entre nombre de grains-accumulation de matière sèche-quantité d'azote absorbée

On constate Fig. 15, une relation étroite entre NG/m² et biomasse aérienne des parties végétatives mesurée à maturité. Cette biomasse est fortement corrélée à la biomasse floraison. La relation observée confirme pour nos conditions l'importance pour la mise en place du nombre de grains, des processus régissant l'accumulation de la matière sèche.

L'azote joue un rôle important dans les variations concomitantes des ces deux variables. La FIG. 16 confronte le nombre de grains à la quantité d'azote total contenu dans la plante à maturité, qui dans notre milieu, peut être considérée comme un bon indicateur de la quantité absorbée jusqu'à la floraison (BOIFFIN et al., 1981). Globalement, la relation entre les deux variables est bonne. Il en est de même essai par essai sauf pour TIE. Cependant, on constate une certaine variabilité de l'efficacité de l'engrais selon les essais avec, semble-t-il, l'existence d'une courbe enveloppe, d'abord linéaire puis amortie à partir de 140-160 kilos d'azote absorbé/hectare (1,0 g d'azote pour 2.000 grains contre 2,3 dans la partie précédente).

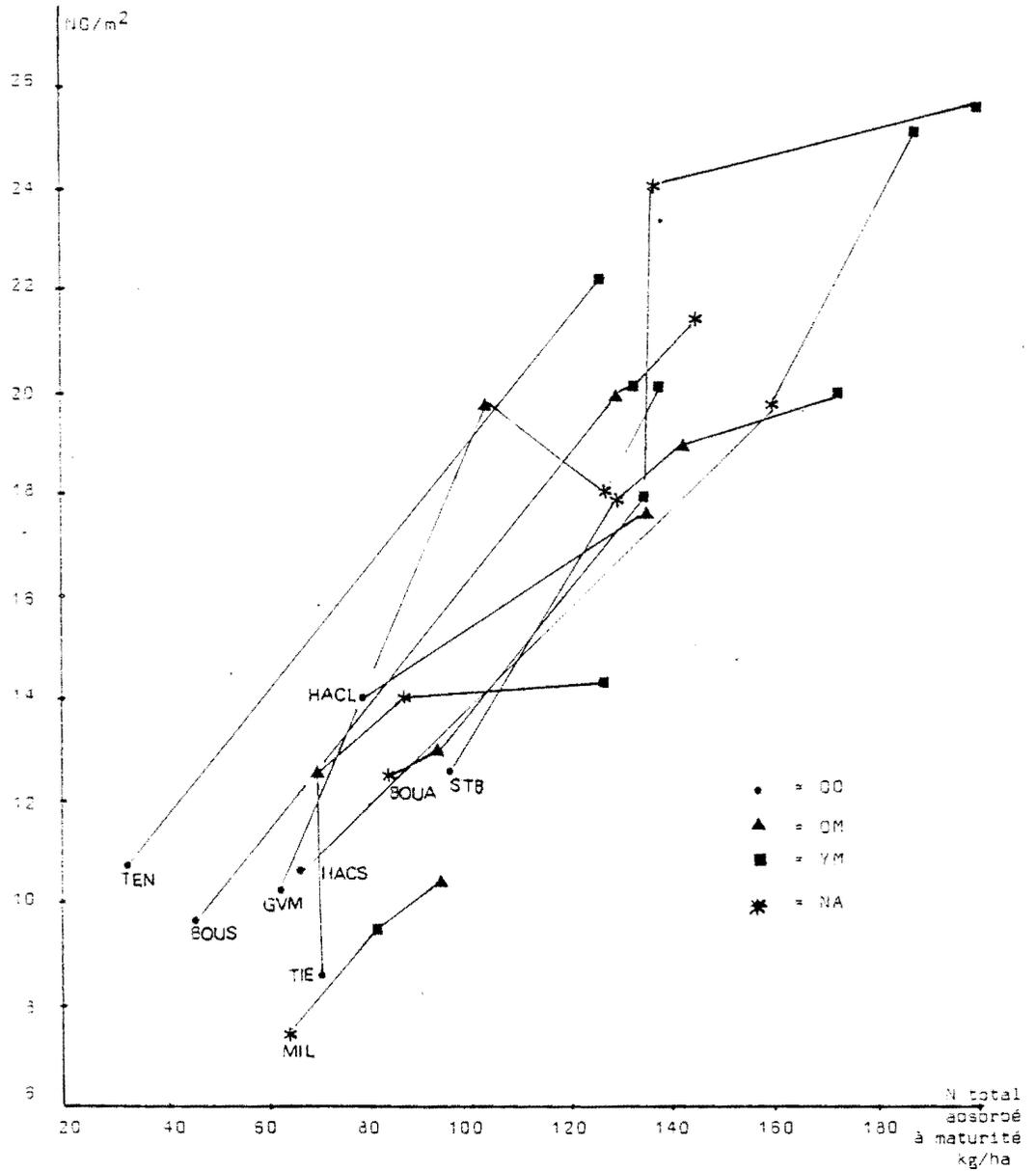


Fig. 16 - Relation entre nombre de grains/m² et azote contenu dans les parties végétatives à maturité.

Les courbes relatives aux différents essais sont plus ou moins éloignées de cette enveloppe ; elles constituent une famille de courbes grossièrement parallèles, qui se répartissent en trois sous-groupes, par ordre d'efficacité de l'engrais décroissante :

- a) - TEN ;
- b) - BOUS - HACL - GVN ; BOUA - HACS ;
- c) - MIL

Deux essais se comportent de manière particulière (TIE et STB) avec une efficacité de l'azote absorbé très inférieure sur les traitements fertilisés à celle observée sur les autres essais.

Le rapprochement de ces observations avec l'analyse des causes de variations de l'utilisation de l'engrais (Cf. p 39) suggère très fortement qu'un certain nombre des facteurs limitants de l'absorption de l'azote, ont effectivement également limité son efficacité pour la croissance et la mise en place du nombre de grains : ce serait le cas d'un engorgement prolongé de la couche travaillée (GVM) et d'une mise à disposition tardive de l'engrais par suite d'une sécheresse temporaire (TIE - STB).

2.3. - Rôle des modalités de fertilisation azotée dans les variations de la nutrition azotée. Influence du 1er apport d'azote -

L'influence de la dose Y peut être discutée à partir de deux groupes de critères : d'une part, les caractéristiques de peuplement au début de la montaison, moment où le milieu devait être réalimenté en azote par le 2ème apport (dose M) et moment clé dans l'élaboration du nombre de grains;

d'autre part, les caractéristiques du peuplement in fine : nombre d'épis et nombre de grains/m².

2.3.1. - Influence du 1er apport d'azote sur les conditions de nutrition précoces : analyse de l'état du peuplement au début de la montaison

On compare les effets des doses 0 et Y sur les caractéristiques suivantes observées sur les échantillons prélevés pour tous les essais à un stade voisin du "stade 1 cm" (date 2) :

- masse de matière sèche (notée MSo et MSy) qui seront comparées à l'échelle de la plante ; les différences de nombre de plantes/m² sont très faibles intra-essai.
- Teneur en azote total dans les parties aériennes (% N)
- Nombre de talles (noté NTR : nombre de talles réels, ou NTP : nombre de talles potentiel compte-tenu du nombre de feuilles du brin-maître (Cf. infra).

ESSAIS	TRAITEMENTS	DATE 1				MS/m ² (g)	DATE 2			
		% N (1)	NTR (2)	NTP (3)	% arrêt de TALLAGE (4)		% N	NTR	% arrêt de TALLAGE	MS/plte (g)
MTL	0	3,15	4,50	7,99	51,00	31,36	2,42	4,49	100,0	0,334 c
	Y						4,31	5,21	77,57b	0,382 c
BOUA	Y'	3,74	2,78	5,04	37,80	12,44	4,88	4,57	42,00	0,295
GVM	0	3,88	3,52	6,13	44,55	28,34	3,01	4,04	85,00	0,254 c
	Y						5,20	5,45	45,00	0,304 c
COT	0		3,87	7,00	24,73	28,41				0,239 a
	Y									0,287 b
HACL	0	3,83	5,05	8,13	11,65	35,84	3,54	4,45	93,50	0,257 a
	Y						5,14			0,393 b
HACS	0	3,38	5,77	7,01	23,36	43,90	2,46	5,42	94,40	0,375 a
	Y						4,64			0,524 b
BOUS	0	5,14	3,80	5,50	31,18	36,31	3,16	3,85	100,00	0,225 a
	Y						4,63	6,00	57,00	0,268 b
TEN	0	3,28	3,55	7,75	85,71	46,50	4,15	5,48	49,00	0,307 a
	Y						3,59	6,30	59,00	0,368 c
STE	0		0	0	0	4,78	4,24	3,56	44,00	0,164 a
	Y						6,00	5,33	10,70	0,277 b
TIE	0		0	00	0	10,26	3,12	3,34	95,83	0,213 a
	Y						4,75	5,49	44,00	0,370 b

(1) en % de la matière sèche (MS) (méthode KJELDAHL)

(2) Nombre de talles observés

(3) Nombre de talles potentiel (cf. texte)

(4) pourcentage de plantes ayant arrêté de taller

(5) les chiffres suivis d'une même lettre pour un même essai ne sont pas significativement différents au seuil 5%.

Fig. 17 - Biomasse aérienne, teneur en azote, nombre de talles aux dates 1 et 2 pour les doses 0 et Y du 1^{er} apport.

2.3.1.1. - Comparaison des traitements 0 et Y

• Quel que soit l'essai, à la date 2 : $MSy > MSo$; $NTRY > NTRo$ et $\% Ny > \% No$ (Fig. 17 - colonnes 7 à 9). L'azote du sol n'a donc pas été suffisant pour couvrir les besoins du peuplement jusqu'au début de la montaison, ni même, au moins pour le semis d'octobre jusqu'en sortie d'hiver. Au moment du 1er prélèvement (date 1) juste avant l'application de la dose Y, on constate en effet que :

- les teneurs en azote dans la plante sont de l'ordre de 3 à 3,9 %, inférieures aux teneurs enregistrées à la date 2 sur le traitement Y, sur des plantes pourtant plus âgées (Fig. 17, colonnes 1 et 6). Seul l'essai BOUS fait exception ($\% N$ date 1 = 5,14 ; date 2 = 5,63 en Y). Dans les références dont on dispose sur céréales, cette gamme de teneurs (3-4 %) n'est observée à un stade aussi précoce que pour des conditions d'alimentation limitantes (JONARD, ODENT, 1967 ; MEYNARD, 1985).
- le nombre de talles par plantes est inférieur au nombre potentiel, qui devrait être visible compte-tenu du stade foliaire du brin-maitre et des règles de synchronisme entre émission des feuilles et émission des talles établies par MASLE (1980-1982) chez le blé puis vérifiées pour l'orge d'hiver par KIRBY et APPEYARD (1985) (Fig. 18).

Cette infériorité n'est pas imputable à un effet de l'azote sur la durée du phyllochrone : la Fig. 19 montre que les nombres de feuilles sont comparables entre traitements. Comme dans le cas du blé ou du riz, du ray-gras, toutes graminées dont le processus de tallage répond au modèle décrit Fig. 18, la différence NTP - NTR signifie qu'un certain nombre de plantes au moins ont arrêté de taller. Deux facteurs sont, dans nos conditions, susceptibles d'être responsables de cet arrêt : l'azote ou la lumière (MASLE, 1981-1984) ; SAUT (1981) ; DURR (1984). Plusieurs catégories d'observations amènent à retenir le 1er facteur :

- a) - les valeurs des teneurs en N précédemment évoquées,
- b) - le fait que le nombre de plantes ayant arrêté de taller à la date 2, lorsqu'il a été observé, se classe dans l'ordre $NY < NO$ et $NY_{date 2} \approx NO_{date 1}$ (Fig. 17),
- c) - l'absence de relation entre le nombre de plantes ayant arrêté de taller à la date 1 et la biomasse aérienne/m² qui, à ce stade, est un très bon indicateur de l'indice foliaire (AASE, 1978), donc des relations d'autoombrage.

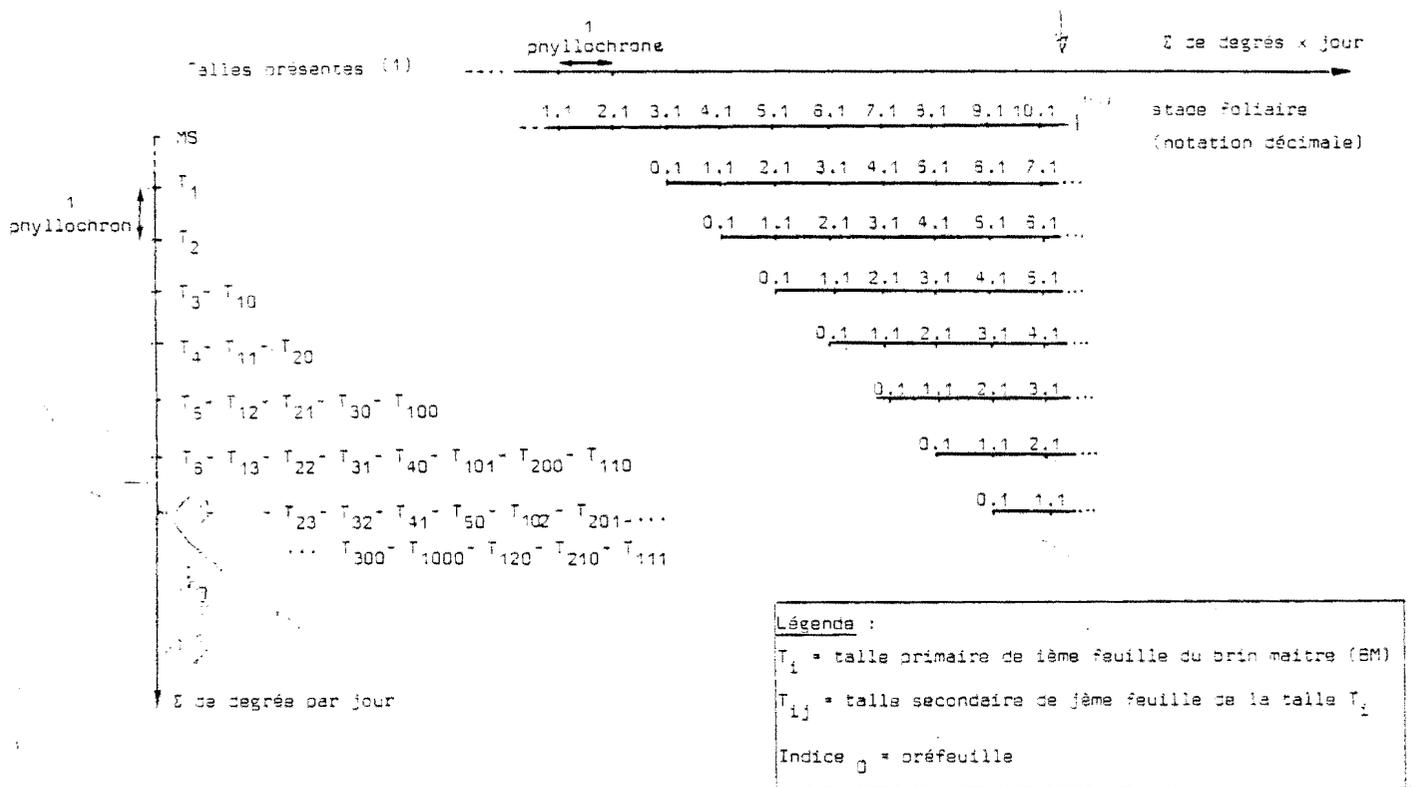


Fig.18 - Chronologie d'apparition des talles et des feuilles en absence de limitation de la nutrition.
(extrait de MASLE 1981)

ESSAIS	TRAITEMENTS	NOMBRE de FEUILLES (1)				
		BM	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
MIL	0	3,3 a	5,2 a	4,2 a	3,5 a	2,4 b
	Y	3,0 a	5,2 a	4,2 a	3,2 a	1,8 a
GVM	0	7,7 a	4,4 a	3,7 a	2,6 a	1,8 a
	Y	7,7 a	4,4 a	3,8 a	2,7 a	1,7 a
BOUS	0	7,8 a	4,4 a	3,8 a	2,7 a	2,2 a
	Y	7,9 a	4,8 b	4,3 b	2,8 a	1,9 a
TEN	0	7,9 a	4,6 a	3,9 a	2,8 a	1,8 a
	Y	8,5 b	5,0 b	4,0 a	3,1 a	2,2 a
STB	0	6,0 a	2,6 a	2,1 a	1,4 a	0,9 a
	Y	6,2 a	3,0 b	2,4 b	1,7 b	1,6 b
TIE	0	5,9 a	3,4 a	2,8 a	2,0 a	1,5 a
	Y	6,7 a	3,4 a	2,8 a	2,1 a	1,7 a

(1) pour chaque essai, les NBF moyens suivis d'une même lettre ne sont pas différents entre 0 et Y.

Fig. 19 - Influence du 1^{er} apport d'azote sur le nombre de feuilles à la date 2. Exemple des 1^{er} talles primaires.

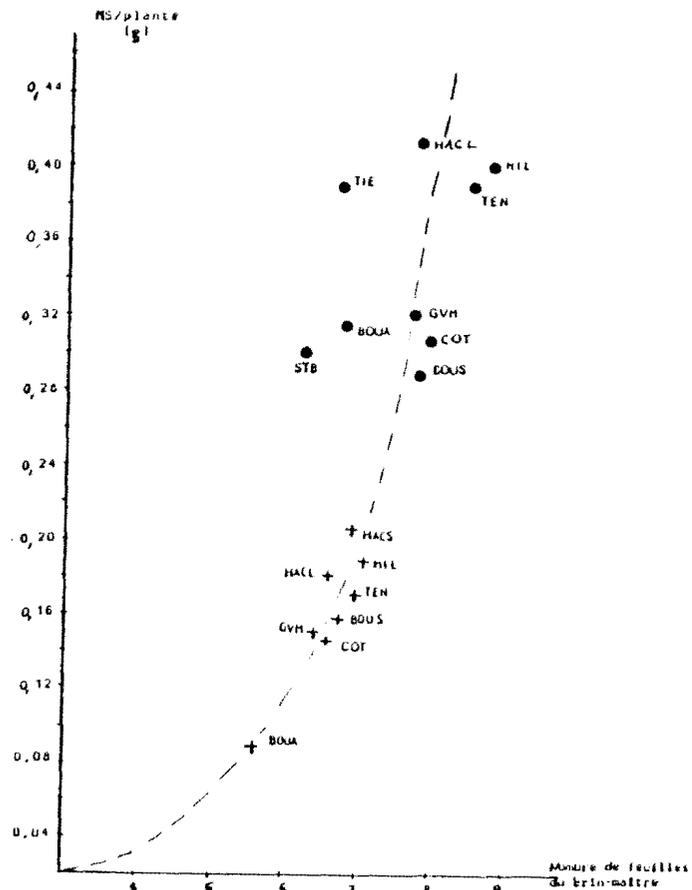
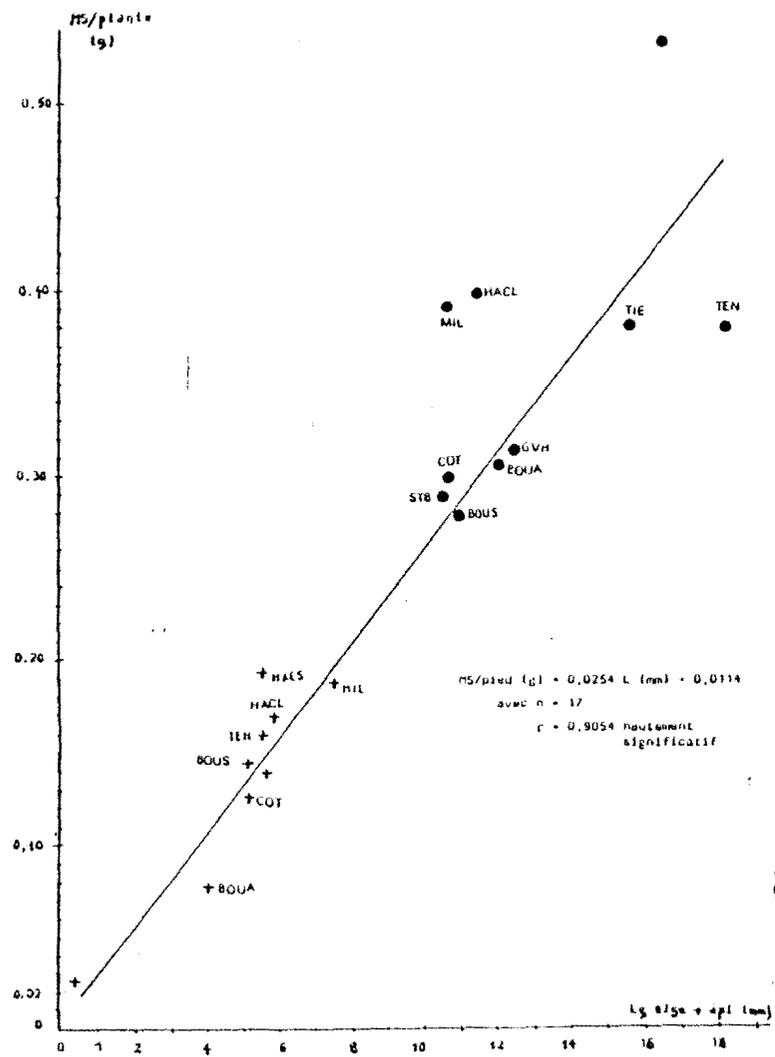


Fig. 20 - Relation entre le poids sec de la plante entière et :

- a)- la distance base du plateau de tallage - sommet de l'épi du brin maître.
- b)- le nombre de feuilles du brin-maitre.

Traitement y + = date 1 ; ● = date 2

On retiendra donc qu'au moment du 1er apport, effectué aux dates pratiquées par les agriculteurs, l'azote était limitant sur tous les essais, sauf vraisemblablement les deux essais semés en novembre qui étaient alors seulement au stade 3 feuilles. L'apport d'engrais a ensuite permis, sur le traitement Y, une alimentation semble-t-il non limitante ; n'ayant pas testé une dose d'engrais supérieur à Y, on ne peut à cet égard conclure avec certitude. Cependant les teneurs en azote pour la dose Y sont à la date 2 supérieures ou égales à 4,5 %, valeurs qui d'après les références précédemment citées autorisent à penser que l'azote n'est pas limitant. De plus, les quantités d'azote absorbées sont, sauf chez HACS et TIE, nettement inférieures aux quantités apportées (80 kg N/ha - ANNEXE 5-1).

2.3.1.2. - Causes de variations de la croissance sur le traitement Y

On observe cependant de très fortes variations entre essais des quantités de matière sèche (MSy) fabriquées dans de telles conditions. Les Fig. 20 montre que les différences des stades de développement (nombre de feuilles ; état d'élongation de la tige) au moment du prélèvement rendent compte, pour une large part de ces variations.

Du fait de ces interactions entre stade développement et poids sec, la comparaison des essais sur la réponse à l'engrais, doit être faite relativement au niveau de MSy, c'est-à-dire sur le critère : $\frac{MSy - MSo}{MSy}$

Classés selon ce critère, les essais se répartissent en deux groupes (Fig. 21) : d'une part les parcelles de semis précoce pour lesquelles la réponse de la matière sèche à la dose Y est relativement faible ($\frac{MSy - MSo}{MSy} \approx 0,12$ à $0,17$) ; d'autre part les deux parcelles de semis tardif (TIE et STB) et dans une moindre mesure HACL pour lesquelles la réponse est beaucoup plus importante (valeurs $\approx 0,4$).

En l'absence d'observations permettant une appréhension directe des conditions de nutrition pendant les phases précoces, on doit rester prudent dans l'interprétation de ces différences de comportement. L'examen des données suggère cependant un certain nombre d'hypothèses :

a) - on constate que pour les semis précoces, sauf BOUA, en absence d'apport d'engrais, la quantité d'azote contenue dans la plante en sortie d'hiver (date 1) représentait de 40 % (1 essai) à 70-98 % (tous les autres essais) de la quantité dosée au début de la montaison. Pour les deux semis tardifs, cette proportion est seulement de 20-30 % (Fig. 21). Cette constatation peut s'interpréter de plusieurs manières :

- elle pourrait suggérer l'intervention en semis précoce d'un facteur limitant l'absorption

	MIL	BOUS	GVM	COT	TEN	HACS	HACL	STB	TIE
$\frac{MS_y - MS_0}{MS_y}$ ordre croissant	0,125	0,160	0,164	0,167	0,168	0,282	0,346	0,408	0,424
Azote absorbé sur le traitement non fertilisé date 1/date 2	72	98	66	-	39	67	67	21	25
% de plantes ayant arrêté de taller avant l'apport y (1)	38	34	45	-	86	23	12	0	0

(1) % établi à la date 1

Fig. 21 - Eléments d'interprétation des différences de réponse au 1er apport d'engrais (y) selon les essais.

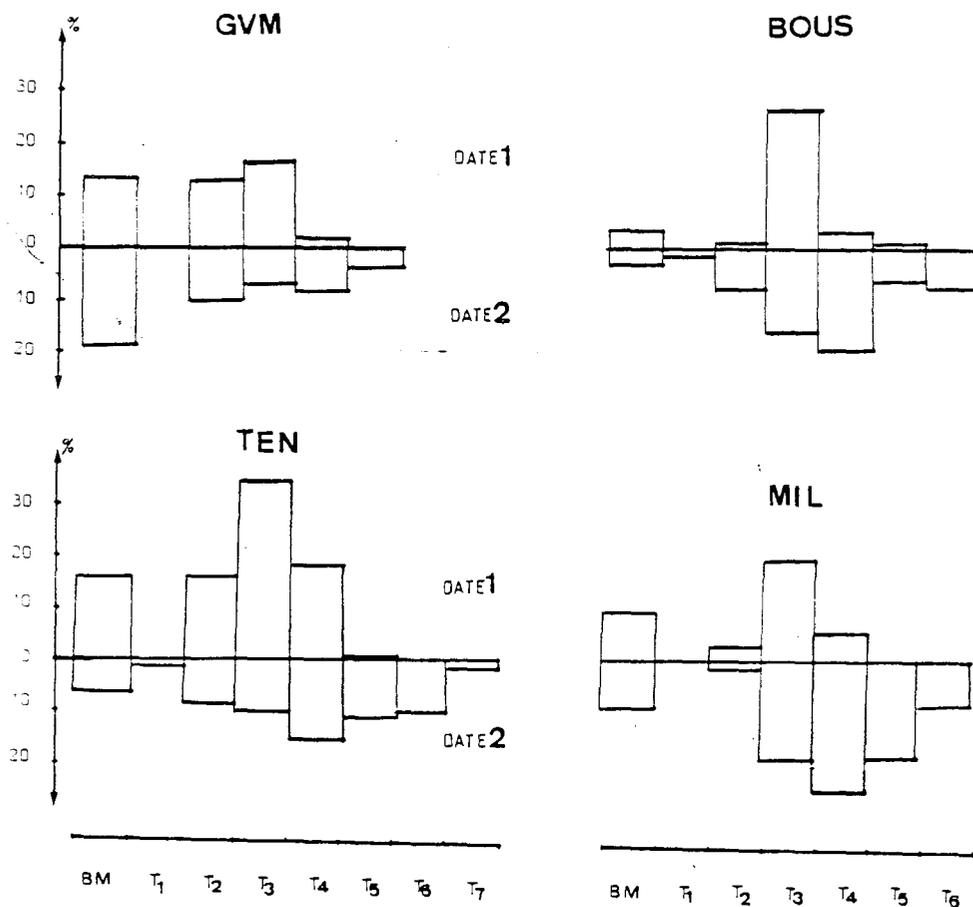


Fig. 22 - Distribution des rangs des dernières tiges sur le traitement V aux dates 1 et 2. Exemple de quelques essais.

d'azote, pendant une partie au moins de la période date 1-date 2. On ne peut avoir de certitude quant à la nature de ce facteur : cependant si l'on se réfère aux résultats obtenus sur blé, les biomasses aériennes mesurées à la date 2 (≥ 52 g/m²) autorisent à invoquer une compétition par la lumière : sur large gamme de situations et différentes variétés de blé d'hiver MEYNARD, (1985) met en évidence que dans les peuplements dont la biomasse aérienne est supérieure à 50 g/m² au stade 1 cm, une telle compétition existe.

- elle peut également être interprétée comme la traduction d'une différence selon la date de semis des dynamiques d'absorption de l'azote et des relations entre cette dynamique et celle de la croissance en poids sec : contribution de la minéralisation automnale à la nutrition beaucoup plus forte en semis précoce permettant une certaine anticipation de l'absorption de l'azote par rapport à son utilisation donc une absorption ultérieure moindre, et une moindre réponse à l'engrais.

b) - Par ailleurs, il est notable que les faibles réponses à l'engrais soient observées sur les parcelles où l'apport Y a été effectué alors que le peuplement manquait d'azote (Cf. supra l'analyse des teneurs en azote et du tallage à la date 1 (Fig. 17 et 21). Or, la majorité des plantes qui avaient arrêté de taller sous l'effet de ce manque d'azote n'ont pas ensuite recommencé à taller sous l'effet de l'apport azote : la Fig 22 montre en effet que pour les plantes dont le tallage est arrêté, les distributions des rangs des dernières talles sont comparables à la date 1 et à la date 2 pour le traitement Y. On peut donc, pour les semis précoces autres que HACL émettre l'hypothèse d'une limitation irréversible des possibilités de croissance entre les dates 1 et 2, par suite d'un arrière effet de la compétition temporaire pour l'azote qui a précédé le 1er apport d'engrais. Le comportement observé sur HACL va dans le sens de cette hypothèse : c'est le seul semis précoce pour lequel l'alimentation d'une large majorité des plantes étaient encore non limitante à la date 1 (% plantes dont le tallage était arrêté = 10 %) ; or, c'est aussi la situation où la réponse à l'engrais a été forte, peu inférieure à celle observée sur les semis tardifs.

- L'ensemble de cette discussion met en cause une série d'interactions entre croissance précoce pendant l'automne et l'hiver, fourniture d'azote par le sol, et utilité d'un 1er apport d'engrais :

Dans tous les cas, un apport d'engrais en sortie d'hiver permet une augmentation de la biomasse début montaison. Les semis de début octobre - de loin les plus courants en orge d'hiver, entraînent des besoins en azote qui dans la majorité des

ESSAIS	TRAITEMENTS N	NP/m ²	NE/m ²	NE/pied	NG/épi	NG/m ²
MIL	OM	178	358 a	2,01	29,04	10397 a
	YM		305 a	1,71	30,95	9440 a
GVM	OO	219	312 a	1,43	32,80	10234 a
	OM		450 b	2,06	43,90	19755 b
	YM		489 b	2,24	41,04	20069 b
HACL	OO	224	373 a	1,67	37,90	14099 a
	OM		467 b	2,07	37,88	17576 b
	YM		531 c	2,82	40,20	25365 c
BOUS	OO	267	297 a	1,11	32,44	9635 a
	OM		582 b	2,18	34,25	19934 b
	YM		577 b	2,16	34,90	20138 b
STB	OO	177	280 a	1,58	45,03	12609 a
	OM		468 b	2,64	40,37	18893 b
	YM		548 c	3,10	35,11	19240 b
TIE	OO	299	287 a	0,96	29,67	9515 a
	OM		419 b	1,40	30,00	12570 b
	YM		407 b	1,36	35,22	14335 c

Fig. 23 - Comparaison des composantes du rendement entre les traitements OM et YM (Extrait de l'annexe 4)

Les chiffres suivis d'une même lettre en colonne ne sont pas significativement différents entre traitements d'un essai.

cas ne semblent pas pouvoir être satisfaits par le sol même pour des densités de plantes relativement faibles : une compétition pour l'azote est intervenue sur nos parcelles avant le 10 février. Elle serait pénalisante pour la biomasse mesurée aux stades ultérieurs, d'autant plus que l'apport d'engrais tarde (Cf. chez TIE et MIL : $MS_{NA} < MS_Y$ alors que la dose apportée est la même sur les deux traitements mais a été appliquée 8 à 15 jours plus tard en NA). Une forte croissance automnale et hivernale entraînerait par ailleurs une compétition pour la lumière précoce, antérieure au début de la montaison.

- . La conjugaison de ces effets expliquerait que les avantages acquis par les semis précoces en début de cycle ($MS/M2$ supérieure à la date 1), - du fait d'une durée de croissance plus longue (200 d°j entre les deux groupes de dates de semis) et probablement d'une nutrition azotée hivernale plus favorable - s'atténue ainsi très fortement surtout par rapport aux semis tardifs de densité forte (TIE).
- . Il est notable que les effets du 1er apport sur la croissance printanière ne se discriminent pas en fonction des facteurs limitants précédemment identifiés (Cf. p43) pour l'utilisation ou l'efficacité de l'engrais. Ces facteurs semblent donc être intervenus principalement pendant la montaison ce qui n'était pas attendu a priori, concernant la compacité et l'hydromorphie de la couche travaillée.
- . 80 unités apparaissent suffisantes pour couvrir les besoins du peuplement jusqu'au stade 1 cm ou peu après. Dans deux essais (BOUS - STB) où la 1ère dose appliquée par l'agriculteur (traitement NA) a été inférieure à Y, les matières sèches ne sont pas significativement différentes entre les deux doses.

2.3.2. - Arrière effet du 1er apport d'azote sur le nombre d'épis et de grains/m²

2.3.2.1. Classement des composantes entre OM et YM

L'étude est faite sur les essais BOUS ; GVM ; MIL, HACL, TIE et STB, pour lesquels on dispose de la comparaison OM, YM. Les composantes du rendement pour ces traitements sont données Fig. 23.

Les essais se répartissent en deux groupes :

- l'une pour lequel le 1er apport Y n'a pas eu de répercussion ni sur NE/m², ni sur NG/m²,

ESSAIS	NE/m ²	NG/épi	NG/m ²
HACL	+ 25,5 %	+ 5,90 %	+ 30,7 %
STB	+ 14,8 %	- 15 %	+ 1,80 %
TIE	- 2,9 %	- 14,8 %	+ 12,3 %

Fig. 24 - Influence du 1er apport d'azote (V) sur le nombre de grains/m² et ses sous-composantes sur les 3 essais où cette influence existe.

(Influence décrite par le critère : $\frac{VM - OM}{VM}$)

	STB	MIL	COT	SOUS	HACL	BOUA	GVM	TIE	HACS	TEN
<u>A la date 2 :</u>										
① - Longueur tige + épi (mm)	10,4	10,5	10,6	10,8	11,3	12,0	12,4	15,5	16,3	18,2
- Stade Apex	B BII	B BII	B BII	BII	B C14	C 2 (100 % Cx)	B BII	C21 (93 % Cx)	C18 (100 % Cx)	C20
② Σ degrés x jours entre date 2 et 2ème apport N	142	106	46	48	7	39	59	127	0	78
Longueur de tige + épi (mm) estimée au moment de l'apport dose M (1)	22	25	13	20	12	15	20	30	17	30

(1) estimation à partir de la courbe Longueur tige = f (Σθ) établies à partir des observations des dates 1 et 2 et des données des lignes ① et ②.

Fig.25- Comparaison entre essais du stade de développement au moment du 2ème apport d'azote (dose M) -

- l'autre pour lequel il a un effet positif sur les deux composantes (HACL) ou sur une (NE chez STB ; NG chez TIE mais pour ces deux essais l'effet est faible, non significatif).

Ces différences de comportement doivent être analysées en relation avec :

a/ - l'état du peuplement au début de la montaison :

- les situations où l'on enregistre un effet positif du 1er apport sur au moins 1 des 2 composantes qui sanctionnaient la fin de la montaison, sont celles pour lesquelles cet apport avait engendré des différences importantes de la biomasse début montaison.
- les situations où il y a absence d'effet sur NE et NG/m² correspondent au contraire à celles où les différences de matière sèche étaient très faibles (MIL) à faible (BOUS-GVM) (Cf. Fig. 21).

b) - Les conditions d'alimentation azotée pendant la montaison :

La comparaison des 3 essais (HACL, TIE, STB) pour lesquels le 1er apport a des répercussions positives sur le NG/m² montre que les différences de matière sèche créées en début de montaison, s'extériorisent en très forte interaction avec les conditions de nutrition azotée pendant la montaison. Cette interaction concerne (Fig. 24) : l'amplitude des différences de nombres de grains, leurs modalités d'obtention.

- La seule situation (HACL) où le 1er apport d'azote a un effet très important sur les deux sous-composantes du nombre de grains/m² (NE + NG/épi) est celle où :

- le 2ème apport (dose M) a été appliqué tôt en début de montaison (Fig. 25), à un moment où la quantité d'azote dans le milieu n'était pas encore limitante de la croissance : à la date 2, la teneur en azote dans la plante était de 5,14 % ; la quantité contenue dans le peuplement de 59 kg/Ha soit une quantité nettement inférieure à celle fournie par le 1er apport (30).
- aucun facteur limitant l'utilisation de l'engrais n'a été identifié.

- Les deux autres parcelles (TIE et STB) au contraire où l'arrière effet du 2ème apport est très faible et dû à deux sous-composantes différentes se caractérisent par un 2ème apport effectué tardivement par rapport au stade 1 cm (Fig. 25), de plus sur sol sec (Fig. 26). Il est plausible que cet apport n'ait été fait, pu être que très partiellement utilisé jusqu'à une date avancée

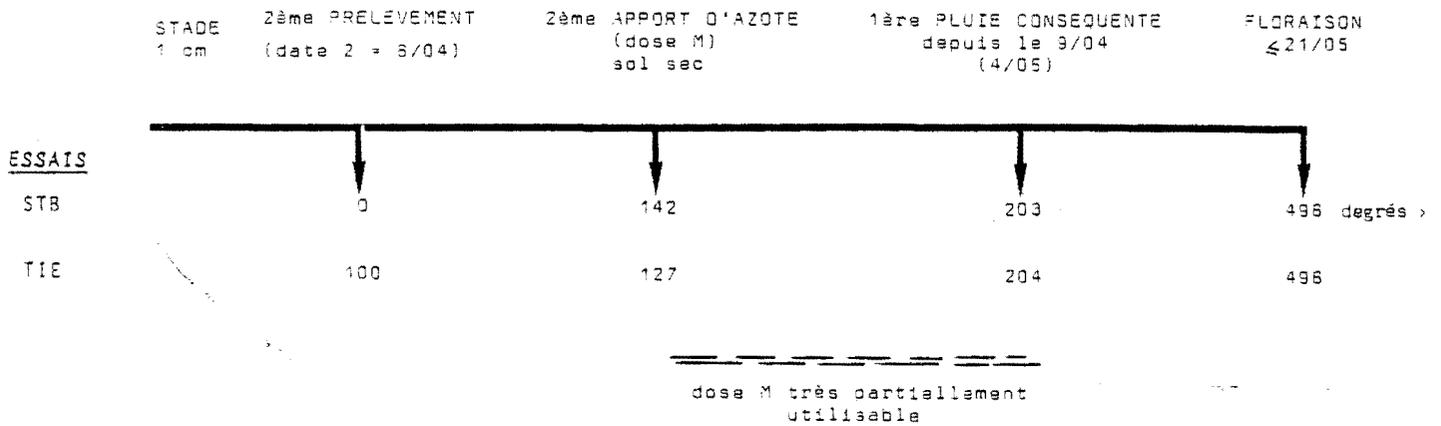


Fig. 26 - Quelques caractéristiques concernant l'utilisation de la dose M sur les essais STB et TIE.

de la montaison. Pour les deux essais, cette date se situe à peu près mi-montaison lorsque le temps est compté en degrés/jour au début du 2ème tiers de cette phase lorsqu'on compte en jours (Fig. 26), c'est-à-dire alors que le nombre d'épis serait largement déterminé (THORNE et WATSON, 1955 ; MASLE 1980).

Dans le cas de l'essai TIE, il en est sans aucun doute résulté une forte limitation de la nutrition azotée du peuplement, quasiment dès le tout début de la montaison. En effet, au moment du 2ème prélèvement, alors que l'allongement de la tige n'était que de 15 cm, la quantité d'azote absorbée était déjà de 67 kg/ha, c'est-à-dire d'un ordre de grandeur comparable à la dose apportée Y. Or, le reliquat d'azote minéral utilisable était quasi nul (ANNEXE 2-3) et la minéralisation de l'humus encore faible à cette époque de l'année.

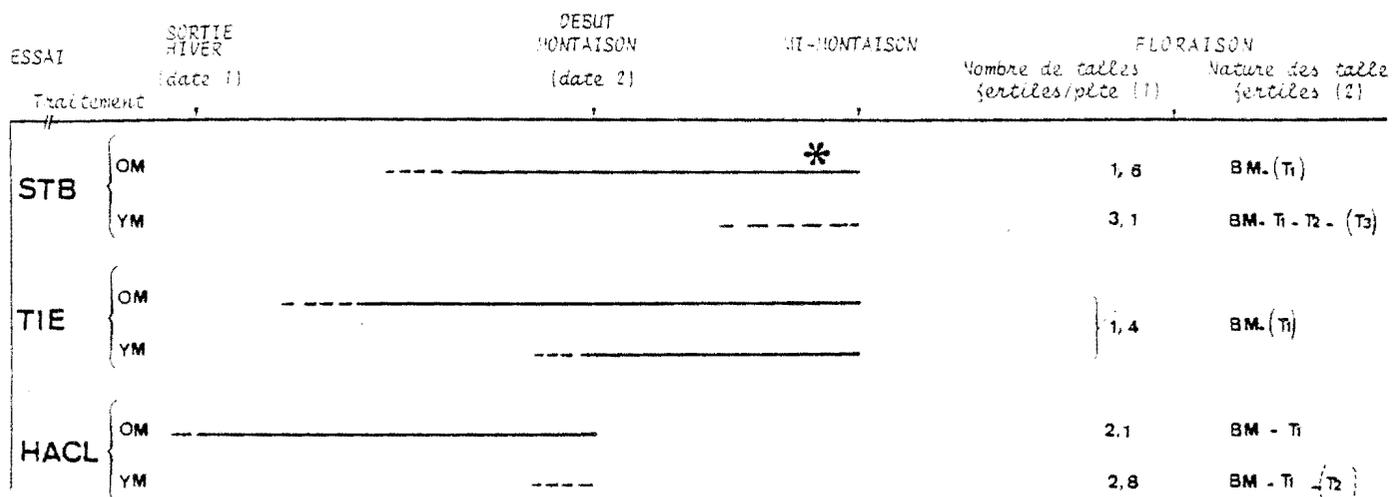
Pour l'essai STB au contraire, malgré la réalimentation tardive du milieu par la dose M, le début de la montaison au moins s'est effectué en condition de nutrition non limitante : au stade 1 cm, la quantité d'azote prélevée par le peuplement n'était encore que de 40 kg/ha pour un apport de 80 unités comme chez TIE et un reliquat d'N minéral de plus supérieur (ANNEXE 2-3). La teneur en azote dans la plante était de 6 %, valeur qu'on ne rencontre à ce stade que pour des conditions de nutrition azotée très favorables et qui autorise certaine dilution de l'azote avant effet dépressif sur la croissance.

Le classement des nombres d'épis/pied entre les deux essais (TIE < STB) est une indication supplémentaire de conditions de nutrition azotée très différentes en début de montaison. Par contre, dans la 2ème moitié de cette phase, compte tenu de la dose M apportée on peut conclure dans les deux cas à une absence de limitation en azote.

2.3.2.2. - Influence d'une compétition temporaire pour N

a/ - Interprétation des classements des NE/m²

Un gain de matière sèche en début de montaison lié à l'application d'un 1er apport d'azote, n'aurait un effet positif sur le nombre d'épis que si les conditions de nutrition azotées ultérieures permettent la couverture des besoins supplémentaires ainsi créés, pendant une partie au moins de la première moitié de la montaison ; cet effet serait d'autant plus marqué que les conditions de nutrition azotées sont favorables. Dans le cas où la limitation a été très précoce et très forte, ce gain est inutile. La comparaison des essais TIE et STB suggère qu'il pourrait même avoir un effet dépressif (NE/m² : STB > TIE alors que pour MS/m² à date 2 : TIE > STB). On retrouve là le type d'interaction mis en évidence par COIC (1949, 1956) sur blé d'hiver.



* pour chaque traitement, le trait plein parallèle à l'axe des temps représente la durée et la position de la phase de compétition pour l'azote -

(1) Eric-maitre comaris

(2) entre parenthèse : tiges qui ne sont pas fertiles sur 100 % des plantes

Fig 27 Synthèse du diagnostic des conditions de nutrition sur les essais TIE - STB - HACL pour les traitements OM et YM - et nombres d'épis correspondants

Les classements des NE /m² entre les traitements OM et OO (Fig. 23) observés sur les deux mêmes essais pourraient indiquer la possibilité de jouer tardivement sur le nombre d'épis par les conditions de nutrition azotée; ce qui permettrait de compenser partiellement les effets d'une limitation d'azote antérieure. Dans les deux cas, en effet, le classement est : OM > OO. L'essentiel de la dose M ayant été disponible tardivement, la différence de nombre d'épis correspondrait à des talles dont la montée s'est faite tardivement. Il pourrait alors s'agir :

- de talles présentes sur les deux traitements, dont la sénescence aurait été en OM interrompue au moment où le 2ème apport d'engrais est devenu disponible ;
- et/ou de talles provenant du démarrage de bourgeons axillaires jusque là non allongés, provoqué par une absorption tardive d'azote. Ni les connaissances disponibles sur les processus de tallage-sénescence, les rares observations de montées tardives rapportées dans la littérature (THORNE, 1962 ; FLEURY et RONCIN, 1978) ne permettent pas de trancher.

Par ailleurs, on ne peut exclure qu'une fraction de la dose M ait été utilisable avant le retour des pluies, permettant en OM le maintien d'un taux de croissance positif pour un plus grand nombre de talles qu'en OO. Sans cette hypothèse, la détermination définitive du nombre d'épis aurait lieu dans la 1ère partie de la montaison.

Mais, en l'absence d'une observation de la structure de la population épi, des dynamiques de croissance des différentes talles, et d'une caractérisation de leurs statuts nutritifs, on ne peut trancher ni sur la période de détermination du nombre d'épis ni sur les lois d'action de la nutrition azotée sous-jacentes aux effets enregistrés ici d'une compétition temporaire pour l'azote.

b/ - Interprétation des classements des nombres de grains/épi

Ils sont différents pour les trois essais (Fig. 24). La Fig. 25 résume les conditions de nutrition azotée diagnostiquées pour ces trois situations sur les deux traitements et donne les nombre d'épis/plante correspondants. On n'a pas à maturité identifié, les talles fertiles - mais on sait que statistiquement, elles correspondent aux talles les plus âgées, (THORNE, 1962 ; CANNELL, 1969 ; MASLE, 1980), c'est-à-dire compte tenu des nombres d'épis/plante observés, aux talles mentionnées sur

la Fig. 27. Les observations de stades effectuées sur ces talles à la date 2, montrent que sur les traitements OM de TIE et STB, la quasi-totalité de la phase de différenciation de leurs épillets et fleurs s'est faite en conditions d'alimentation limitantes ; de telles conditions ont également prévalu temporairement pendant cette phase en YM.

Or, la bibliographie montre qu'une limitation de la nutrition, en particulier azotée, a un effet dépressif sur le NG/épi (THORNE, 1962 ; CANNELL, 1969, entre autres) d'autant plus marqué que les talles sont des rang plus élevé (MASLE, 1980). Elle indique également que le nombre de grains potentiel de l'épi est statistiquement décroissant avec son rang, avec cependant une faible différence sur les 2-3 premières talles (GALLAGHER et al., 1976 ; MASLE, 1980).

Le classement OM, YM observé chez TIE est tout à fait cohérent avec ces observations. Les classements relatifs aux 2 autres essais suggèrent :

- qu'une limitation précoce en azote, antérieure au début de la montaison, n'a pas d'incidence sur le nombre de grains/épi si elle ne se prolonge pas pendant cette phase (OM = YM chez HAOL),
- qu'une limitation d'azote temporaire intervenant dans la 1ère moitié de la montaison est au contraire susceptible d'affecter gravement le nombre de grains/épi, en particulier des talles jeunes (YM < OM chez STB).

Compte-tenu de la différence des NG/épi moyens comptés sur cet essai (STB), cet effet apparaît spectaculaire alors que le dernier tiers de la montaison, donc la fin de différenciation des épis s'est déroulée en conditions d'alimentation azotée non limitantes. Ceci conduit à envisager l'existence d'une phase critique dans la différenciation de l'épi, par rapport à la nutrition azotée. Cette phase concernerait des étapes relativement précoces du cycle. La limitation azotée en YM-STB serait intervenue au cours de cette période, au moins pour les talles les plus jeunes qui ont monté sur ce traitement et pas en OM.

L'existence d'une telle phase critique serait tout à fait compatible avec les classements des nombres de grains obtenus chez TIE. Elle concernerait alors une période du cycle antérieure à la mi-montaison de la talle, donc la mise en place du nombre d'épillets, composante déterminante du nombre de grains potentiel (épillet uniflore chez l'orge). Cependant, en l'absence d'un suivi précis des stades de l'apex sur nos essais, et d'une caractérisation fine des conditions de nutrition, on ne peut dépasser le stade de la formulation d'hypothèses.

Dans l'hypothèse où un certain nombre de talles fertiles du traitement OM auraient démarré tardivement au moment où la compétition temporaire pour l'azote a été levée (Cf. p.52) faiblesse du NG/épi en YM relèverait d'une autre interprétation, non exclusive d'un effet nutritionnel direct sur la différenciation de l'épi : elle pourrait alors être imputable à un cycle de développement en moyenne beaucoup plus court.

Une limitation azotée temporaire pourrait donc avoir un double effet sur le nombre de grains/épi :

- effet direct, concernant les processus en cause dans la différenciation des organes floraux,

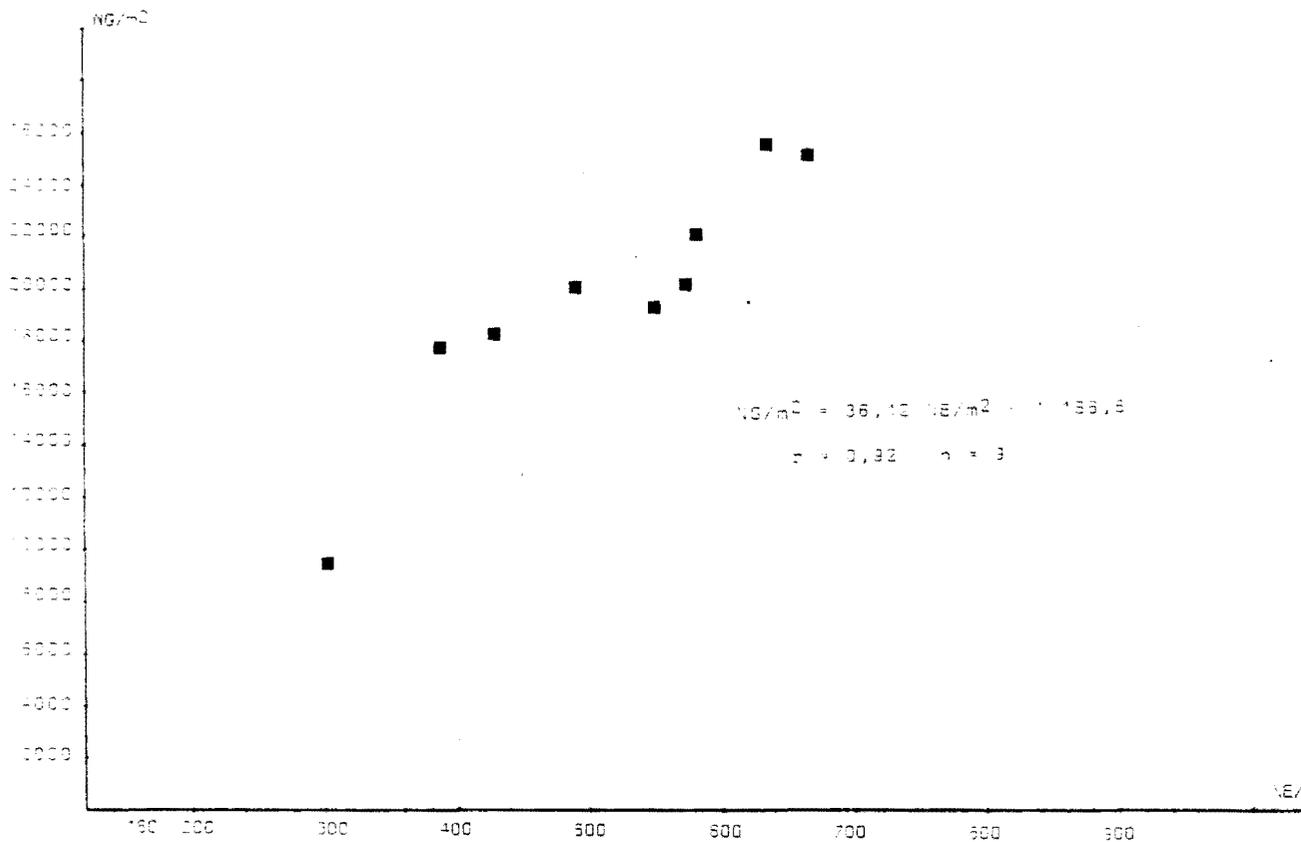


Fig. 28 - Relation entre le nombre de grains/m² et le nombre d'épis/m² (1982)
 Traitements VM

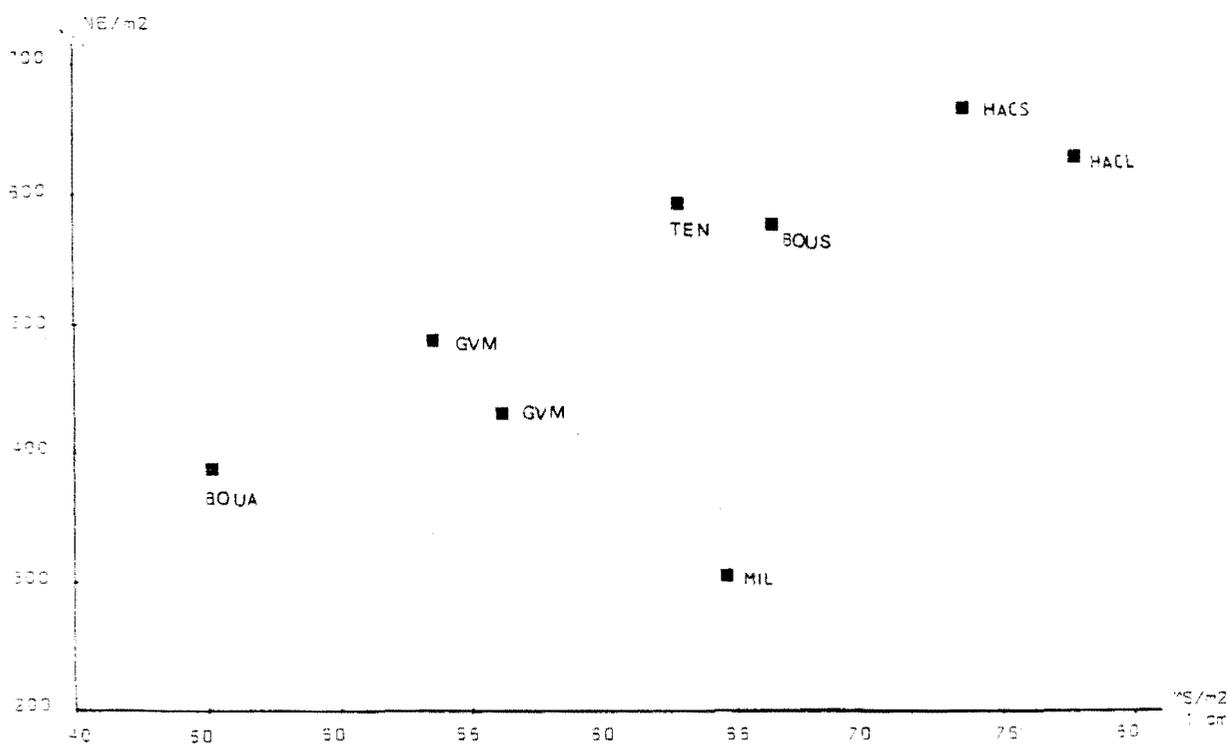


Fig. 29 - Relation entre le nombre d'épis / m² et la matière sèche mesurée au stade 1 cm pour les traitements VM

- effet indirect, par ses incidences sur les décalages des cycles de développement entre talles fertiles, lorsqu'elle est levée avant la fin de la montaison.

2.3.3. - Causes de variation du nombre de grains/m²

Sur un certain nombre des traitements l'essentiel du cycle s'est déroulé en absence de compétition pour l'azote : sont dans ce cas les traitements "YM" des essais BOUS - BOUA - HACL - HACS voire, GVM et "NA" de GVM (l'agriculteur a pratiqué la même fertilisation qu'en YM).

Il existe cependant des différences dans les NG/m² produits par ces traitements dues aux variations du NE/m² (Fig.28), mais aussi du NG/épi (fourchette de variation = 34 à 46).

2.3.3.1. - Les comportements observés chez le blé d'hiver suggèrent de rapprocher les variations du NE/m² des états du peuplement au début de la montaison : des nombreux résultats expérimentaux montrent que chez cette espèce, en absence d'autre objet de compétition que la lumière comme ici, le nombre d'épis/m² est très étroitement lié à la biomasse aérienne/m² mesurée au début de la montaison (MS au stade BII ou au stade 1 cm) (MASLE, 1980 ; MEYNARD, 1983). Nous avons peu de points permettant de réellement tester l'existence de cette relation dans le cas de l'escourgeon. Cependant, il est notable (Fig. 29) :

- que lorsqu'on considère l'ensemble des traitements pour lesquels aucun facteur limitant n'a été identifié pendant la montaison, il y ait correspondance inter-essai entre les classements des MS/m² au stade 1 cm et celui des NE/m² ;
- et que à même niveau de MS/m², les traitements présentant un mauvais état structural ou des symptômes d'hydromorphie ont produit des NE/m² plus faibles.

Ces observations iraient dans le sens d'une généralisation de la loi établie sur blé (MASLE, 1980). Cependant, l'absence de répercussion sur le nombre d'épis de variations de l'ordre de 15 % des quantités de matière sèche incite à rester prudent.

2.3.3.2. - Les variations du nombre de grains/épi ne sont pas indépendantes de celles du nombre d'épis/m²: dans la gamme des NE/m² explorée, les NG/épi sont en tendance

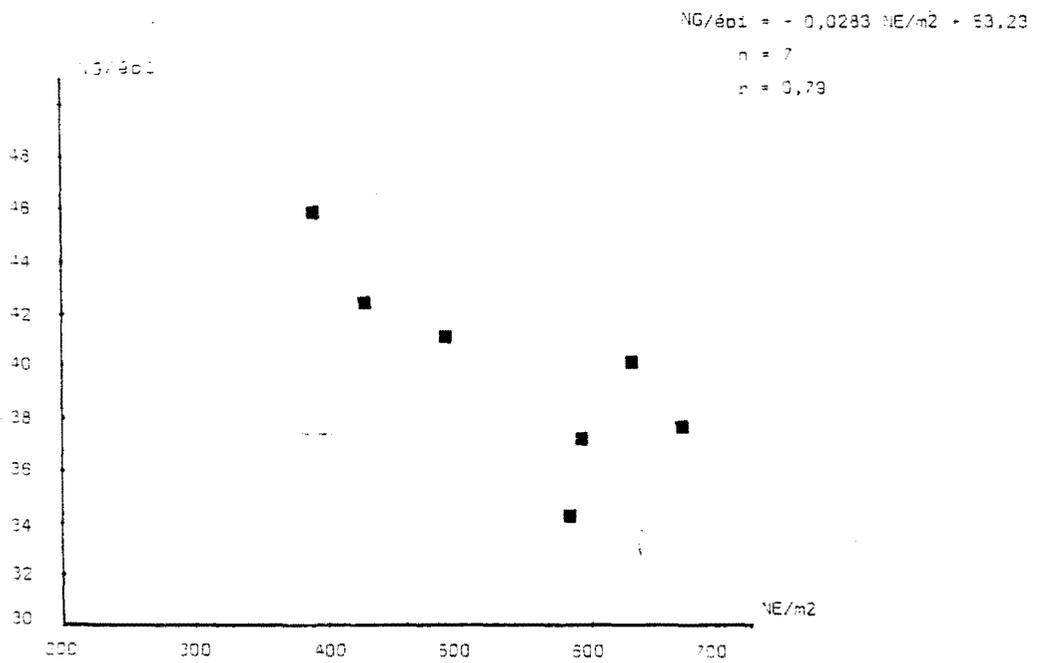


Fig. 30 - Relation entre nombre de grains/épi et nombre d'épi/m² - traitements VII (1932)

d'autant plus faibles que NE/m² est élevé (Fig. 30). Les nombres d'épis par pied étant relativement comparables entre essais à l'exception de HACL, cette tendance peut être interprétée comme la traduction d'une compétition entre les épis, dont l'objet serait principalement la lumière.

Il existe cependant une variabilité résiduelle importante, indépendante du nombre d'épis/m². Ainsi, dans la gamme 600 à 700 épis/m² (4 situations dans ce cas, Cf. ANNEXE 4-1) NG/épi est de 34 à 40. Cette variabilité apparaît largement liée à celle des masses de matières sèches végétales (Fig. 15).

3 - CONCLUSION GENERALE

Chez l'orge comme chez le blé, les variations du nombre de grains/m² apparaissent déterminantes des variations du rendement et indexées à celles de la croissance en poids sec. On montre l'existence d'une relation entre NG/m² et masse matière sèche élaborée pendant la phase de détermination de cette composante et, semble-t-il, entre NE/m² potentiel et masse de matière présente au stade 1 cm.

Les conditions de nutrition azotée jouent un rôle prédominant ; elles rendent compte de l'essentiel des variations intra et inter-essai. Cependant, leurs modalités d'action apparaissent complexes. Contrairement à ce qu'on observe sur blé, une alimentation non limitante en cet élément pendant la totalité de la phase de formation de NE/m² et NG/m² n'apparaît pas indispensable à l'obtention des niveaux maxima de ces composantes.

Ainsi, une limitation azotée forte avant ce début de la montaison ne porte pas nécessairement préjudice au nombre d'épis (cas BOUS par exemple), et n'affecte souvent pas significativement le nombre de grains/m². Dans ces conditions, dans le cas où l'azote est redevenu non limitant dès le début de la montaison, les deux composantes n'ont été significativement augmentées que lorsque le gain de matière sèche lié à une nutrition azotée antérieure plus favorable était substantiel (1 seul essai ; HACL).

Par contre, une limitation même temporaire pendant la montaison semble susceptible d'avoir des conséquences très importantes, suffisantes pour annuler cet effet. Nos résultats (comparaison des essais STB - TIE - HACL) suggèrent que ces conséquences dépendraient de la durée (et/ou de l'intensité ?) de la limitation, et de sa position dans le cycle de développement des talles. Ceci met en cause :

- l'adéquation des quantités d'azote présentes dans le milieu aux besoins instantanés du peuplement, et leurs conditions d'utilisation ;

- la constitution de la population de talles en croissance au début de la montaison, caractérisée par la distribution des âges physiologiques de ces talles et de leurs tailles. La structure de la population de talles conditionnerait :
 - a/ la dynamique de prélèvement de l'azote ;
 - b/ la position des différentes étapes de différenciation des apex - en particulier d'une phase critique éventuelle dans la mise en place du nombre de grains/épi par rapport à la dynamique de fourniture des facteurs nécessaires à la croissance ;
 - c/ et probablement la possibilité d'une montée tardive de talles qui pourrait recouvrir deux phénomènes : démarrage de nouveaux bourgeons axillaires au montée de talles préexistantes à la limitation.

Ces conclusions ont été formulées avec prudence car elles proviennent d'un faible nombre de situations et ne peuvent être totalement étayées faute d'une caractérisation plus fine, dans le temps en particulier, des conditions de nutrition d'une part, de la structure des peuplements d'autre part. Elles permettent cependant d'identifier une question très importante pour le raisonnement de la fertilisation azotée chez l'orge d'hiver - celles des conséquences sur le nombre de grains/m² d'une limitation azotée temporaire pendant la phase semis-floraison - et fournissent un certain nombre d'hypothèses quant à ses effets. L'analyse de cette question fait l'objet de la 2ème partie de ce travail.

DEUXIEME PARTIE

INFLUENCE SUR LES NOMBRES D'EPIS ET DE GRAINS/m²
D'UNE COMPETITION TEMPORAIRE POUR L'AZOTE
PENDANT LA PHASE SEMIS-FLORAISON

Il s'agit d'étudier les effets d'une limitation azotée temporaire de la nutrition du peuplement d'orge, pendant la mise en place du nombre de grains/m².

Nous avons privilégié l'étude de limitations survenant pendant les périodes de tallage et montaison bien que des limitations plus précoces puissent également affecter le nombre de grains. Ces périodes sont celles de forts besoins en azote, pendant lesquelles, dans le système de fertilisation vulgarisé, on recommande d'intervenir à des stades bien précis : or, le calendrier de travail à ces époques et la portance des sols ne le permettent pas toujours de plus les besoins en cours de cycle sont mal connus quantitativement. L'occurrence de limitations temporaires est donc fréquente. Dans un certain nombre de cas, elle tient à une hiérarchie des différentes cultures et parcelles imposée par l'agriculteur ou à des choix de doses d'engrais. Il est donc important d'en étudier les répercussions non seulement au plan des connaissances strictes concernant la physiologie du peuplement, mais aussi dans une optique de rationalisation de la conduite de la culture : de quelle marge de souplesse dispose-t-on dans les modalités d'apport d'engrais, par rapport à la réalisation d'un objectif de nombre de grains/m²

I - METHODES D'ETUDE

1 - PRINCIPES

Les résultats précédemment exposés ainsi qu'un certain nombre d'éléments de la littérature autorisent à penser que les effets d'une limitation azotée sont variables selon :

- a) - la position de cette limitation dans le cycle. Ainsi, les observations de COIC (1950 ; THORNE et WATSON (1955) montrent que, bien qu'encore non comptable, le nombre d'épis/m² est quasi déterminé mi-montaison. Une limitation de la nutrition plus tardive affecte donc essentiellement le NG/épi, alors que, plus précoce, elle affecte les deux sous-composantes du nombre de grains/m². Cependant, le comportement observé sur l'essai STB indiquerait la possibilité d'une action tardive même sur le nombre d'épis/m².

Par ailleurs, nous avons précédemment évoqué la possibilité d'une phase critique dans la différenciation de l'apex pour la fixation du nombre de grains/épi.

- b) - la structure du peuplement au moment où la limitation apparaît : l'instauration d'une compétition pour l'azote a pour conséquence immédiate une interruption du processus de tallage. MASLE (1981) le met bien évidence chez le blé ; les nombres de talles observés en 1982 dans nos essais ou par THORNE (1962) ; RAWSON (1971) sur orge, sont cohérents avec cette comittance. Le début d'une compétition entraîne également une réduction de la vitesse de croissance des talles existantes, différentielle selon leur âge (THORNE, 1962 ; CANELL, 1969). Les plus jeunes talles amorcent un processus de sénescence, irréversible si la limitation se poursuit jusqu'en fin de cycle.

Dans des conditions expérimentales où l'azote reste facteur limitant jusqu'à la fin de la montaison, MASLE (1981) constate que les talles fertiles sont celles qui, au moment où la plante a commencé à manquer d'azote, ont au moins trois feuilles. Ce stade "critique" par rapport à la nutrition azotée a été mis en relation avec la morphogénèse du système racinaire. Les observations de ONG (1978) sur ray gras sont en accord avec ce résultat qui pourrait ainsi décrire un comportement spécifique des graminées annuelles à talles, donc être applicable à l'orge également. Enfin, tous les travaux concernant les phénomènes de compétition, chez différentes espèces, dont le blé, montrent que les paramètres des lois régissant ces phénomènes dépendent des caractéristiques de la variabilité interne du peuplement : nombre, taille, répartition spatiale des individus (Cf. travaux, entre autres de DONALD (1963) et chez le blé de BALDY (1973-1974) et MASLE (1980).

Or, chez les céréales, on sait que les différentes talles ont à tout moment des stades, des tailles, des aptitudes à la croissance, différentes selon leur âge et probablement selon les phases du cycle. Une variation de la date d'instauration de relations de compétition correspond donc à une variation des nombres de talles en croissance, des proportions des talles des différents âges et de leurs états respectifs. A priori, l'allocation à leur croissance du facteur qui est limitant en sera différente, ainsi que l'importance du déficit en azote. Les travaux de COIC (1956) montrent de manière très globale le rôle du potentiel de croissance créé à un moment donné sur les besoins ultérieurs et sur l'incidence de leur non satisfaction.

- c) - la structure du peuplement au moment où la limitation cesse : les comportements observés sur les essais TIE et STB nous ont conduit à évoquer la possibilité d'une montée tardive de talles, dans le dernier tiers de la montaison. Les seuls travaux dont on dispose dans la littérature montrant l'existence effective d'un tel phénomène ont été obtenus en pots (THORNE, 1962) consécutivement à un apport d'azote à l'épiaison, ou en peuplement (FLEURY et RONCIN, 1978), mais alors, après amputation artificielle des plantes (éclaircissage). Dans l'expérience de THORNE ci-dessus citée, des apports à la même date, sur des plantes également carencées en azote, mais en

peuplement, n'ont pas cet effet. Cet auteur suggère que la différence pourrait être imputable aux différences d'éclairément des talles, plus favorable, dans ses conditions, en pots qu'au champ. Il s'agit d'une simple hypothèse qui cependant serait cohérente avec la réaction observée par FLEURY et RONCIN. Elle suggère une des causes possibles des variations des modalités de compensation d'une réduction de croissance des organes existants par une apparition d'organes supplémentaires pendant la période ultérieure. Elle mettrait directement en cause la structure du peuplement au moment où la compétition est levée, en particulier celle de ses caractéristiques qui conditionnent la pénétration du rayonnement.

Les résultats d'ASPINALL (1960) suggèrent une interaction directe entre les effets d'une réalimentation tardive et des paramètres internes à la plante qui conditionneraient le niveau des besoins des organes existants et la dynamique de leur sénescence. Enfin, on peut penser que l'âge des méristèmes et des tissus au moment où la compétition est levée conditionne leur aptitude à la croissance et l'allocation des facteurs nutritifs entre les talles, donc leur nombre de grains.

Plusieurs types de caractéristiques de la structure du peuplement sont ainsi susceptibles d'interférer dans la réponse à une réalimentation du milieu en azote.

2 - CHOIX DES TRAITEMENTS EXPERIMENTAUX

On a cherché à créer des limitations azotées qui commencent depuis le début du tallage (courant hiver) jusqu'au début de la montaison et se prolongent jusqu'à différents stades clés de l'élaboration des nombre d'épis et nombre de grains/m² :

- stade BII, début de la phase d'élongation active des entrenœuds, moment auquel comme chez le blé, le potentiel de nombre d'épis était susceptible d'être fixé;
- Stade CII, écartement des stigmates, qui se situe grossièrement mi-montaison, et auquel le devenir des talles - production d'un épi fertile ou sénescence en cours de cycle - est, chez le blé, déterminé;
- fin gonflement - début épiaison, stade auquel le nombre de grains potentiel (nombre de fleurs viables) est quasi acquis.

Ces limitations devaient intervenir sur des peuplements de structures variées.

2.1. - Facteurs de variations retenus

Etant donné la complexité de la dynamique de l'azote dans le sol et sa dépendance du climat, donc de facteurs pour partie aléatoires, on ne peut totalement maîtriser au champ la date de début d'une limitation azotée. On a cherché à en assurer la variation par le biais :

- des densités de plantes (3 densités : nombres de plantes visées/m² : 165, 370 et 230) qui créent des dynamiques de besoins différentes,
- des quantités d'engrais appliquées en complément de la fourniture du sol. Au vu des résultats de 1982, 3 doses ont été choisies : 0 - 30 - 60 unités qui devaient créer une compétition respectivement :
 - . tout début tallage,
 - . plus tard, mais avant le début de la montaison,
 - . au début de la montaison ou après, selon la densité.

Ces doses ont été appliquées à une date choisie de façon à ce que les risques d'une limitation azotée antérieure à l'apport ainsi que d'un lessivage important de l'engrais, soient faibles ; elles sont plus précoces qu'en 1982 : 11 janvier et 3 février respectivement pour les deux essais (Cf. infra).

Par contre, sous réserve que l'engrais soit rapidement utilisable (solubilisé), la date de fin de la limitation pouvait être beaucoup mieux maîtrisée, en pratiquant aux stades visés une réalimentation du milieu en azote par un 2^e apport d'engrais: 160 unités d'azote, visant à une alimentation azotée ultérieure du peuplement non limitante ont été appliquées, pour chacune des 3 doses de 1^{er} apport, aux stades BII, CII, fin gonflement-épiaison.

Ont ainsi été définies 9 modalités de fertilisation qui seront codées :

O_i, A_i, B_i, les lettres :

O, A et B se référant à la dose du 1^{er} apport d'engrais (O = 0 ; A = 30 ; B = 60), l'indice *i* à la date d'application du 2^e apport :

i = 2 2^eme apport au stade BII

i = 3 2^eme apport au stade CII

i = 4 2^eme apport - fin gonflement-épiaison.

A priori, la modalité B₂ serait comparable au traitement YM de 1982, la modalité O₂ au traitement OM.

Ces 9 traitements de base ont été complétés par 2 traitements correspondant respectivement à :

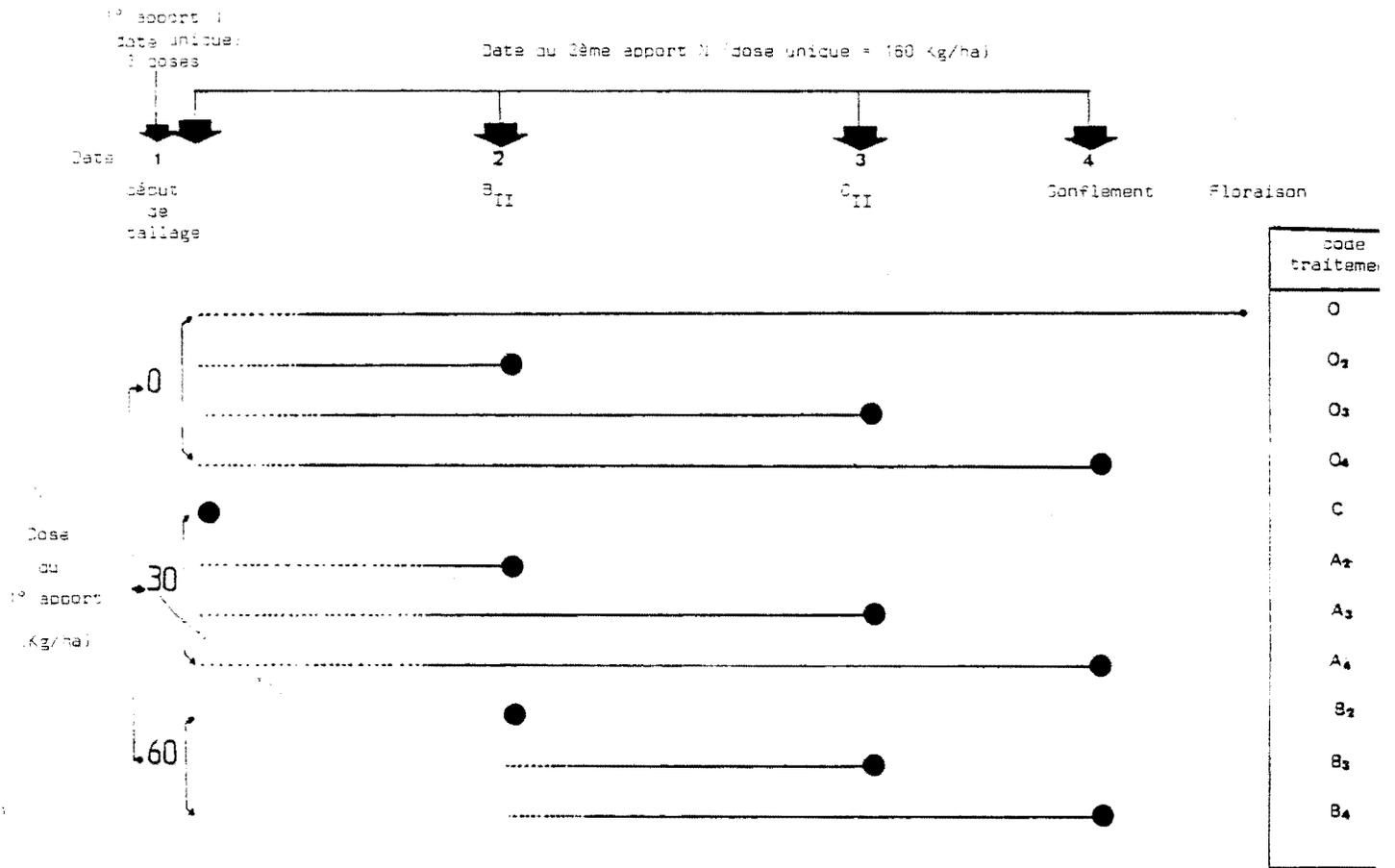


Fig. 31 - Modalités de fertilisation azotées appliquées aux 3 densités de peuplement d₁ et d₂ (essai GRI) d₃ (essai NOYON).

- une absence de fertilisation azotée (code 0),
- une application d'une dose A + 160, en même temps que l'application du 1er apport sur les traitements Oi, Ai, Bi. (code C).

Le 1er traitement permettait d'apprécier la fourniture d'azote par le sol et donc constituerait un terme de passage entre les 2 sites d'expérimentation (Cf. infra) et entre les deux années. Le 2ème correspond à une pratique et, comparé au traitement A2 donnerait une indication de l'intérêt du fractionnement d'une même dose totale. De plus, il constituait une certaine assurance de créer une situation d'absence de compétition pour l'azote - au cas où le 2ème apport effectué au stade BII, ne serait pas immédiatement utilisable -, et donc d'extérioriser le niveau potentiel des composantes du rendement lié aux autres facteurs du milieu que l'azote.

Ces 11 traitements ont été appliqués en 2 sites correspondants à des pédoclimats très différents (ANNEXE 2-2 et 7) :

- GRIGNON (Yvelines) sur le Centre expérimental de l'INRA (Code GRI),
- BEYNES (Oise, lieu-dit proche de NOYON inclus dans le périmètre de localisation des essais de l'année précédente, sur une parcelle d'agriculteur (code NOY)).

A Grignon, ils ont été croisés avec les 2 densités de peuplement - 165 et 370 plantes/m² - codées respectivement d1 et d2, extrêmes par rapport aux densités courantes (Cf. les NP/m² des essais 1982). A Beynes, ils ont été appliqués sur la densité 220 plantes/m², codée d3, intermédiaire par rapport aux deux précédentes (230 plantes/m²), proche de celles couramment pratiquées.

Le choix de 2 sites et de différentes densités de plantes par unité de surface, répondait à l'objectif de créer différentes combinaisons entre :

- a) - les paramètres de la compétition pour l'azote (date d'installation ; importance du déficit par rapport aux besoins),
- b) - les caractéristiques de la structure du peuplement
- c) - le potentiel de croissance et de rendement

La variété BARBEROUSSE a été retenue pour les 2 essais, ce qui conditionnait les possibilités de comparaison entre les 2 années d'expérimentation.

La Fig. 31 récapitule les éléments de définition des différents traitements (lieux - densités - modalités de fertilisation azotée) et les conditions de nutrition qui étaient visées. La partie du cycle représentée en trait plein correspond à la période

Code	DATE		TEMPS ECOULE DEPUIS LE SEMIS (1)		STADE DU BRIN-MAITRE			
	Jour Calendaire	Nombre de jours	Températures cumulées (2)	Nombre de feuilles moyen	Hauteur moyenne de l'épi (mm)	Stade médian de l'apex : A (x ; y) (3)		
1	11/01	85	559	4,6 4,5	5,00 5,00	A (10 ; 0) A (8 ; 0)	GRI	
	3/02	128	864	7,8	7,80	A (22 ; 36)	NOY	
2	18/03	128	847	8,3 8,0	8,20 10,7	BII (25 ; 38) BII (24 ; 38)	GRI	
	9/03	163	954	8,3 à 8,6	9,00 à 9,90	BII (27 ; 44) BII (29 ; 50)	NOY	
3	19.04	150	1058	11,7 8,9	66,0 146	CII "	GRI	
	26/04	211	1306	11,0	200 à 300	Début gonflement Méiose	NOY	
4	9/05	204	1271	/	/	E ₀ à E ₂	GRI	
	5/05	220	1403	/	430 à 630	E ₀ - E ₄	NOY	

(1) Date de semis : GRI = 20/10/82 NOY = 29/09/82

(2) Températures moyennes journalières ; base de sommation 0°C

(3) Echelle de JONARD (1952) avec A (x ; y) ou x = nombre d'épilletés des 2 rangs centraux et y celui des 4 rangs latéraux de l'épi.

Fig. 32 - Dates des apport d'azote sur les 2 essais 1983 et stade du brin-maitre à ce moment là -

, attendue, de la limitation azotée ; son début est figuré en pointillés car pas précisément connu a priori (Cf. supra) et variable entre les 3 densités x sites (plus précoce en d2 que d1 ; par contre, on ne peut a priori présager du classement de d3 par rapport à d1 et d2).

Pendant les phases laissées vierges, la croissance du peuplement est limitée par les caractéristiques climatiques, de température et rayonnement ; à partir d'une certaine date dépendante du traitement (dose N - densité), il y a nécessairement compétition pour la lumière entre plantes, qui pourra intervenir en interaction avec la compétition pour l'azote.

2.2. - Dispositif - Conduite des essais

Les traitements ont été répartis selon un dispositif en bloc à deux répétitions (pour l'essai GRI : randomisation totale ; pour l'essai NOY : Split-plot avec les densités en grande parcelle et les modalités de fertilisation randomisées à l'intérieur), en petites parcelles de 65 à 80 m².

- Pour les deux essais, les apports d'azote ont été effectués par nos soins, avec le même appareil de distribution et la même forme d'engrais (ammonitrate). Ils ont toujours eu lieu sur sol humide ou juste avant des pluies permettant une solubilisation rapide de l'engrais (ANNEXE 7-1). Les dates des apports exprimées en jours calendaires et en sommes de températures depuis le semis, et les stades du peuplement à ces moments-là, sont portés Fig. 32.

Les principales différences entre les deux essais concernent

- . la date 3 du 2ème apport qui se situe beaucoup plus précocement à Grignon qu'à Noyon, dans le déroulement de la montaison,
 - . la date 1, plus précoce à Grignon qu'à Noyon, pour tenir compte des besoins importants créés par la forte densité.
- Les densités de peuplement réelles ont été remarquablement homogènes au sein d'une même densité théorique et sont restées constantes dans le cycle (disparition de plantes quasi nulle au cours de l'hiver) ; les différences de nombre de plantes entre traitements et dates d'observation sont minimes, jamais significatives (Fig. 33). Les traitements des densités d1, d2 et d3 seront donc caractérisés par une densité unique, correspondant à la valeur moyenne des comptages de nombres de plantes (Fig. 33).
 - La protection phytosanitaire, herbicide et les régulateurs de croissance qui ont été appliqués ont permis d'éviter toute infestation parasitaire ou adventice ainsi que,

Essai : GRIGNON	4/11/82	DATES de COMPTAGE				MOYENNE GENERALE PAR DENSITE
		11/01/83		24/02/83		
d1	Bloc I	172,6 (29) 17 % (1) (2)	166,4 (11) 23, %	176,2 (32) 12 %	164,5 (37) 22 %	
	II	164,8 (30) 18 %	176,2 (10) 22, %	163,7 (32) 13 %	169,5 (37) 23 %	
Moyenne des 2 blocs		168,6	171,0	169,9	166,9	169
d2	Bloc I	370,9 (30) 10 %	372,0 (10) 11 %	374,6 (32) 8 %	364,6 (37) 14 %	
	II	369,9 (30) 12 %	411,6 (10) 9 %	368,6 (33) 18 %	367,2 (37) 12 %	
Moyenne des 2 blocs		370,5	391,8	370,6	365,9	371
Essai : NOYON	DATES de COMPTAGE					
	03/02/83		9-10/03/83			
d3	Bloc I	236,0 (24) 20 %	204,7 (33) 36 %			
	II	220,0 (24) 20 %	227,5 (33) 21 %			
Moyenne des 2 blocs		228	216		221	

(1) : entre parenthèse = effectif des placettes (2 x 50 cm de lignes) de comptage
 (2) : coefficient de variation.

Les différences entre moyennes des différentes dates et des 2 blocs sont non significatives pour une même densité théorique.

Fig. 33 - Nombres de plantes/m² obtenus pour les 3 densités théoriques d1 - d2 - d3 - 1983 -

pendant la phase semis-floraison, toute verse. Le déficit climatique ETP-P est resté nul jusque début juin (ANNEXE 7-1). On peut exclure toute limitation de l'alimentation hydrique, sauf très temporaire. Les deux sols étaient bien pourvus en éléments minéraux majeurs P, K, Mg en particulier (ANNEXE 2-2).

Les conditions expérimentales réelles pour les deux essais sont donc conformes à celles qui étaient visées. Les sources des variations des nombres d'épis et de grains intralieu sont les conditions de nutrition azotée et d'éclaircissement.

3 - CONTROLES

- . Des prélèvements de plantes ont été effectués à maturité et en cours de cycle, à chacune des dates d'apport d'engrais donc de modification éventuelle du statut nutritif du peuplement. A Grignon, un prélèvement supplémentaire a été fait à une date (codée 1a) intermédiaire entre la date du 1er apport et le 2ème apport le plus précoce (dates 1 et 2 respectivement).

A la date 1, les prélèvements ont été faits sur toutes les parcelles de manière à tester l'homogénéité initiale de l'essai, avant tout apport d'engrais (nombre de plantes/m² ; poids sec ; stade foliaire). A chacune des dates suivantes, on prélevait toutes les parcelles qui avaient alors été différenciées par des apports antérieurs à la date considérée et toutes celles qui allaient l'être le jour du prélèvement.

Les variables enregistrées à ces différentes dates et leur mode d'échantillonnage sont récapitulées en ANNEXE 6-1-2-3. Elles concernent :

- la biomasse totale du peuplement,
- le nombre et la nature des talles existantes,
- leur stade foliaire et, pour le brin-maitre, le stade de l'apex,
- leur biomasse déterminée rang par rang, en moyenne ; à la date 3 et à maturité des pesées individuelles ont été effectuées pour une analyse détaillée de la dynamique de sénescence des talles en cours de cycle et des relations entre les croissances et les nombres de grains des talles d'une même plante,
- les teneurs en azote total, avec à maturité dosage séparé pour les parties végétatives et les grains,
- enfin, les composantes du rendement : nombre d'épis, nombre de grains/épi, poids d'un grain.

On aurait ainsi un jalonnement régulier du cycle permettant d'établir les dynamiques de développement et de croissance en poids sec, et parallèlement d'absorption d'azote, à l'échelle de la surface, de la plante et pour les tères des différentes talles. Leurs comparaisons entre traitements permettraient de caractériser les conditions de nutrition, en particulier de dater le début des phases de limitation azotée, à la fois dans le calendrier des fournitures en facteurs nutritifs, et dans celui de la morphogénèse de la plante.

Les observations effectuées aux dates d'apports d'engrais étaient indispensables pour analyser les interactions entre structure du peuplement au moment de la réalimentation du milieu en azote et conditions de milieu ultérieures.

- . De manière à dissocier le rôle des quantités d'azote disponibles de celui d'autres caractéristiques du milieu interférant sur la nutrition azotée, ont été décrits :

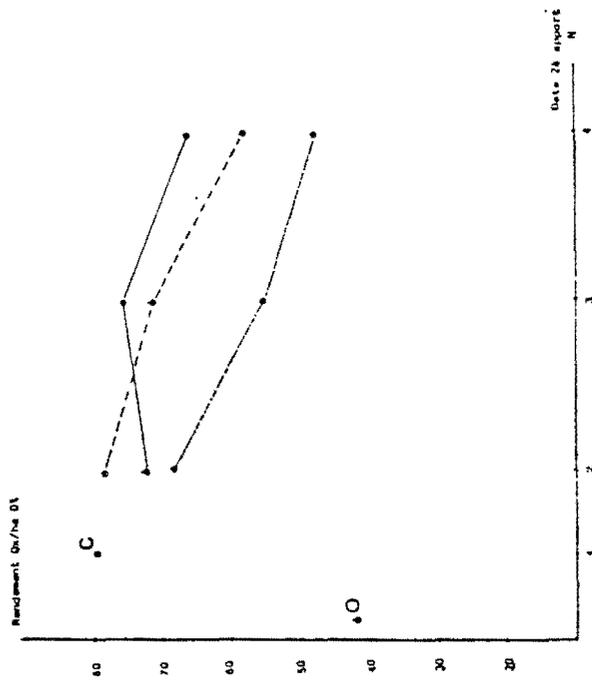
- l'état sanitaire des feuilles, tiges et racines,
- la profondeur et la densité d'enracinement à deux stades clés par rapport à la mise en place du nombre de grains et du système racinaire : début montaison (date 2) et floraison,
- l'état structural du profil à ces 2 même dates,
- le profil d'azote minéral sur la profondeur d'enracinement, avant tout apport d'azote par l'engrais,
- enfin, les composantes climatiques. A Grignon, l'enregistrement était fait sur la parcelle ; à Beynes, le poste climatique utilisé était situé à Noyon, en un site climatiquement très proche de celui de l'essai.

II - RESULTATS

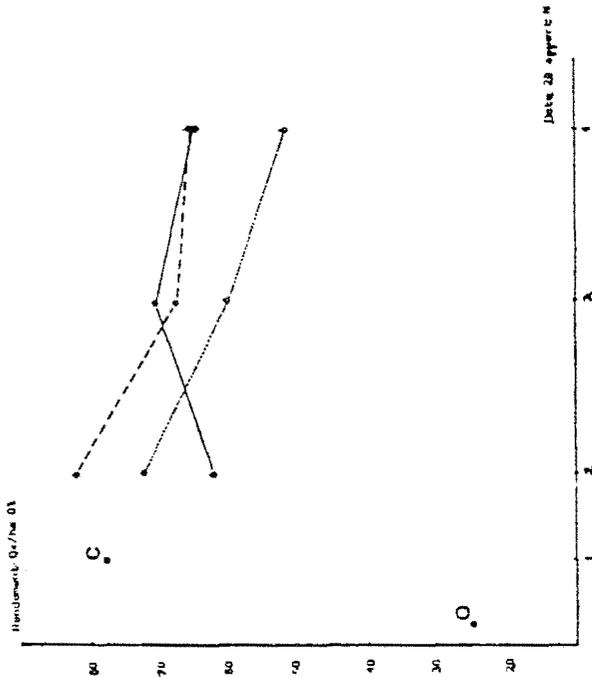
A/ - VARIATIONS DU RENDEMENT ET DE SES COMPOSANTES : EFFET GLOBAL DES TRAITEMENTS

1 - PRESENTATION GENERALE

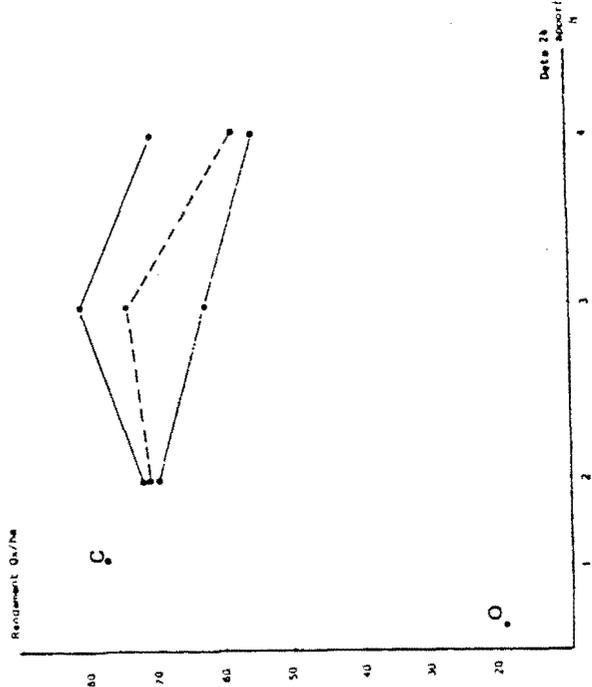
Les niveaux de rendement et de ses composantes sont ainsi récapitulés en ANNEXE 8-1-2-3 pour les trois densités x sites, ainsi que les résultats d'analyses de variance.



GRI - d₁



GRI - d₂



NOY

Fig. 34 - Réponse du rendement aux modalités de fertilisation azotée pour les deux essais.

1.1. - Gamme de variation des rendements

Les traitements expérimentaux ont entraîné une forte variation des rendements : 20 à 80 quintaux à Grignon, pour chacune des deux densités, 40 à 80 quintaux à Noyon (Fig. 34a-b-c). A Grignon, cette variation est pour une part due au traitement Ø, dont le niveau est très faible, inférieur d'environ 30 quintaux au plus faible des rendements obtenus en présence de fertilisation. A Noyon, le niveau du témoin non fertilisé est remarquablement élevé (40 quintaux). Cependant, indépendamment de ce traitement, l'amplitude des variations de rendement selon les combinaisons dose du 1er apport d'engrais x dose du 2ème, reste considérable, de l'ordre de 30 quintaux/ha.

Il est remarquable que les rendements maximum obtenus sur les densités d1 et d2 à Grignon, d3 à Noyon, soient comparables, proches de 80 quintaux/ha.

La comparaison des traitements des 2 années et 2 lieux qui peuvent être considérées comme homologues : OM et Ø2 d'une part YM et B2 ou C d'autre part, est systématiquement à l'avantage de 1983 (Fig. 35). Cette supériorité est imputable aux nombres de grains/m² qui sont toujours supérieurs à 25.000, voire voisins de 30.000 en 1983 alors qu'en 1982, ils atteignaient exceptionnellement 25.000, même en YM, se situant pour la plupart aux environs de 20.000. La différence est telle qu'elle masque un classement inverse des poids d'un grain, voisins de 25-27 mg en 1983 contre 30-31 mg en 1982.

1.2. - Relations entre rendement et absorption d'azote

Les rendements apparaissent en bonne relation avec les quantités totales d'azote absorbées sur l'ensemble du cycle (coefficients de corrélation de 0,84 en d1 et d2 ; 0,90 en d3 (NOY)).

Ces quantités varient de 120 à 260 kg d'azote tous traitements confondus, de 120 à 260 kg au sein des traitements fertilisés des 3 densités, en relation directe avec les modalités de fertilisation (Fig. 36). Quels que soient le lieu et la densité, quantités d'azote absorbées et rendements se classent en fonction de la date du 2ème apport, dans l'ordre : date 2 >> date 4, et pour les doses du 1er apport 0 < B.

Le classement des traitements, leurs niveaux sont remarquablement comparables entre les 2 sites d'expérimentation et à Grignon les 2 densités. Cependant, l'efficacité de l'azote par rapport au rendement - appréciée par le rapport kg de grain/kg d'azote contenu dans la plante à maturité - est en tendance inférieure à Noyon par rapport à Grignon, d1 ou d2 (Fig. 37) : les quantités d'azote absorbées par quintal de grain produits sont sur la majorité des traitements égales, à très nettement

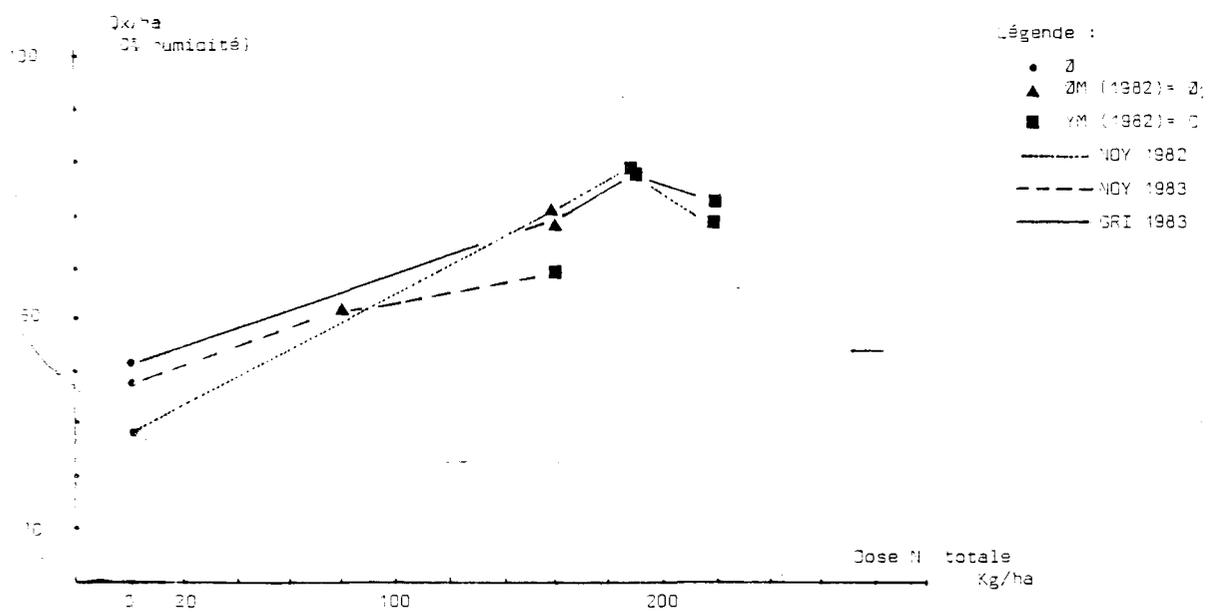


Fig. 35 - Confrontation des rendements obtenus en 1982 et 1983 pour des traitements théoriquement homologues.

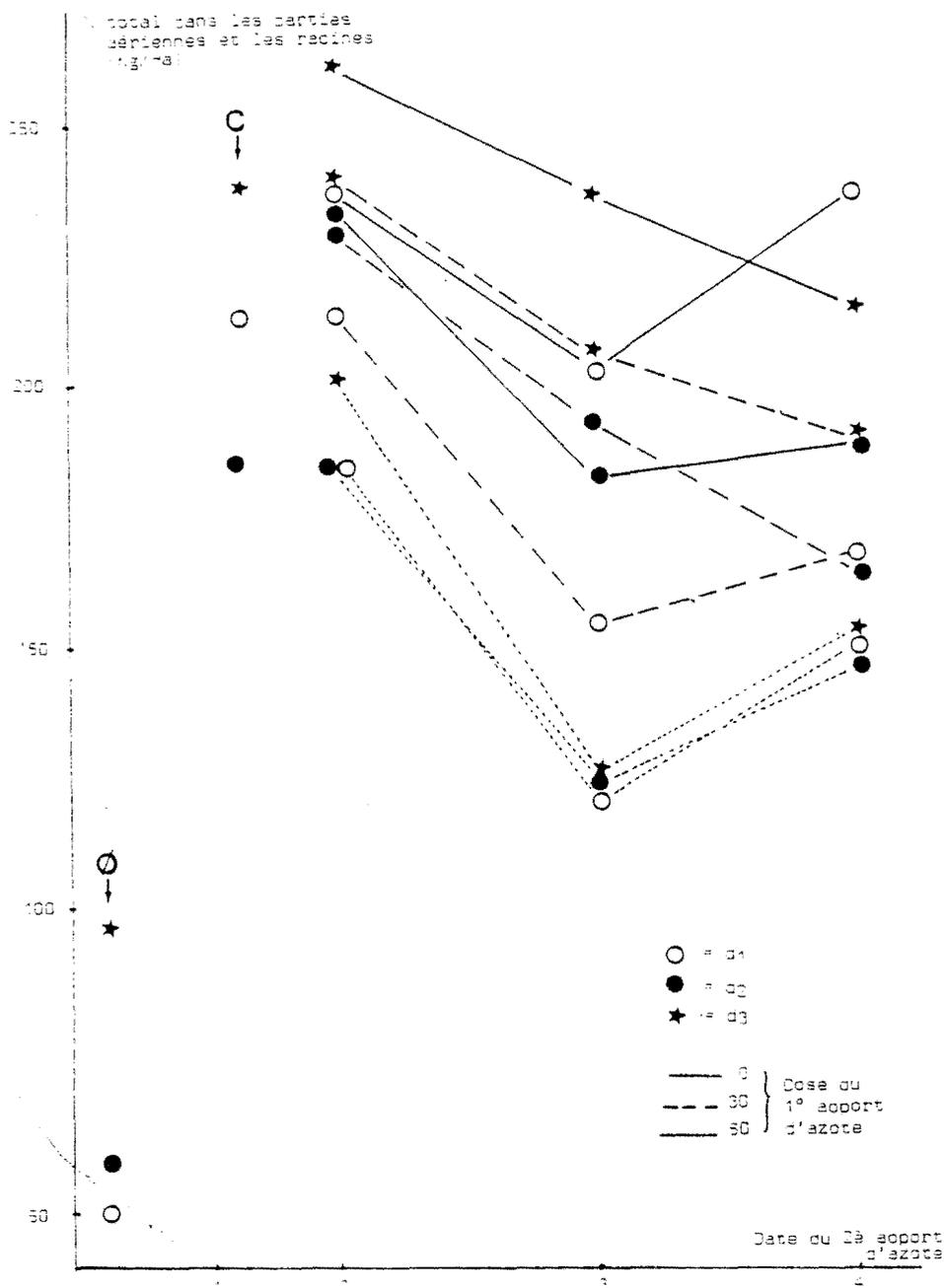


Fig. 36 - Quantités totales d'azote contenues dans les plantes à maturité pour les différents traitements.

ESSAI	DENSITES DE PLANTES	TRAITEMENTS										
		0	02	03	04	C	A2	A3	A4	B2	B3	B4
GRIGNON	d1	55	45	52	44	44	40	58	42	36	47	36
	d2	55	46	58	44	49	42	41	46	32	46	40
NOYON	d3	50	40	52	35	39	38	40	36	32	37	36

(1) parties aériennes (paille + grain) + racines ; avec l'hypothèse que les racines contiennent l'équivalent de 20 % de la quantité d'azote contenu dans les parties aériennes (Cf. ANNEXE)

Fig. 37 - Efficacité de l'azote absorbé par rapport au rendement grain (poids grain (kg/ha)/quantité totale d'azote contenue dans les plantes à maturité⁽¹⁾ (kg/ha).

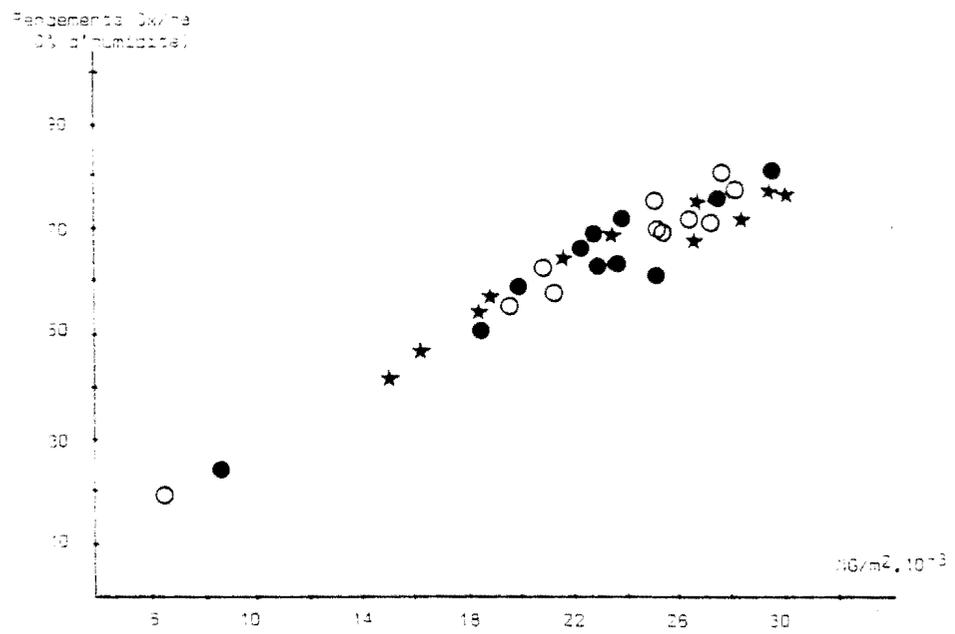


Fig. 38 - Relation entre rendement et nombre de grains/m²

EQUATIONS DE REGRESSION :

○	GRI d ₁	R = 0,0027 NG + 2,32	n=11	r = 0,99
●	GRI d ₂	R = 0,0027 NG + 2,34	n=11	r = 0,97
★	BOY	R = 0,0022 NG + 14,2	n=11	r = 0,96
	Tous traitement	R = 0,0026 NG + 5,94	n=33	r = 0,97

○ = d₁ Brignon
 ● = d₂
 ★ = d₃ Boyon

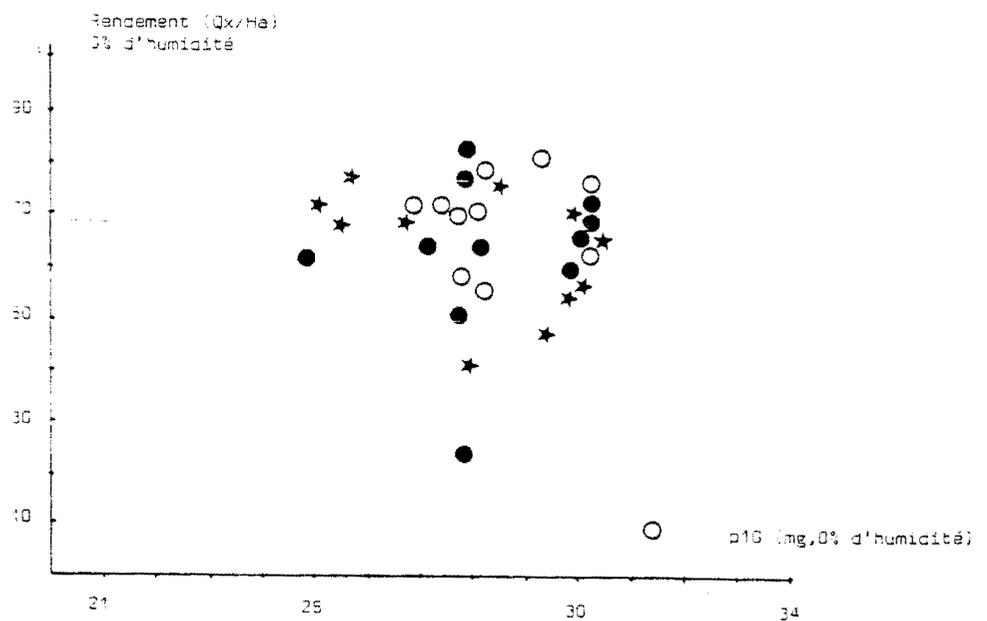


Fig. 39 - Relation entre rendement et poids d'un grain.

supérieures, à 2,5 kg/q, norme classiquement retenue pour la prévision des besoins en azote dans l'application de la méthode du bilan prévisionnel (ITCF, 1983). A Grignon, ce chiffre est beaucoup moins fréquemment atteint même avec un 2ème apport très tardif (ANNEXE 9-1).

Mais, la différence la plus notable entre les 2 essais concerne les quantités d'azote absorbées en absence de fertilisation qui sont beaucoup moins abondantes à GRI qu'à NOY (près de 50 kg contre 100 environ) et qui expliquent que les rendements des traitements Ø soient dans un rapport de 1 à 2 (Fig. 34). Le choix des 2 sites a donc bien permis de faire varier les conditions de croissance, indépendamment de la fertilisation azotée.

Une autre conclusion importante est que les traitements expérimentaux ont bien créé des conditions de croissance du peuplement très différentes. On note cependant que des rendements et absorptions d'azote comparables ont été obtenus avec des régimes de fertilisation azotée a priori très différents (en particulier concernant la chronologie de la disponibilité en azote au cours du cycle), des nombres de plantes variant du simple au double et 2 sites pédoclimatiques très différents. Ceci suggère l'existence de variations importantes dans les modalités d'obtention d'un rendement donné.

1.3. - Rôle des différentes composantes du rendement dans ses variations

Les Fig. 38 et 39 montrent la relation entre le rendement et ses 2 principales composantes : nombre de grains/m² et poids d'1 grain (p1G).

Le nombre de grains/m² joue un rôle prépondérant dans la détermination du niveau du rendement (coefficient de corrélation entre les 2 variables est de 0,99 et 0,97 respectivement en d1-d2-d3). Il est notable que les relations soient très comparables pour les trois groupes de traitements correspondant aux différentes densités x sites (Cf. équations de régression Fig. 38), très comparables également avec celle obtenue en 1982 (Fig 28). Par contre, comme en 1982, il n'y a aucune relation entre rendement et poids d'1 grain (Fig. 39) bien que cette composante varie fortement intra-lieu et densité (25 à 31 mg).

2 - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE NOMBRE DE GRAINS/m²

2.1. - Analyse des courbes de réponse du nombre de grains/m² aux modalités de fertilisation azotée :

Ces courbes sont données Fig. 40 a-b-c.

2.1.1. - Influence de la dose du 1er apport d'azote

On compare 3 doses : 0 (----), 30 (— —), 60 (———). Ces 3 doses se classent globalement dans l'ordre $0 < 30 \leq 60$, pour les 2 essais et à GRI, les 2 densités. Les écarts maximaux de nombre de grains qu'elles ont entraînées sont, en valeurs relatives comparables entre d1 - d2 - d3, de l'ordre 25 à 30 %.

L'influence de la dose du 1er apport N est fortement dépendante de la date à laquelle est intervenue le 2ème apport : c'est-à-dire la réalimentation du milieu en azote :

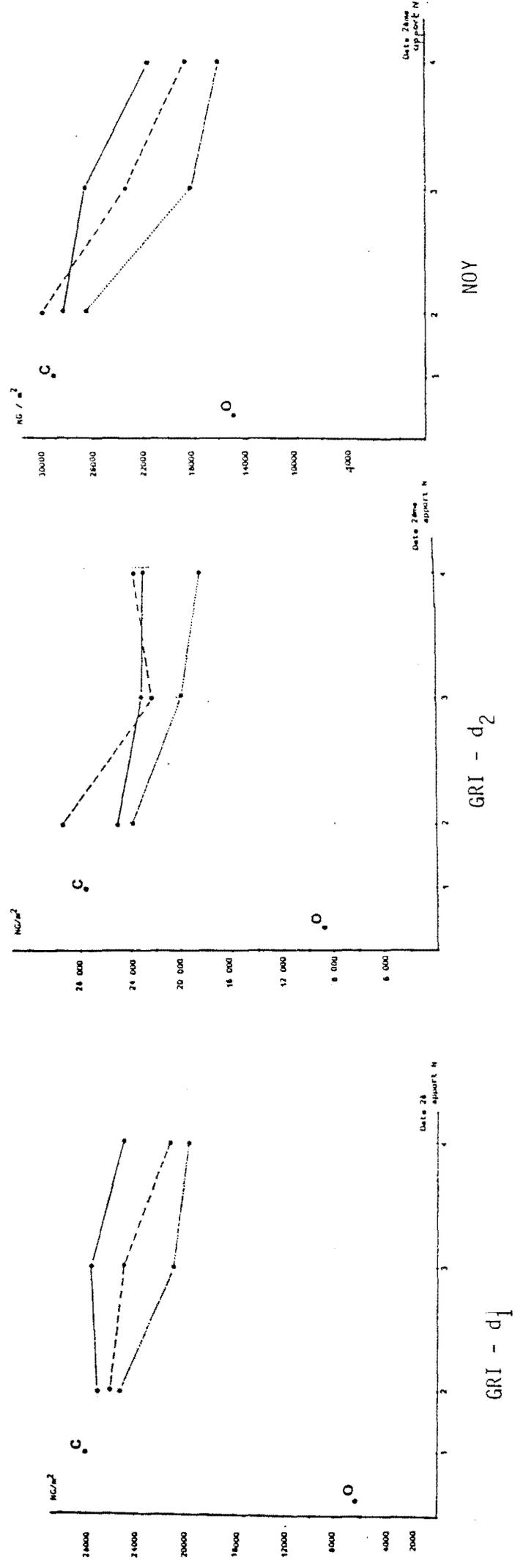


Fig. 40 - Réponse du nombre de grains/m² aux modalités de fertilisation azotée.

- quand elle a été effectuée au stade 1 cm (date 2), les nombres de grains obtenus pour les trois doses sont très proches, (écarts de 10 % non significatifs à l'exception de d2 où $A2 > O2$ au seuil 5 %. Cf. Analyse de variance, ANNEXE 8-1-2-3).
- pour un 2ème apport plus tardif, les écarts de nombres de grains deviennent non négligeables ; mais ils ne sont significatifs qu'entre les doses extrêmes Ø et B, et seulement pour GRI - d1 et NOY, pas pour GRI-d2. La dose A est intermédiaire. Par ailleurs ils sont du même ordre que l'apport ait été fait mi-montaison ou au gonflement !

2.1.2. - Influence de la date du 2ème apport d'azote

Pour les 2 essais, à même dose tallage, les nombres de grains les plus élevés sont obtenus pour un 2ème apport effectué à la date 1, ou au stade 1 cm (exception B3 = B2 en d1).

Un 2ème apport plus tardif, a un effet dépressif qui, comme on pouvait s'y attendre est d'autant plus marqué que la dose du 1er apport a été faible, mais paradoxalement, est à Grignon comparable entre les 2 densités. Sur cet essai, de plus, la plupart des différences ne sont pas significatives, hormis en d1 : $\phi 4 < \phi 2$ et en d2: $A4 < A2$, ce qui dans ce dernier cas est dû au niveau anormalement élevé de A2 comparé à O2 et B2 (Cf. FIG. 40).

A Noyon, les variations du nombre de grains sont plus importantes : elles sont significatives entre les peuplements ayant reçu le 2ème apport d'une part au stade 1 cm, d'autre part, à l'épiaison (date 4 < date 2) voire même au stade CII (pour la dose O du 1er apport). Sur cet essai, les nombres de grains sont comparables entre les traitements Ø 4 et Ø alors qu'à Grignon, ils sont considérablement supérieurs à Ø4. Il est remarquable cependant que comme à GRI, les nombres de grains sont quasi équivalents, que le 2ème apport ait été effectué au stade 1 cm ou seulement mi-montaison.

L'influence de la date du 2ème apport (et même plus largement, des modalités de fertilisation azotée) est donc d'amplitude très différente entre les 2 essais, beaucoup plus faible qu'attendu à Grignon, en particulier pour la densité forte. La relative stabilité des nombres de grains sur cet essai semble indiquer la possibilité d'une action très tardive sur cette composante par la fertilisation azotée, dont les conditions n'auraient pas été réalisées sur l'essai NOY. Le niveau, très bas, du traitement Ø permet d'exclure que l'azote du sol ait été suffisant pour satisfaire l'essentiel des essais jusque fin montaison.

2.1.3. - Incidence du fractionnement de la dose totale : comparaison des traitements C et A2

Pour les 2 essais et à Grignon les 2 densités, les nombres de grains obtenus avec 190 unités apportées en 1 seule fois en

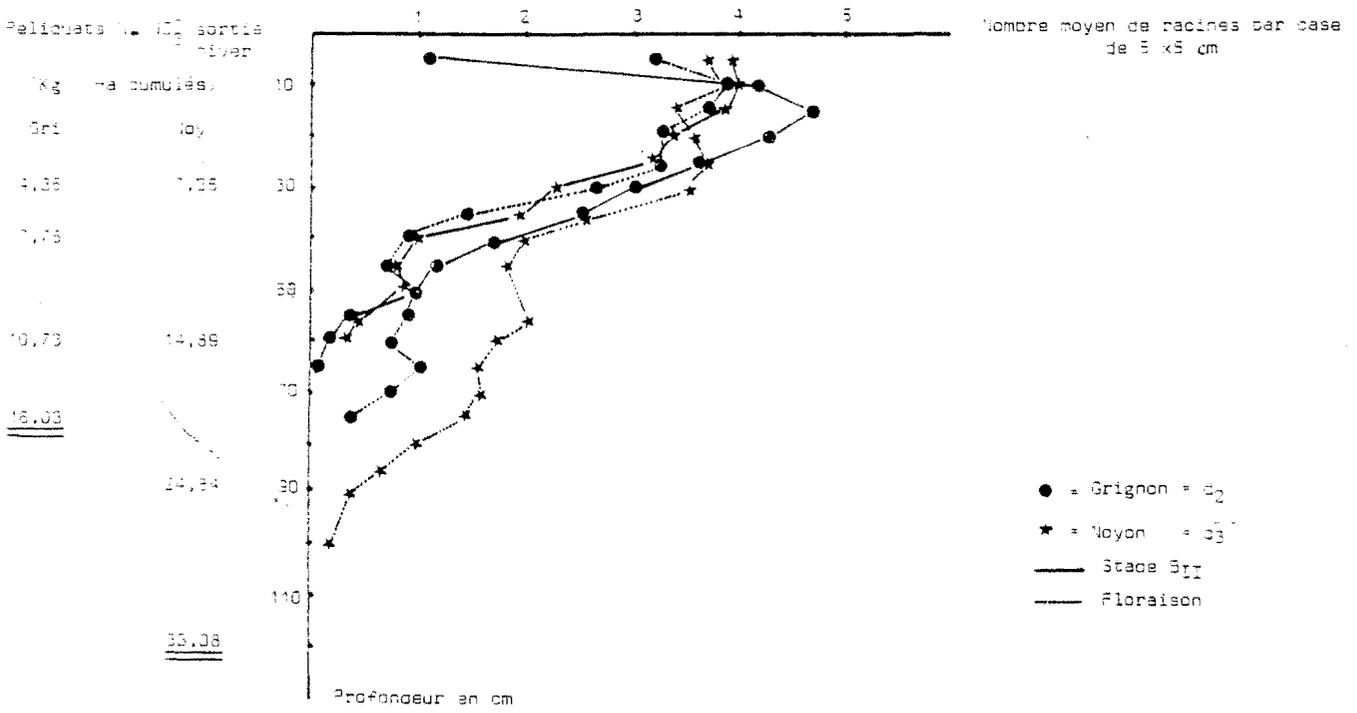


Fig. 41 - Comparaison des enracinements observés sur les deux essais (stage III) et à la floraison sur le témoin non fertilisé.

sortie d'hiver (C) ou fractionnées en 2 apports (A2), sont équivalentes (différence maximum < 10 %, non significative). Ce résultat n'est pas contradictoire avec la constatation fréquente d'une moindre efficacité de l'engrais apporté en excédent, avec une forte anticipation par rapport aux besoins (REMY. et VIAUX, 1980). En effet, dans nos conditions, la quantité totale d'azote présente dans le milieu en C (190 kg/ha) était assez largement excédentaire par rapport aux besoins, ce qui peut masquer une certaine perte de l'engrais apporté très tôt. Par ailleurs, on peut penser que les phénomènes de réorganisation et de lessivage ont été minimisés par rapport à des années à printemps plus froid et, pour l'essai du Noyonnais, par rapport à des sols sableux, substrat aussi fréquent dans cette région que le limon profond de notre essai.

2.1.4. - Niveau des nombres de grains en absence de fertilisation (Ø)

Les nombres de grains produits sur les parcelles non fertilisées sont faibles à Grignon, du même ordre en d1 et d2 (6.000 et 8.000 respectivement), spectaculairement élevés à Noyon (15.000). Cette différence entre les 2 essais crée la quasi-totalité de la différence des rendements ; elle est à rapprocher des quantités d'azote absorbées, respectivement : 42-52 et 98 kg/ha à maturité, Fig. 36 ; 32-38 et 90 kg/ha à la date 4 (ANNEXE 9-3) et des masses de matière végétative 200 contre 600 g/m² à la récolte.

Ces classements révèlent une forte différence des conditions de croissance entre les 2 sites, en particulier des quantités d'azote fournies par le sol - puisqu'en présence de fertilisation, les niveaux maxima des NG/m² sont comparables. Ils sont à rapprocher des observations présentées Fig. 41 : les profondeurs maximales atteintes par les racines, comparables entre les 2 essais au stade BII, étaient à la floraison de 90-95 cm à Noyon, 65-75 cm seulement à Grignon⁽¹⁾. Les quantités d'azote minéral laissées par le précédent sur cette profondeur, donc utilisables par le peuplement étaient de 25-30 kg N-NO₃, contre 10-15 kg (Fig.41).

2.2. - Constitution du nombre de grains/m²

2.2.1. - Relation entre nombre de grains et nombre d'épis

Les niveaux comparables des nombres de grains/m² obtenus pour des densités de plantes et des conditions de nutrition a priori très différentes (Cf. supra) suggère que la contribution à sa définition des 2 sous composantes NG/m² et NG/épi, est très variable entre traitements.

(1) sur cet essai, présence d'une dalle calcaire faisant obstacle total à la pénétration des racines.

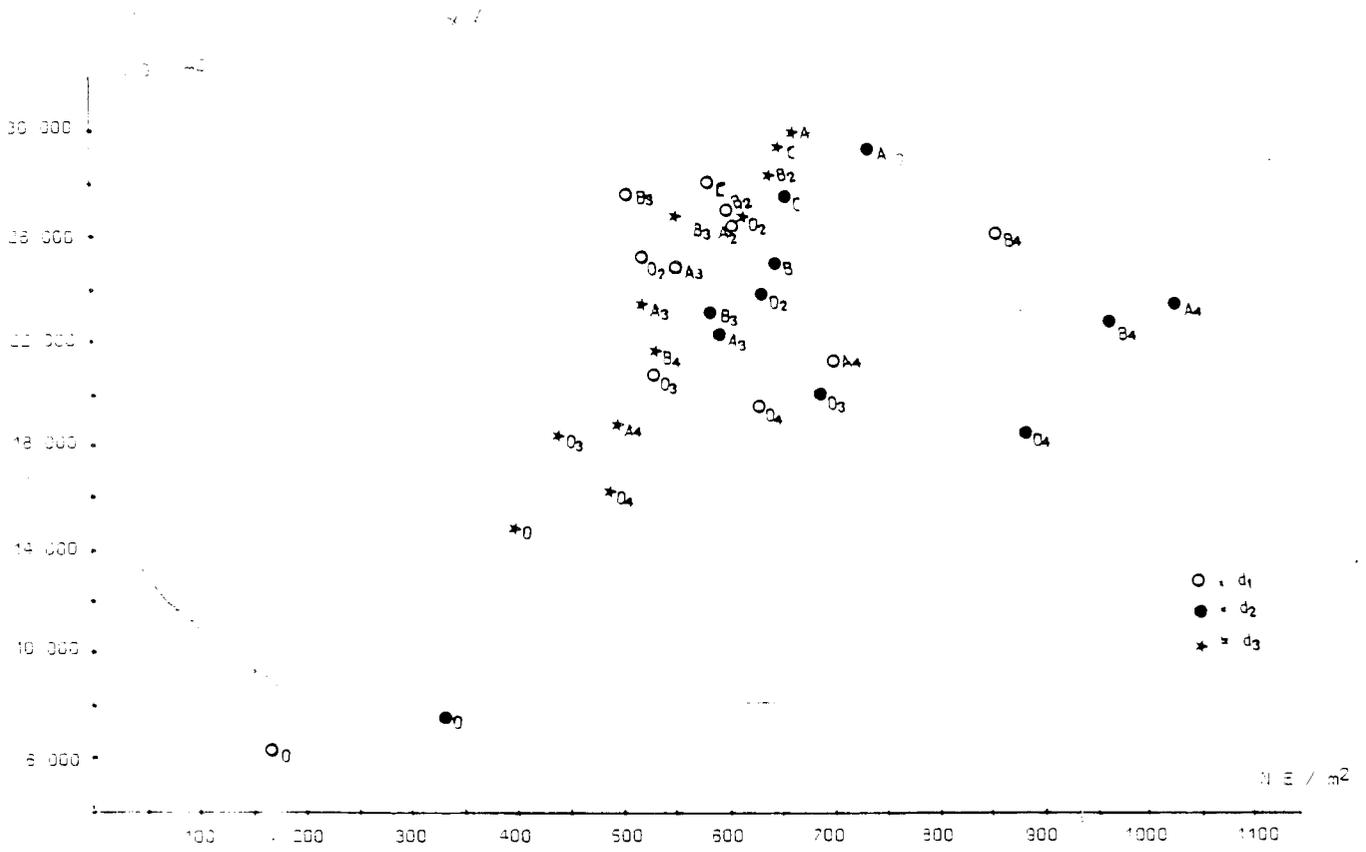


Fig. 42 - Relation entre nombre de grains/m² et nombre d'épis/m².

Ceci est confirmé par la Fig. 42 qui confronte NG/m² et NE/m² : les 2 composantes ne sont pas liées d'une manière stable.

L'analyse du nuage montre l'existence :

- a) - d'une zone enveloppe, dans laquelle se répartissent la majorité des points correspondants à des nombres de grains/épi de 45-50 et une augmentation du NG/m² grossièrement proportionnelle à celle des NE/m² ;
- b) - d'un groupe de points pour lesquels des nombres de grains/m² du même ordre sont obtenus avec des nombres d'épis/m² beaucoup plus élevés, exceptionnels en céréales (700 à 1050 !) et des nombres de grains/épi moyen beaucoup plus faibles (18 à 20).

Les traitements auxquels correspondent ces points sont remarquables : ils appartiennent tous à l'essai GRI ; ce sont tous les traitements qui ont reçu le 2ème apport d'engrais très tardivement (stade fin gonflement) auxquels s'ajoutent les 2 traitements de Grignon qui n'ont reçu aucune fertilisation avant la mi-montaison (Ø3). Ces points sont largement responsables de l'étiement latéral du nuage. Malgré le niveau très élevé des NE/m² et au contraire faible des NG/épi, qui les caractérise, leur position ne peut être interprétée en termes classiques, de compensation entre 2 composantes du rendement successives. En effet, une observation visuelle des différentes parcelles début juillet montrait l'existence de différences qualitatives importantes au sein de la population épi, qui interdit une interprétation immédiate de la figure précédente, établie sur la population totale.

2.2.2. - Variabilité intra-traitement des caractéristiques des talles fertiles

Début juillet, à la période normale de maturité des grains, 2 groupes de parcelles se distinguaient :

- les unes uniformément jaunes, composées de talles fertiles de hauteur relativement peu variable autour d'une valeur médiane de 80 à 110 cm selon les traitements,
- les autres, constituées de 2 strates de talles fertiles, se différenciant très nettement par leur couleur (totalement vertes/jaunes sauf aux deux noeuds supérieurs), le degré de maturité du grain (laiteux / vitreux), leur hauteur (30-60 cm/80-110 cm).

Le 1er groupe correspond aux peuplements non fertilisés ou ayant reçu le 2ème apport d'azote précocement aux dates 1 et 2 (C - Ø2 - A2 - B2) ; le 2ème est constitué des peuplements ayant reçu le 2ème apport aux dates 3 et 4.

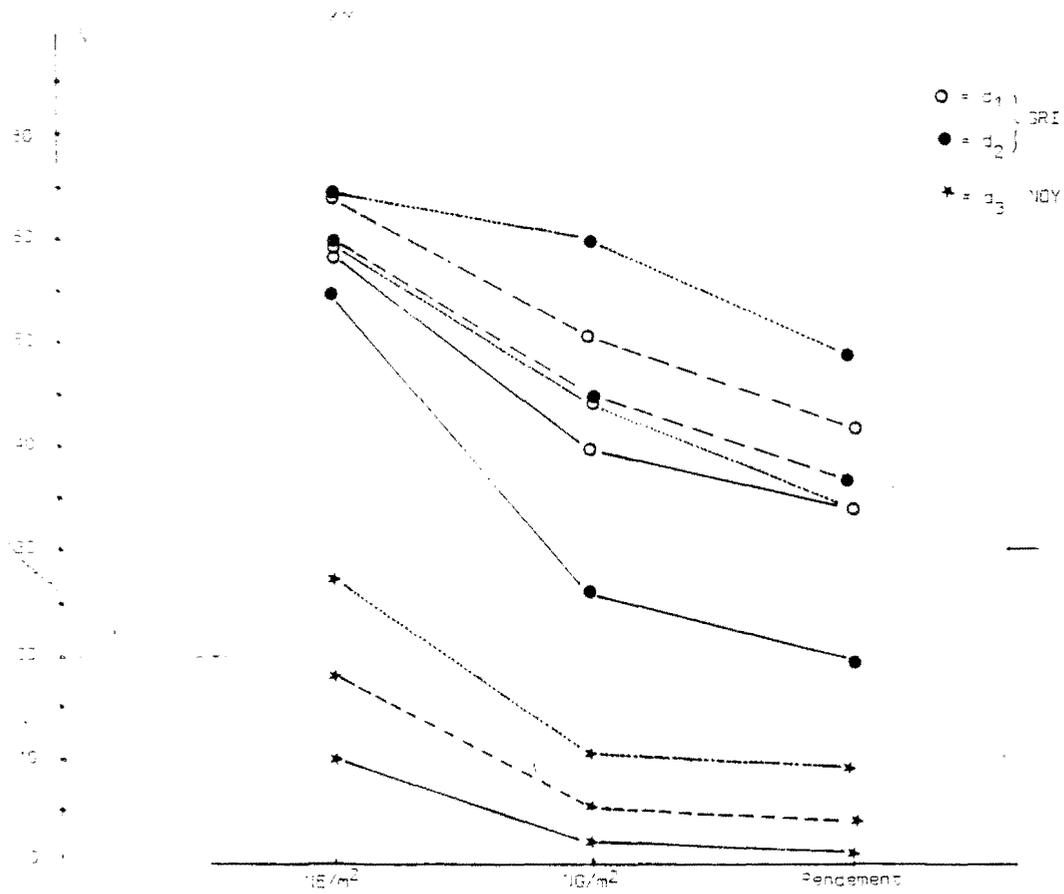


Fig. 43- Contribution des "verillons" (Cf. texte) au rendement et à ses composantes (NE, NG, Rendement, exprimés en % des NE, NG, Rendement totaux)

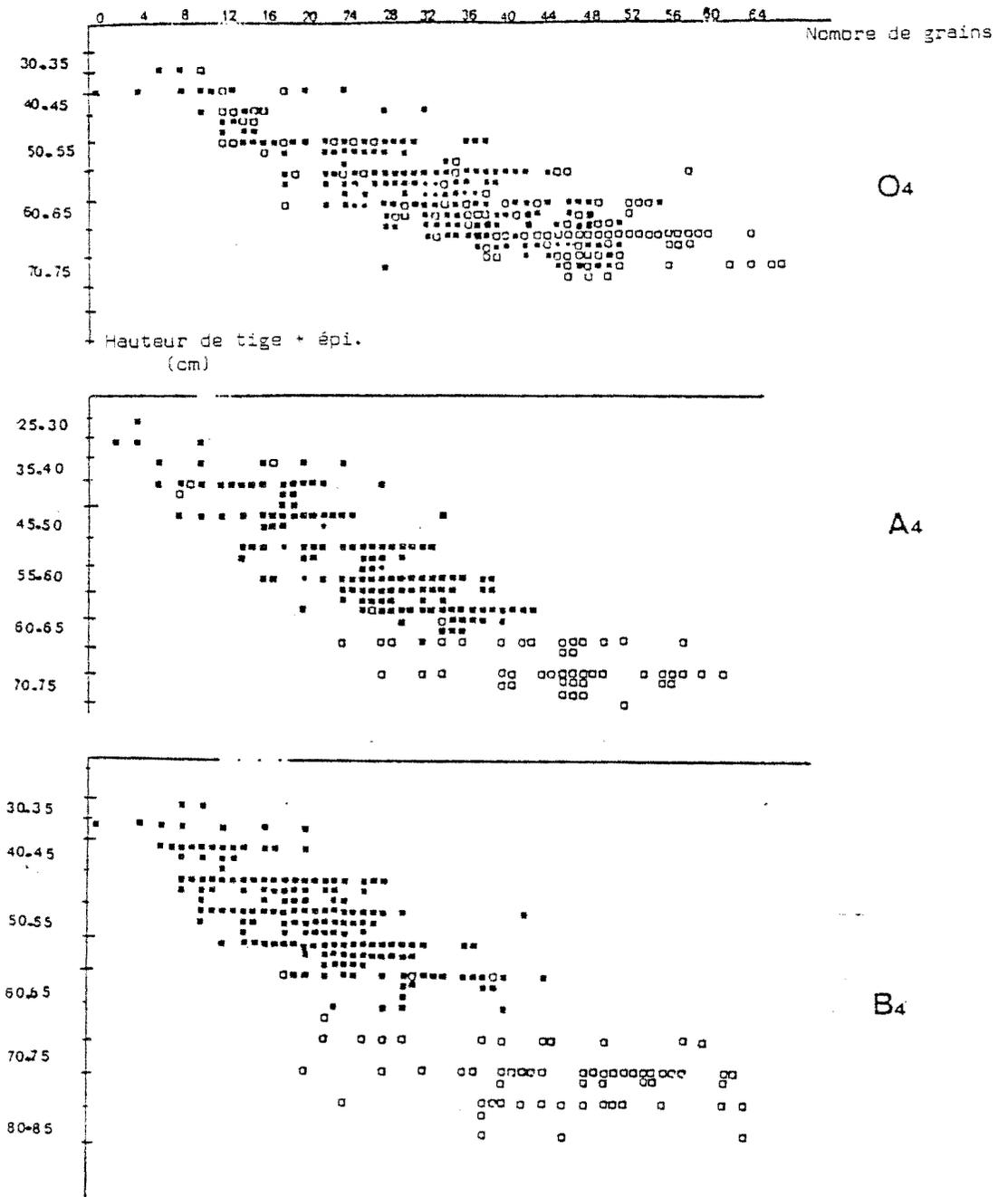


Fig. 44 - Gamme des nombres de grains et longueur de tige des 2 catégories de tiges fertiles identifiées début Juillet.

□ épis jaunes
 ■ verdillons
 ci dessus : GRI-d_j ; ci contre NOY

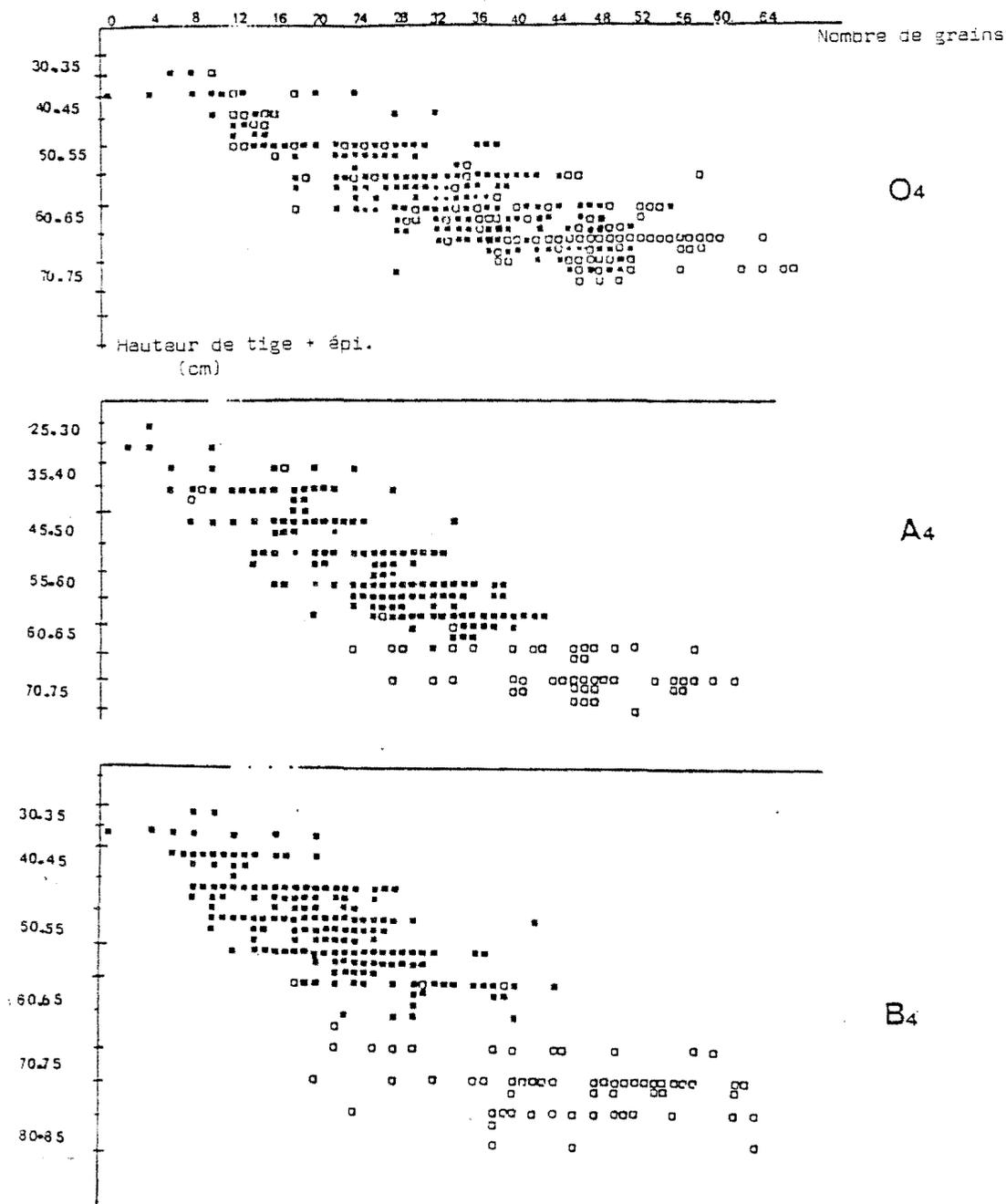


Fig. 44 - Gamme des nombres de grains et longueur de tige des 2 catégories de tiges fertiles identifiées début Juillet.

- épis jaunes
- verdillons

ci dessus : GRI-d₁ ; ci contre NOY

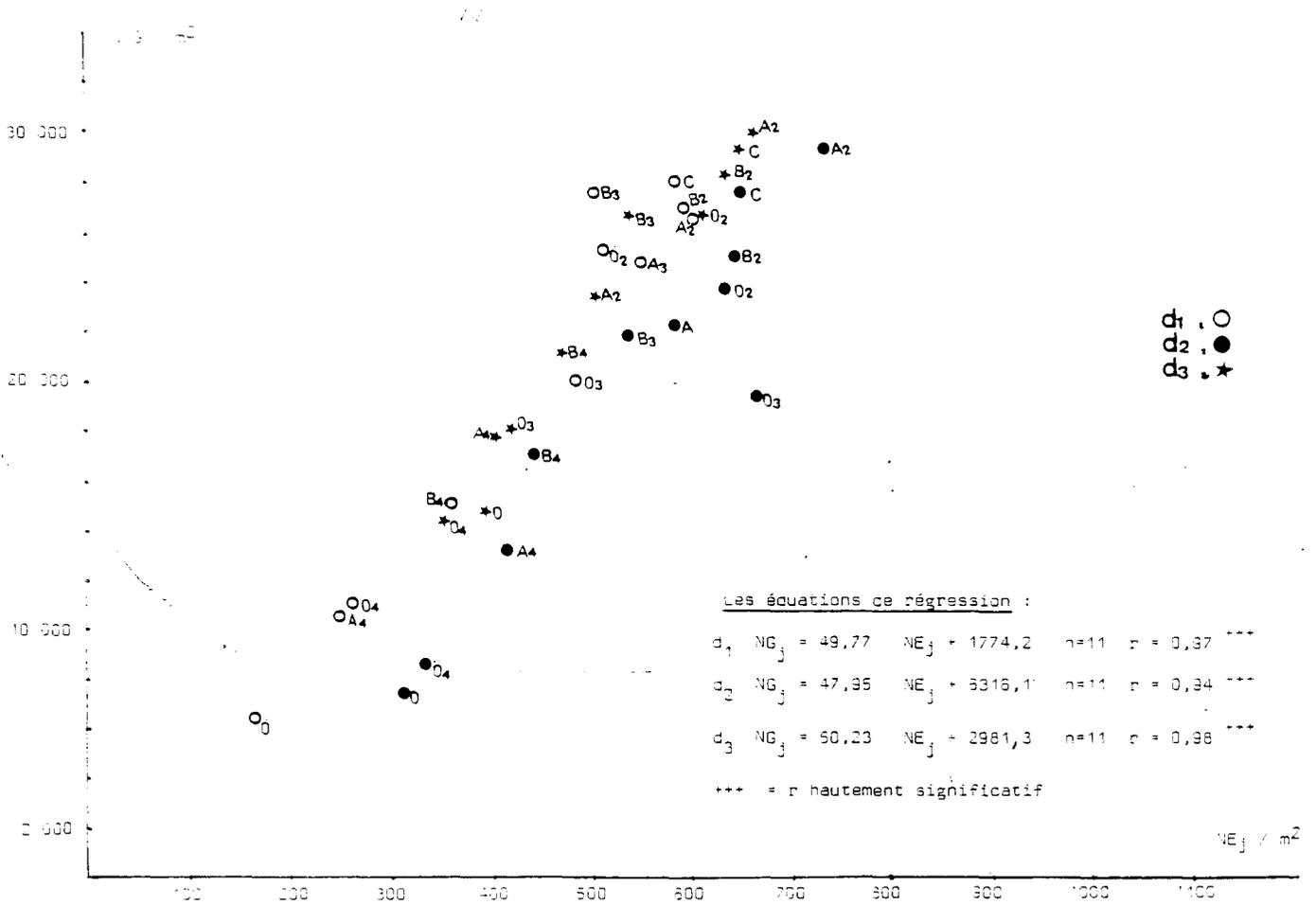


Fig. 45 - Relation entre nombre de grains et nombre de tiges fertiles notées-mures début Juillet (cf. texte)

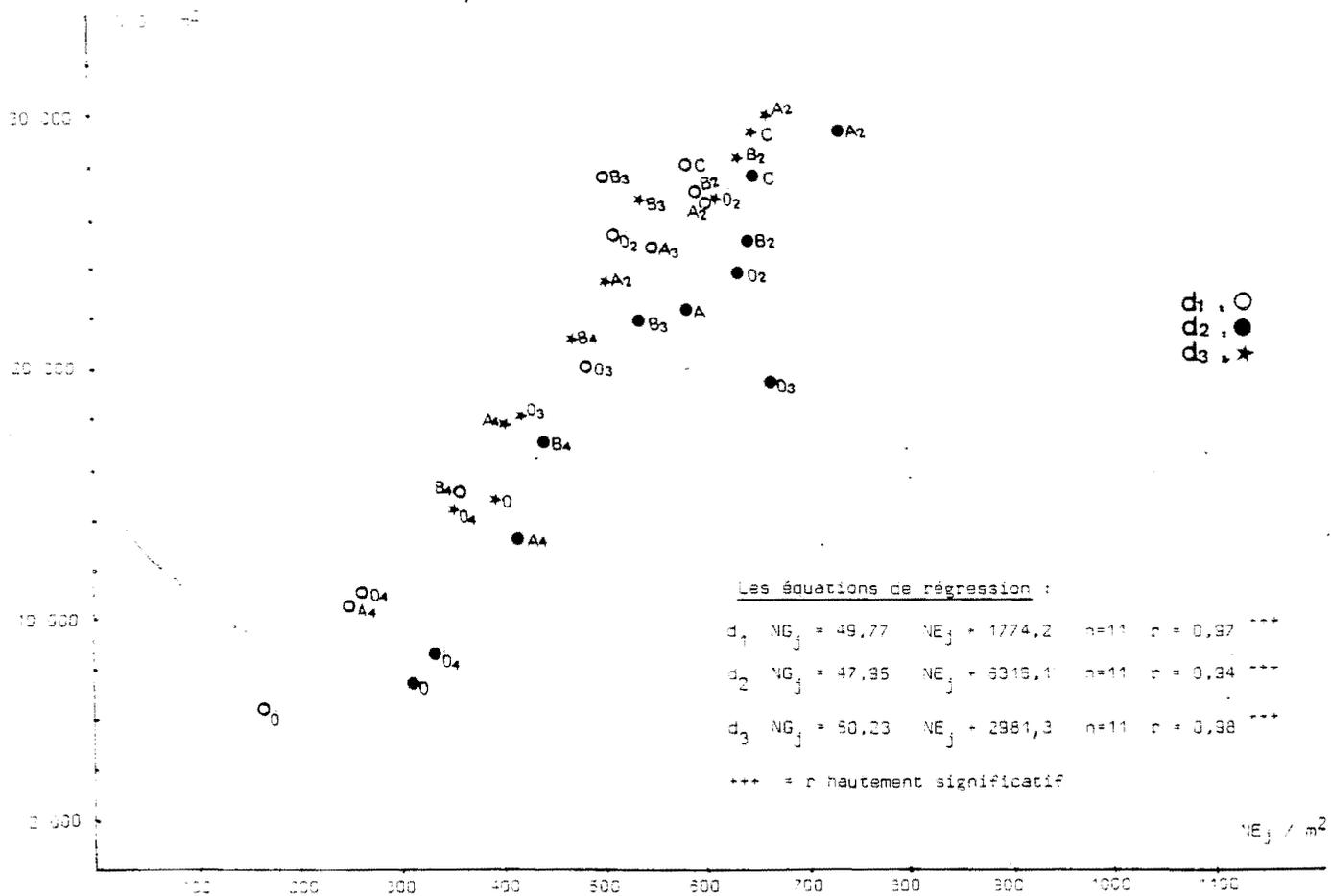


Fig. 45 - Relation entre nombre de grains et nombre de tiges fertiles notées mures début Juillet (cf. texte)

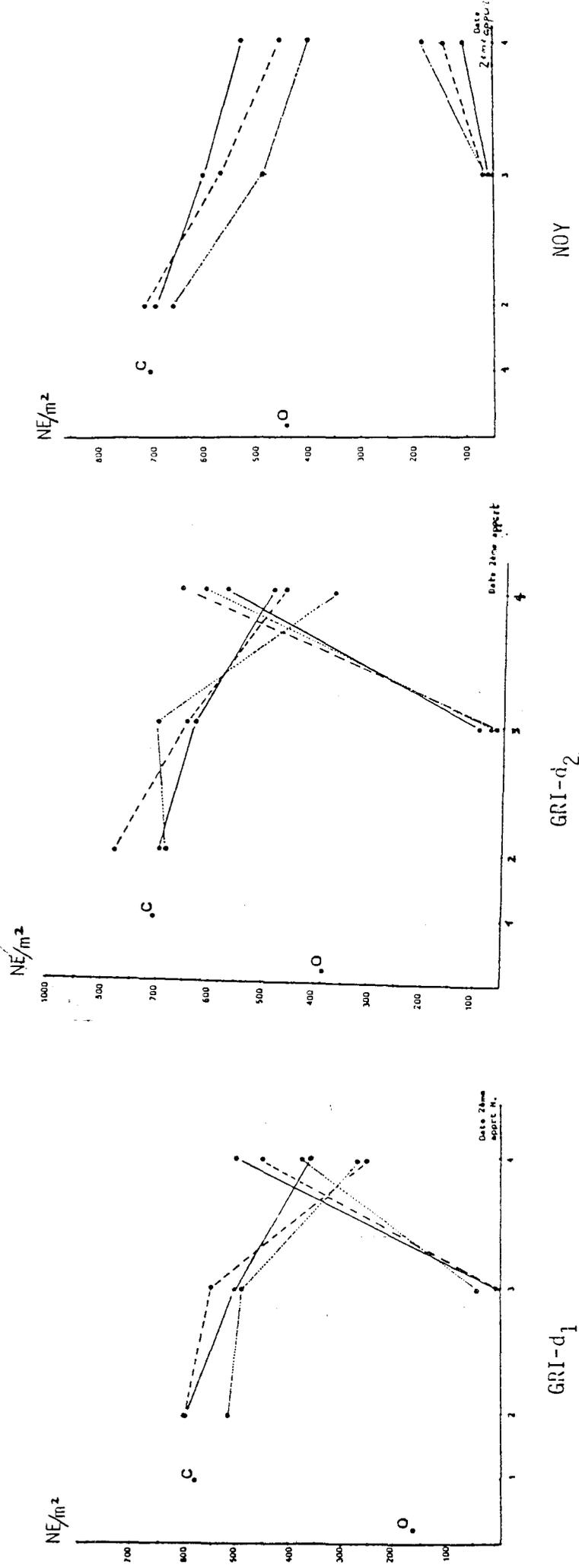


Fig. 46 - Réponse du nombre d'épis / m² aux modalités de fertilisation azotée, en distinguant les 2 catégories d'épis visibles à maturité "épés jaunes" et "verdillons". (cf. texte)

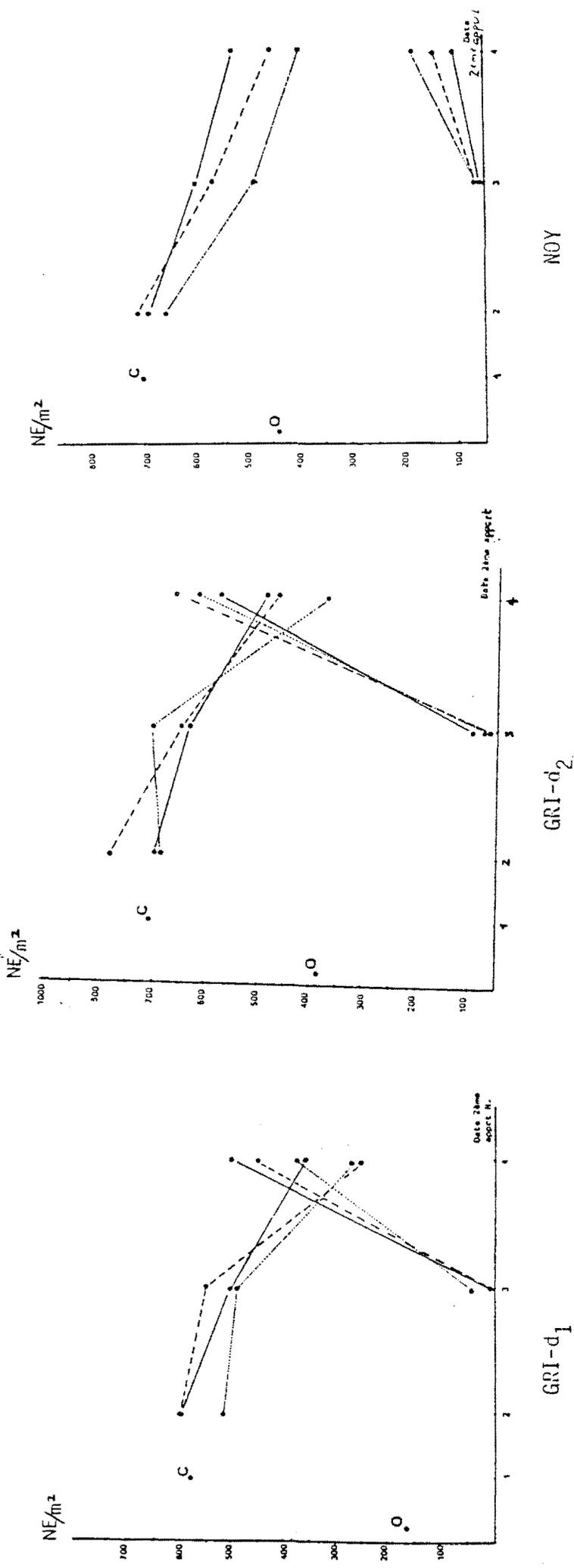


Fig. 46 - Réponse du nombre d'épis / m² aux modalités de fertilisation azotée, en distinguant les 2 catégories d'épis visibles à maturité "épis jaunes" et "verdillons". (cf. texte)

Ø - Ø4 - A4 - B4, et sur le palier les traitements à 2ème apport d'azote plus précoce. Pour cette densité, des conditions de nutrition plus favorables pendant la 2ème moitié de la montaison ont donc permis une augmentation des 2 composantes.

Pour GRI d1 et NOY, on a une tendance à un nuage de même forme mais pour une même gamme de nombre d'épis/m² qu'en d2, les nombres de grains sont remarquablement élevés, même pour une réalimentation du milieu en azote très tardive.

Conclusion partielle

- L'analyse précédente fait ressortir que les quantités d'azote présentes dans le milieu et leur chronologie d'apport jusqu'au stade 1 cm à Noyon, CII à Grignon, ont été sans influence sensible sur le nombre d'épis de la 1ère population. Pour les nombres de grains/épi, cette conclusion est vraie pour les 2 essais jusqu'au stade CII. On est donc conduit à formuler 2 hypothèses entre lesquelles on ne peut pour l'instant trancher :
 - ou bien l'alimentation azotée n'a pas été limitante avant ces stades, les quantités d'azote fournies par le sol étant alors suffisantes. Compte-tenu des reliquats d'azote minéral laissés par le précédent, ceci semble peu vraisemblable (au moins pour les doses tallage 0 et 30 unités (Cf. résultats de 1982) ;
 - ou bien l'alimentation azotée a été limitante sans que ceci ait des répercussions sur les états finaux.
- Quand le 2ème apport a été différé jusqu'au gonflement, l'azote a été limitant pendant une partie de la montaison (Cf. date 4 < date 3) à partir d'une date qu'on ne peut situer plus précisément ici (Cf. remarque ci-dessus). Ses effets sont largement indépendants des quantités d'engrais précédemment apportés bien qu'en tendance B4 soit supérieur à A4 et Ø4.
- Cette limitation, même relativement forte, n'a pas systématiquement affecté le nombre de grains/épi (Cf. par exemple en GRI d1 : A2 et B2 égaux à A4 et B4 alors qu'ils étaient supérieurs pour les nombres d'épis. Au stade gonflement des brins-maîtres, les nombres de grains des épis ne seraient donc pas encore définitivement fixés. Ils pourraient être significativement modifiés par les conditions de nutrition de la partie tout à fait terminale de la montaison. Ceci n'est pas le cas du nombre d'épis "j" sur lequel la réalimentation du milieu à la date 4 n'a pas d'influence sensible. Une telle interprétation serait cohérente avec certains éléments bibliographiques, mais pas avec l'égalité Ø4 - Ø que nous constatons sur les 3 essais.

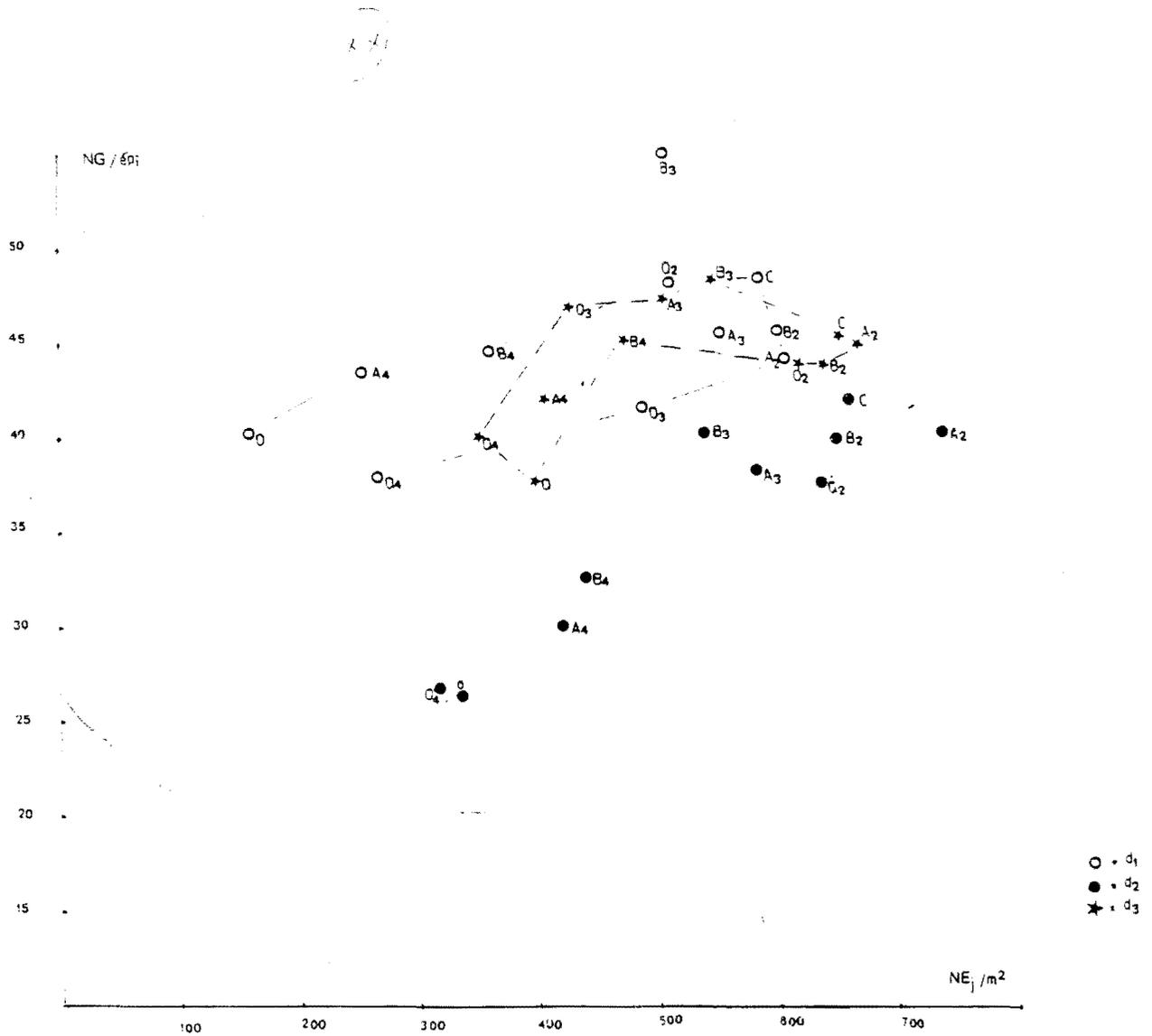


Fig.47 - Variation des nombres de tiges de la 1^{re} population ("j") et de leur nombre moyen de grains pour les différents traitements.

Une autre possibilité serait que le nombre de grains/épi se soit déterminé avant que les conditions de nutrition azotée ne se soient différenciées entre les traitements, dans la 1ère moitié de la montaison. Il faudrait alors admettre que les 4 rangs latéraux de l'épi - qui d'après les quelques éléments de description fournis par BONNETT (1936) semblent encore peu différenciés quand les épis-lets les plus avancés sont au stade CII - participent peu à la production du grains ?

- . Les variations des niveaux maximum du nombre de grains/épi et nombre d'épis/m² entre les 3 densités x sites sont faibles. Il est notable que ces nombres sont obtenus avec des combinaisons densité x fertilisation azotée x pédoclimat très différentes.

2.2.4. - Effets des traitements sur les caractéristiques de la population de verdillons

2.2.4.1. - Effectifs

Les nombres de verdillons (Fig. 46), leur importance relative par rapport à la population précédente (Fig. 43) sont très différentes selon le traitement. Leurs variations sont en relation très nette avec la date du 2ème apport d'engrais : la population des verdillons est inexistante ou quasi quand le 2ème apport a été fait au stade 1 cm ; elle est marginale quand il a été effectué mi-montaison (< 8 % du NE/m² totale) ; elle devient conséquente (NOY) voire même considérable (GRI) quand il a eu lieu au stade gonflement-épiaison.

L'effet essai observé pour ces traitements (Ø4 - A4 - B4) sera analysé ultérieurement. Mais d'ores et déjà, soulignons qu'il n'apparaît pas directement lié à la différence des nombres de plantes/m² ou des nombres d'épis de l'autre population.

sur La dose du 1er apport n'a un effet significatif que l'essai NOY : Ø > A > B aussi bien sur les nombres de verdillons que sur leurs proportions par rapport au nombre total d'épis

2.2.4.2. - Nombre de grains/épi

(valeurs données en ANNEXE 8-5)

Il est très faible, avec là encore un fort effet essai : gamme de 8 à 15 grains/épi pour NOY contre 20-25 pour GRI d1 et 15-25 pour GRI d2. A Grignon, les nombres de grains obtenus

pour les différentes modalités de fertilisation se classent dans l'ordre $D > A > B$, pour les 2 densités. A Noyon, ils ne sont pas différentes.

Ainsi, plus les conditions de nutrition azotée avant le 2ème apport ont, a priori, été limitantes, plus les verdillons sont productifs, et plus ils sont nombreux. Ceci suggère que les déterminismes de la montée de ces talles et de la différenciation de leur apex sont en partie communes. La cause primaire en est, au moins, en partie, nutritionnelle, puisque les nombres de verdillons sont très différents entre les traitements dont la seule source de différenciation a été la fertilisation azotée. Les quantités d'azote ne sont pas forcément seules en cause ; les différences entre les 2 lieux et les 2 densités montrent que les quantités d'azote présentes dans le milieu ont agi en interaction avec d'autres paramètres du milieu.

Mais on ne peut exclure l'intervention également de caractéristiques internes à la plante, indépendantes de la nutrition, qui se produirait à une étape particulière de l'organogénèse. On n'a, en effet, décelé l'existence manifeste de 2 populations d'épis que très tardivement, à une même époque pour tous les traitements.

L'importance des décalages d'état de sénescence du feuillage et des dates de maturité des grains entre les 2 populations d'épis, indique un décalage très important de leur cycle de développement. La montée et la différenciation des "verdillons" aurait donc eu lieu tardivement dans la phase de montaison. On montre donc là l'existence d'un comportement supputé sur certains essais de 1982 (TIE, STB). Ses causes seront à rechercher dans les variations des interactions entre la plante et le milieu en fin de montaison. Mais la mise en évidence de ces décalages de cycle ne permet pas d'étayer l'une ou l'autre des hypothèses précédemment émises quant à la nature des talles constituant ces verdillons.

3 - CONCLUSION

Cette analyse de la constitution du nombre de grains/m² confirme un certain nombre des comportements observés sur le réseau d'essais 1982. En particulier, l'importance des nombres d'épis/m² dans les variations du nombre de grains/m² ; et, fait plus remarquable, la très large souplesse de l'orge, semble-t-il, à des variations de nutrition azotée. Des traitements a priori très différents ont en effet conduit à des nombres de grains/m² totaux comparables, très élevés, pour les 3 densités X lieux. Ceci semble partiellement imputable à la possibilité de montées de talles jusque très tardivement

ESSAI	DENSITE TRAITEMENT	POIDS D'1 GRAIN 1ère verdillons population		N. grain (% MS) 1ère verdillons population		DATE DE MATURITE (1) 1ère verdillons population		
GRI	d1	Ø 4	21,8	33,4	1,52	1,78	11/07	29/06
		A4	23,5	32,1	1,52	1,90		
		B4	24,9	28,1	1,78	1,84		
	d2	Ø 4	24,4	33,0	1,49	2,01		
		A4	26,6	30,3	1,85	1,99		
		B4	22,5	29,7	1,84	1,96		
NOY	d3	Ø 4	26,9	33,2	1,37	1,96	13/07	1/07
		A4	26,3	32,3	1,99	1,78		
		B4	29,8	31,9	1,79	1,76		

(1) Stade pâteux à dur.

Fig. 48 - Caractéristiques des grains produits par les verdillons (poids ; teneur en azote) comparées à celles des grains de la 1ère population (Cf. texte).

a) -

ESSAI NOYON date 2	STADE S	de SII	L'APEX C	NOMBRE TOTAL D'ÉBAUCHES D'ÉPILLETES
Ø	33 %	50	17	71
C	5 %	66	27	79

b) - Nombre d'épillets des rangs centraux

DATE →	5/01	12/01	1/02	24/02	8/03
JOUR DEPUIS LE SEMS →	78e	85	105	128	150
GRIGNON					
d1	5,5	10,0	14,0	15,0	25,0
d2	5,0	8,0	16,0	16,0	24,0

toutes différences $d_1 - d_2$: NS au seuil 5%)

Fig. 49 - Influence des traitements sur le stade de l'apex du brin-maitre.

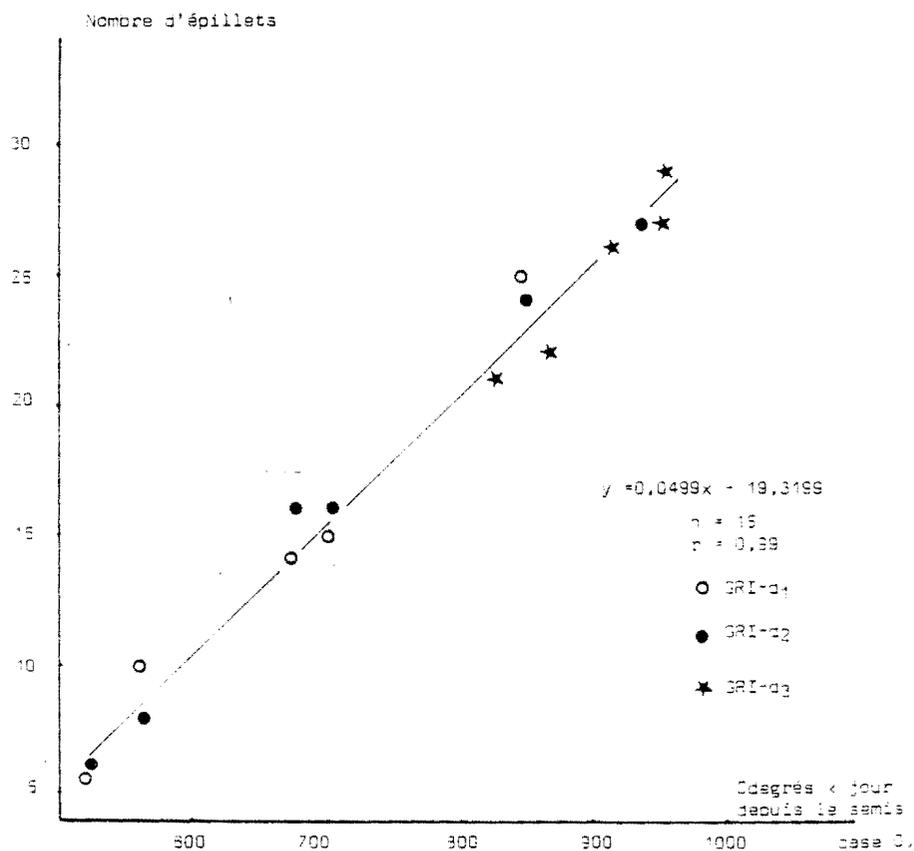


Fig. 49c - Relation entre le nombre d'épillets sur les rangs centraux (brin maitre) et accumulation des températures.

a) -

ESSAI NOYON date 2	STADE S	de BII	L'APEX C	NOMBRE TOTAL D'ÉBAUCHES D'ÉPILLETS.
Ø	33 %	50	17	71
C	5 %	68	27	79

b) - Nombre d'épillets des rangs centraux

DATE →	5/01	12/01	1/02	24/02	8/03
JOUR DEPUIS LE SEMIS →	78h	35	105	128	150
GRIGNON					
d1	5,6	10,0	14,0	15,0	25,0
d2	6,0	8,0	16,0	16,0	24,0

toutes différences $d_1 - d_2$: NS au seuil 5%

Fig. 49 - Influence des traitements sur le stade de l'apex du brin-maitre.

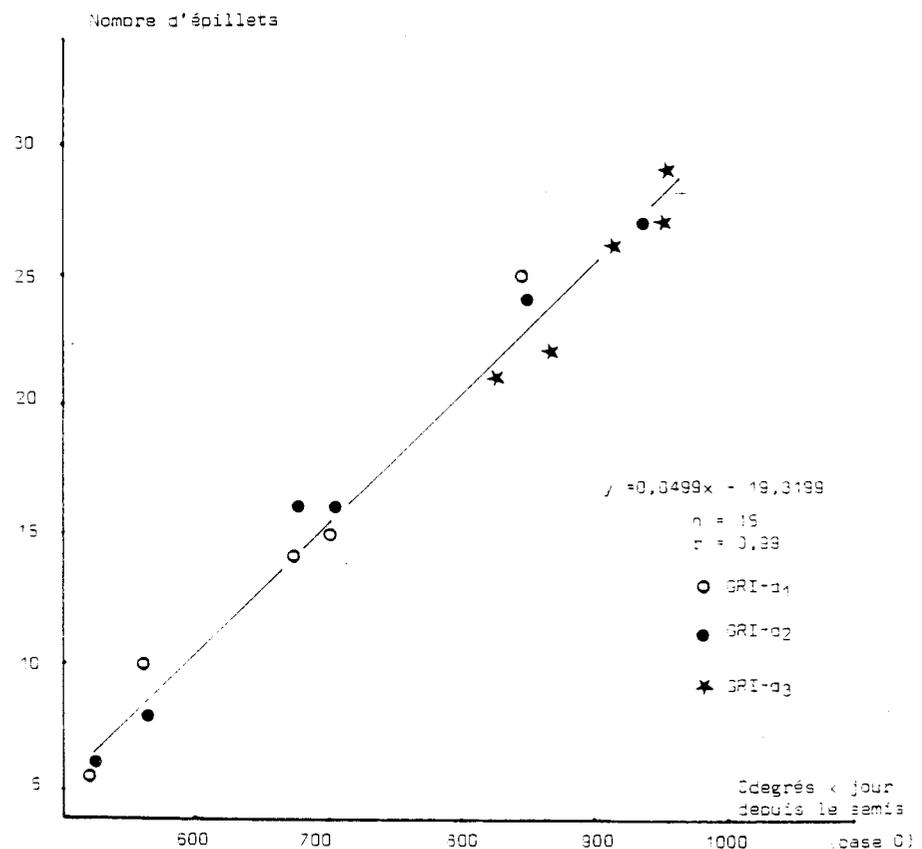


Fig. 49c - Relation entre le nombre d'épillets sur les rangs centraux (brin maitre) et accumulation des températures.

L'ensemble de ces questions renvoient à une analyse des dynamiques de croissance et de développement des peuplements soumis aux différents traitements, leur structure finale étant très intégratrice. Cette analyse doit être faite à l'échelle de la surface, mais aussi de l'individu (plante et talle). Il est indispensable de s'intéresser parallèlement aux processus de croissance et de développement de manière à pouvoir dissocier les effets des traitements sur, d'une part les quantités de facteurs disponibles pour l'expression des organes initiés, d'autre part sur le nombre potentiel d'organes aux différentes phases et leurs propriétés : c'est-à-dire le rythme de la "demande" en facteurs nutritifs et le potentiel de croissance.

L'interprétation des variations des modalités d'élaboration du nombre de grains qui ont été décrites impose de caractériser les conditions de la croissance et du développement qui ont été créées effectivement par les traitements expérimentaux en termes de : facteurs limitants mis en jeu, dates de leur intervention. L'interprétation consistèra à mettre en relation les variations des dynamiques de croissance-développement avec les variations des conditions de milieu.

B/ - DYNAMIQUE DE CROISSANCE ET DE DEVELOPPEMENT

1 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU CYCLE DE DEVELOPPEMENT

Deux critères sont considérés :

- le stade physiologique de l'apex décrit par le stade de l'épillet le plus avancé des rangs centraux d'après BONNETT (1936) et selon l'échelle de JONARD et al. (1952) et par le nombre d'épillets visibles sur les rangs centraux et latéraux,
- le stade foliaire correspondant au nombre de feuilles visibles, noté en notation décimale pour intégrer l'état d'élongation de la dernière feuille (HAUN, 1973).

Les observations utilisées ici pour caractériser le cycle sont conventionnellement, celles effectuées sur les brins-maîtres, population de référence seule aisément comparable entre les traitements et sites.

1.1. - Dates de réalisation des stades de l'apex

Ni la densité de plantes par m² ni la richesse du milieu en azote n'ont eu d'influence sensible sur les dates de réalisation des stades successifs de l'apex.

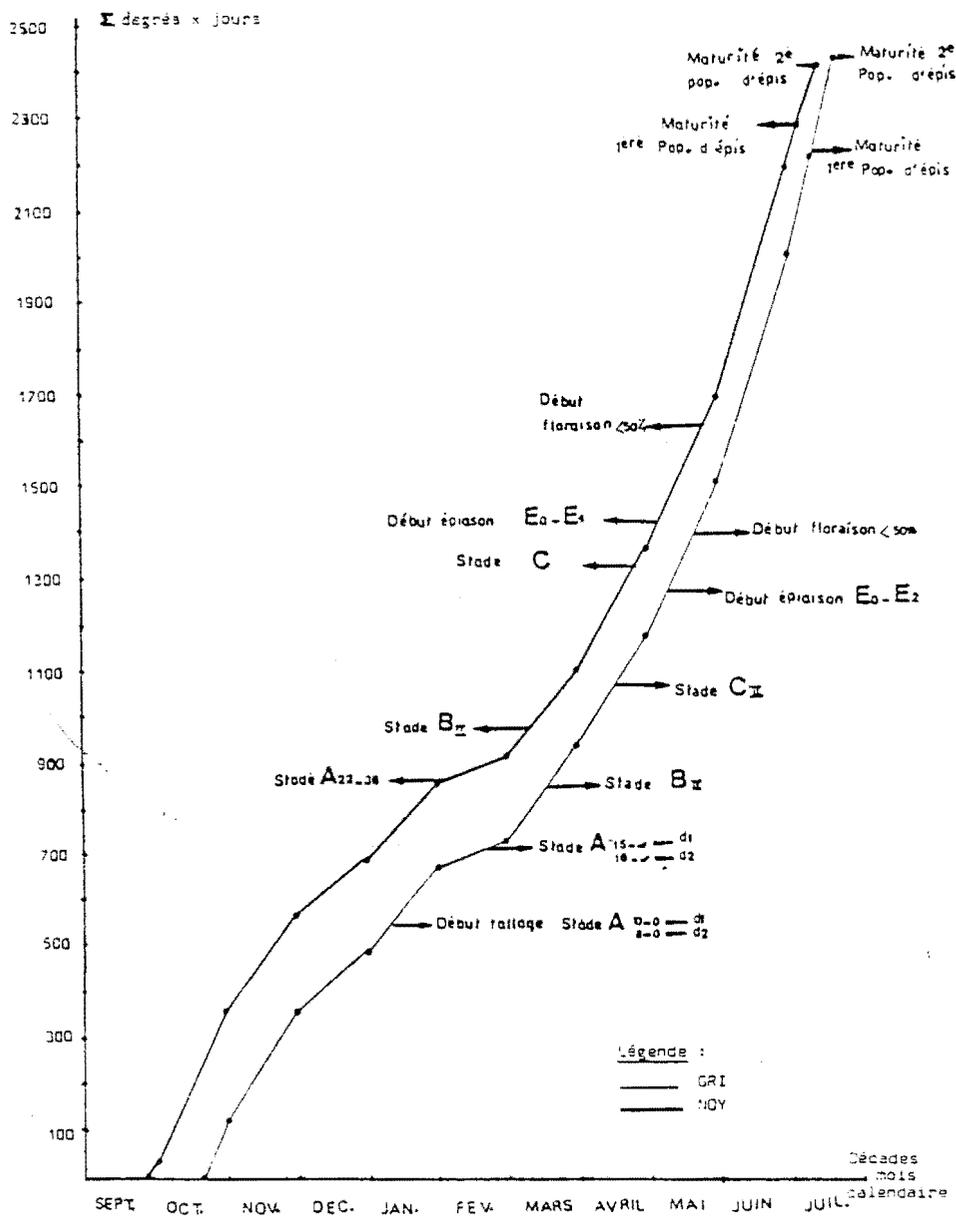


Fig. 50 - Evolution des stades de développement pour les 2 sites en fonction du temps calendaire et de l'accumulation des températures.

donc sur les durées des phases. A titre indicatif, les Fig. 49 a et b donnent respectivement les stades notés sur les traitements extrêmes Ø et C de l'essai NOY à la date 2, et les nombres d'épillets dénombrés sur les rangs centraux de l'épi des densités d1 et d2 de Grignon, à plusieurs dates. Aucune des différences d1-d2, Ø - C ne sont significatives.

L'effet lieu est par contre net : le cycle a été plus long à Noyon qu'à Grignon, au total et pour chacune de ses phases, que le temps soit exprimé en jours ou en degrés jours (Fig. 50). Dans le temps calendaire, les stades s'y sont réalisés plus tôt, sauf la floraison qui paradoxalement a été notée plus tard à Noyon. Ces différences sont conformes aux effets classiquement constatés de la date de semis (semis plus précoce de 3 semaines à Noyon) qui s'atténuent quand on avance dans le cycle du fait du rôle de la photopériode et, dans le cas de nos 2 essais, d'un printemps un peu plus froid à Noyon qu'à Grignon (Fig. 50). L'évolution des stades est sous la dépendance de la température et de la photopériode qui interviennent en interaction.

Le rythme d'initiation des épillets est par contre très comparable entre les 2 sites, directement indexé à l'accumulation des températures (Fig. 49c)

1.2. - Apparition des feuilles

A Grignon, le classement d2 < d1 est systématique (Fig. 51). Par contre le classement : Ø < traitements fertilisés, constaté aux dates 1a et 2, ne se retrouve pas à la date suivante. A Noyon, il existe des différences de nombres de feuilles entre traitements azotés mais elles sont sans liaison apparente avec le gradient des quantités d'azote apportées (Fig. 51)

Dans tous les cas, l'ordre de grandeur des différences est faible, même quand elles sont statistiquement significatives. Ainsi, en valeur relative l'écart Ø - traitements fertilisés ne dépasse pas 6 %, l'écart d1 - d2, 9 %.

Dans les 2 lieux, le rythme d'apparition des feuilles est étroitement lié à l'évolution de la température, selon des relations de la forme $NBF = A\Sigma\theta - b^{(*)}$. Si, compte-tenu du commentaire précédent, on assimile tous les traitements d'une même densité, les coefficients de corrélation sont de 0,980 - 0,978 - 0,999 pour respectivement : d1 - d2 - NOY et les valeurs du phyllochrone (1/a) de : 93 - 104 - 104 degrés x jours en base 0. (résultat des régressions calculées sur la gamme 2,0 à 8,0 feuilles).

(*) $\Sigma\theta$: somme de températures (base 0)

DATE d'OBSERVATION (Code) et MOIS	ESSAI GRI				ESSAI NOY			
	degré x jours	MODALITES FERTILISATION N	NBF (1)		DATE d'OBSERVATION (Code) et MOIS	degré x jours	MODALITES FERTILISATION N	NBF : d3
			d1	d2				
① 12/01/83	559	∅	4,8	4,5	① 3/02/83	864	∅	7,4
①a 24 25/02	703	∅	6,40 a	5,90 a				
		A	6,60 b	6,20 b				
		B	6,50 ab	6,20 b				
		C	6,50 ab	6,10 ab				
② 18/03	847	∅	7,60 a	7,00 a	② 9-10/03	954	∅	8,20 ab
		A	8,40 c	7,60 b			A	8,20 bc
		B	8,10 b	7,30 a			B	8,40 c
		C	8,20 b	7,60 b			C	8,00 a
③ 19/04	1058	∅	9,9 b	9,20 c	③ 26/04	1306	∅	10,2 b
		∅ 2	9,5 a	8,20 a			∅2	10,2 b
		A	10,5 d	9,50 d			A	10,2 b
		A2	10,1 c	9,70 ef			A2	9,7 ab
		B	10,9 e	9,80 f			B	9,8 ab
		B2	10,0 bc	8,50 b			B2	9,6 a
C	10,6 de	9,60 dg	C	9,4 a				

(1) : Toutes les différences d1 - d2 sont hautement significatives à même modalité de fertilisation N à GRI ; à même date d'observation, les moyennes portant la même lettre ne sont pas différentes au seuil de probabilité 5 % entre modalités de fertilisation azotée.

Fig. 51 - Influence des traitements sur le stade foliaire (NBF) du brin-mâitre.

1.3. - Conclusion partielle

Les dates de réalisation des stades, le rythme d'apparition des organes apparaissent ainsi largement insensibles aux conditions de nutrition qui étaient très différentes entre traitements ; ils ont été déterminés par le régime climatique. Cette conclusion est en accord avec les observations de plusieurs autres auteurs chez l'orge (KIRBY et al, 1982), ou le blé (MASLE 1981, BAVIER et al 1983, MALVOISIN 1984)

Elle nous autorise pour la suite de l'analyse à retenir un seul calendrier de développement par lieu, sur lequel pourront être comparés l'ensemble des traitements. A même date de prélèvement, les différences de poids secs intra-site ne pourront être imputées à des différences de stades de développement.

La principale différence entre les calendriers de développement relatifs à Grignon d'une part, Noyon d'autre part, concerne la longueur de la phase de mise en place de l'appareil végétatif (semis - floraison) et de ses 2 sous-phases : les durées des phases d'initiation et d'expansion des organes végétatifs sont plus longues à Noyon. Par contre, leur rythme d'apparition sont peu différents entre les 2 lieux.

2 - DYNAMIQUE DE CROISSANCE EN POIDS SEC

Compte tenu des objectifs de l'expérimentation, on s'intéresse :

- en 1er lieu, aux effets du mode de fertilisation azotée intra-densité : l'échelle d'analyse, plante ou unité de surface est alors indifférente,
- en second lieu, aux variations de ces effets selon la densité de peuplement et le site : stabilité des classements ; variation des amplitudes des écarts. On considère alors les variations de matière sèche à l'échelle de la plante de manière à isoler l'influence du nombre d'individus en croissance de celle de la quantité de nutriments utilisables par individu.

L'analyse sera menée en deux temps. On étudiera d'abord :

- . l'influence de la dose du 1er apport d'azote en absence d'un 2ème apport. Ceci permettra de discuter des besoins en azote précoces par rapport à la croissance et de déboucher sur une caractérisation du statut nutritif du peuplement au moment où le 2ème apport est effectué. On considèrera, ensuite,
- . l'influence de la date du 2ème apport sur les critères de croissance retenus.

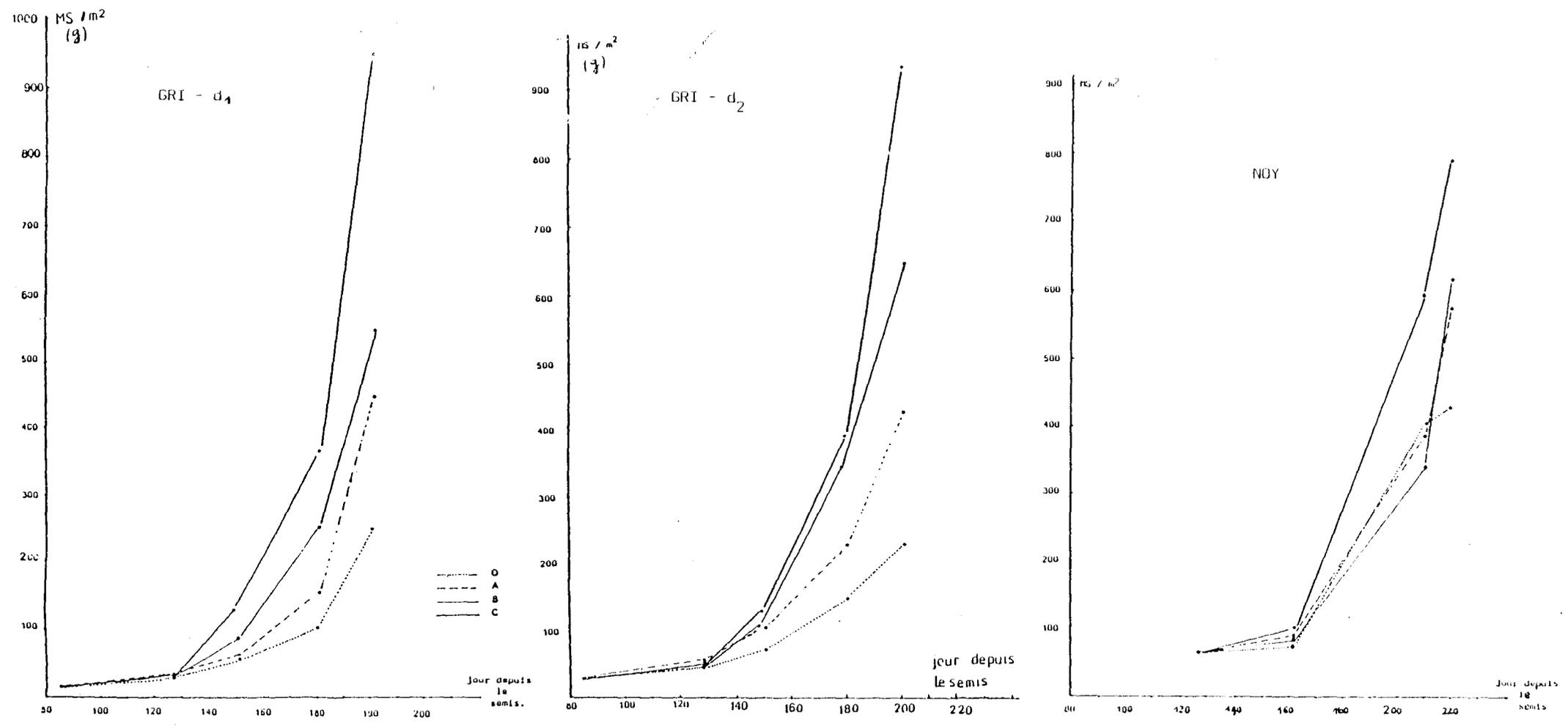


Fig. 52 - Evolution de la biomasse aérienne présente par unité de surface (MS/m²) sur les traitements O (.....) ; A (-----) ; B (—•—) ; C (—)

2.1. - Influence de la dose du 1er apport N

(le récapitulatif des conclusions est donné Fig. 55).

2.1.1. - Comparaison des traitements \emptyset , A, B et C jusqu'à la date 4 pour chaque densité et site

Les courbes des Fig. 52 et 53 décrivent l'évolution des poids secs pour les 4 traitements. Les valeurs sont données ANNEXE 9-4.

2.1.1.1. - Essai GRI :

- Le témoin non fertilisé (\emptyset) différencié des autres traitements dès la 1ère date de prélèvements (date 1a) ; à partir de la date suivante, la différence est hautement significative.
- Les traitements fertilisés se différencient plus tard, même pour la densité la plus forte d2 :

- à la date 2, aucune différence, n'est encore significative. Cependant, les valeurs observées à cette date et à la suivante, indiquent que l'alimentation azotée du peuplement commençait probablement à être limitante pour la dose la plus faible (A) en d1, pour les 2 doses les plus faibles (A et B) en d2. Sur ces traitements, les quantités d'azote absorbées sont
(en kg/ha) :

d1-A : 38,5 d1-B : 57,1
d2-A : 55,2 d2-B : 60,11

Soit de l'ordre des doses d'engrais apportées, et même supérieures en d2.A. Cependant dans tous les cas, elles sont encore inférieures à la quantité (N engrais + N fourni par le sol) - si on admet que l'azote absorbé sur le témoin \emptyset est une bonne estimation de ce dernier terme -.

- Aux dates 3 et 4, les matières sèches mesurées sur les différents traitements sont nettement différentes et classées dans l'ordre : A < B < C.
Pour les 2 doses les plus faibles l'azote est limitant de la croissance. Pour le traitement C, à la date 3, les quantités d'azote absorbées sont inférieures à la dose apportée (190 kg N/ha). Par contre,

supérieures

à la date 4, proche de l'épiaison, elles lui sont devenues inférieures (245 kg en d1 ; 220 en d2). La différence est cependant d'un ordre de grandeur tout à fait compatible avec les quantités d'azote qui peuvent être fournies par le sol. Par ailleurs (Cf. infra), les matières sèches enregistrées sur ce traitement sont supérieures ou égales à celles obtenues en B2, avec 30 unités d'azote en plus. Il est donc raisonnable de conclure que, jusqu'à l'épiaison, au moins, l'azote n'a pas été limitant en C.

2.1.1.2. - Essai NOY (1)

Jusqu'à la date 4, les masses de matière sèche fabriquées par les 3 traitements Ø - A-B-C sont comparables mais inférieures, d'environ 30 %, à celles obtenues en C. L'interprétation est difficile : cette infériorité ne semble pas pouvoir être imputée à une limitation de la nutrition azotée puisque une différence de dose de 60 unités entre Ø et B n'a pas créé de variation de croissance. Elle pourrait traduire un effet parcelle, au moins à la date 2 (bloc I > bloc II) et/ou échantillon, car sur l'échantillon "plantes" (Cf. ANNEXE 6-2) : Bloc I ≈ Bloc II ; A ≈ B ≈ C.

Quoiqu'il en soit, on ne peut exclure qu'une limitation de la nutrition azotée soit apparue en Ø aux environs de la date 2, un peu plus tard en B (N absorbé à la date 2 = 38 - 53 - 50 µ /ha en Ø - A - B), contre respectivement 0 - 30 - 60 µ d'engrais apportés/ha). Cependant, elle a manifestement relativement peu affecté la croissance puisque mi-montaison encore les matières sèches mesurées en A et B sont environ 70 % de celles mesurées en C.

A la date 4, on observe le classement :
Ø < A ≈ B < C

7
supérieures

Sur le traitement C, les quantités d'azote absorbées sont aux dates de prélèvement successives. (1 à 4) de 33 - 63 - 216 - 209 kg/ha. Les matières sèches fabriquées sauf inférieures à celles mesurées en B2. De la même manière qu'à Grignon, on est donc autorisé à conclure que l'azote présent sur ce traitement a été suffisant à la couverture des besoins de la culture en azote, jusqu'à la date 4, au moins.

(1) A partir des dates 3 et 4, les résultats sont plus difficiles à interpréter car étant donné le mode d'échantillonnage (Cf. ANNEXE 6-2), on n'a pas pu faire d'analyse statistique des résultats. On conclura donc à partir des convergences des classements des traitements observés d'une date à la suivante.

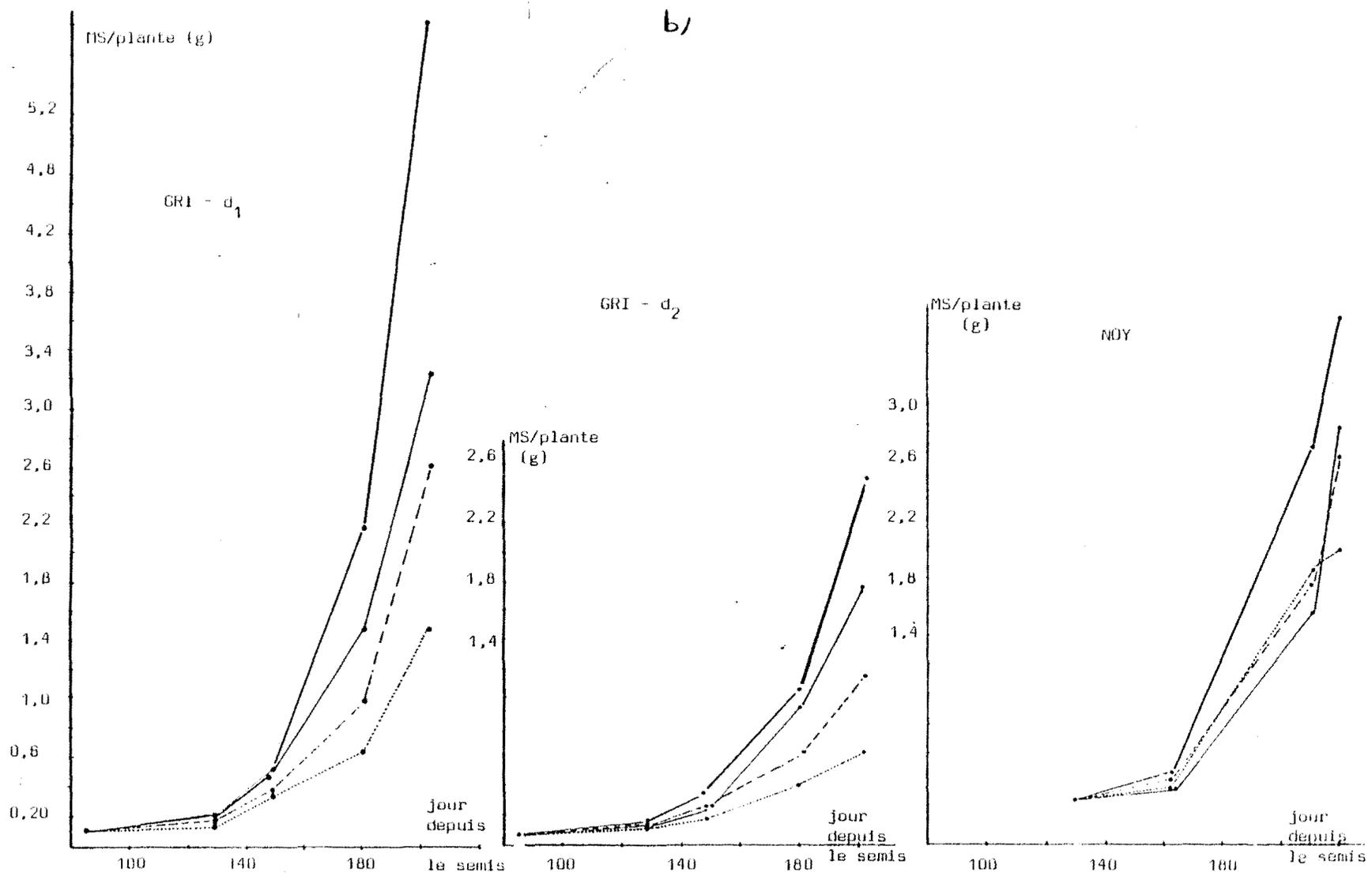


Fig. 53- Comparaison des dynamiques de croissance en poids sec d'une plante entre les traitements 0 - A - B - C .
a) Σ de degrés x jours
b) jours depuis le semis

2.1.2. - Influence du nombre de plantes/m² : comparaison des densités d₁ et d₂ de Grignon

2.1.2.1. - Influence sur la matière sèche/plante

Dès la 1ère date de prélèvement, c'est-à-dire au moment du 1er apport d'azote, les conditions de croissance sur les 2 densités conduisent à un classement :

$$d_2 < d_1 \quad (\text{Fig. 53}).$$

Les causes de ce classement varient selon le traitement et la période du cycle :

a/ - tant que les variations de dose d'engrais ne créent pas de différence de croissance - c'est-à-dire entre les dates 1 et 1a au moins pour Ø - A - B et sur l'ensemble du cycle pour le traitement C -, l'infériorité des masses de matière sèche fabriquées en d₂ ne peut être imputée à une limitation de la nutrition azotée. Elle peut donc traduire :

- . soit un arrière-effet d'un manque d'azote qui serait intervenu sur cette forte densité avant l'application du 1er apport,
- . soit à une compétition pour la lumière, qui serait donc intervenue très tôt en d₂, alors que la biomasse/m² était comprise entre 30 et 45 g/m².

Sous cette deuxième hypothèse - compte-tenu de la bonne relation pendant les phases précoces entre biomasse et indice foliaire (AASE, 1978 ; MASLE, (1985) - les matières sèches mesurées en d₁ (Fig. 52) autorisent à penser qu'une compétition pour la lumière a commencé à affecter la croissance des plantes de cette faible densité également, à une date qui se situerait dans la période date 1a - date 2. Le couvert continuant à se densifier, elle s'est maintenue jusqu'à la fin de la montaison.

b/ - Mais à partir du moment où les matières sèches répondent aux variations de doses d'engrais, la compétition pour la lumière intervient secondairement à la compétition pour l'azote pour limiter la croissance.

A même date, il est remarquable que l'écart relatif des traitements Ø - A - B par rapport à C soit inférieur en d₂ (Fig. 54a) alors que les quantités d'azote utilisables par plante sont plus faibles. On pourrait voir là, un des effets des différences de conditions d'éclairement

Traicement (dose 1° apport N)	Date d'observation				
	1	1a	2	3	4
0 (0)	1,7	1,5	1,2	1,4	0,93
A (30)	1,7	1,8	1,6	1,5	0,96
B (60)	1,7	1,6	1,2	1,4	1,20
C (190)	1,7	1,5	1,6	1,1	0,99

Fig. 54 - Influence de la densité des plantes /m² sur la MS/m²
 aux différentes dates de prélèvement : évolution du rapport
 d₁ / d₂ à GRIGNON 1983 (d₁ = indice 100)

au sein des couverts des 2 densités : une compétition pour la lumière, plus forte en d2, limiterait l'utilisation de l'azote présent dans le milieu, atténuant les différences qui existent à cet égard entre les traitements.

2.1.2.2. - Conséquences à l'échelle de la surface

Cette influence de la densité sur la croissance d'une plante se traduit par une atténuation progressive de la supériorité initiale des biomasses présentes à l'unité de surface en d2 (Fig. 54). A la date 4, les différences des MS/m² ne sont pas significatives entre d1 et d2.

Bien que les évolutions des écarts d2/d1 soient relativement comparables entre traitements, il semble que le nivellement des écarts initiaux soit un peu plus rapide en Ø et C, c'est-à-dire sur les 2 traitements où la compétition (pour l'azote ou la lumière) a été très nettement dominante et est intervenue tôt dans le cycle.

2.1.3. - Comparaison des 2 sites :

Les densités de plantes sont différentes entre les 2 essais ; leurs matières sèches n'ont pas été mesurées à la même date ni rigoureusement au même stade. Pour dégager l'effet du climat et des conditions de milieu liées au sol autres que les quantités d'engrais, nous comparons donc (Fig.55) les courbes d'évolution des matières sèches/plante relatives aux traitements Ø et C qui en l'état actuel de l'analyse (absence de quantification de la nutrition azotée) sont les seuls traitements directement comparables : Ø : azote facteur limitant dominant ; C : croissance potentielle.

Jusqu'au début de la montaison (date 2), les poids secs se classent dans l'ordre :

NOY > GRI d1 > GRI d2 (Fig.55a.),

ce classement NOY/GRI résulte très largement de la différence de date de semis, qui entraîne une durée semis-stade BII plus longue à NOYON (:163 jours contre 128 jours à GRIGNON) : à même somme de température les poids sec en C sont du même ordre (Fig. 55b).

Sur le traitement non fertilisé, le classement se conserve jusqu'à la fin de montaison ; en C par contre, il s'inverse entre le stade B et la mi-montaison (date 3), et s'accroît ensuite en défaveur du semis précoce. A l'épiaison, l'ordre des poids secs est : GRI d1 > NOY > GRI d2 ; on le retrouve à maturité, avec des écarts relatifs comparables.

En Ø où l'azote est à partir de la date 2 facteur limitant sur les 2 essais, la supériorité des vitesses de croissance à Noyon (Fig. 55b) doit certainement être imputée à celle des quantités d'azote

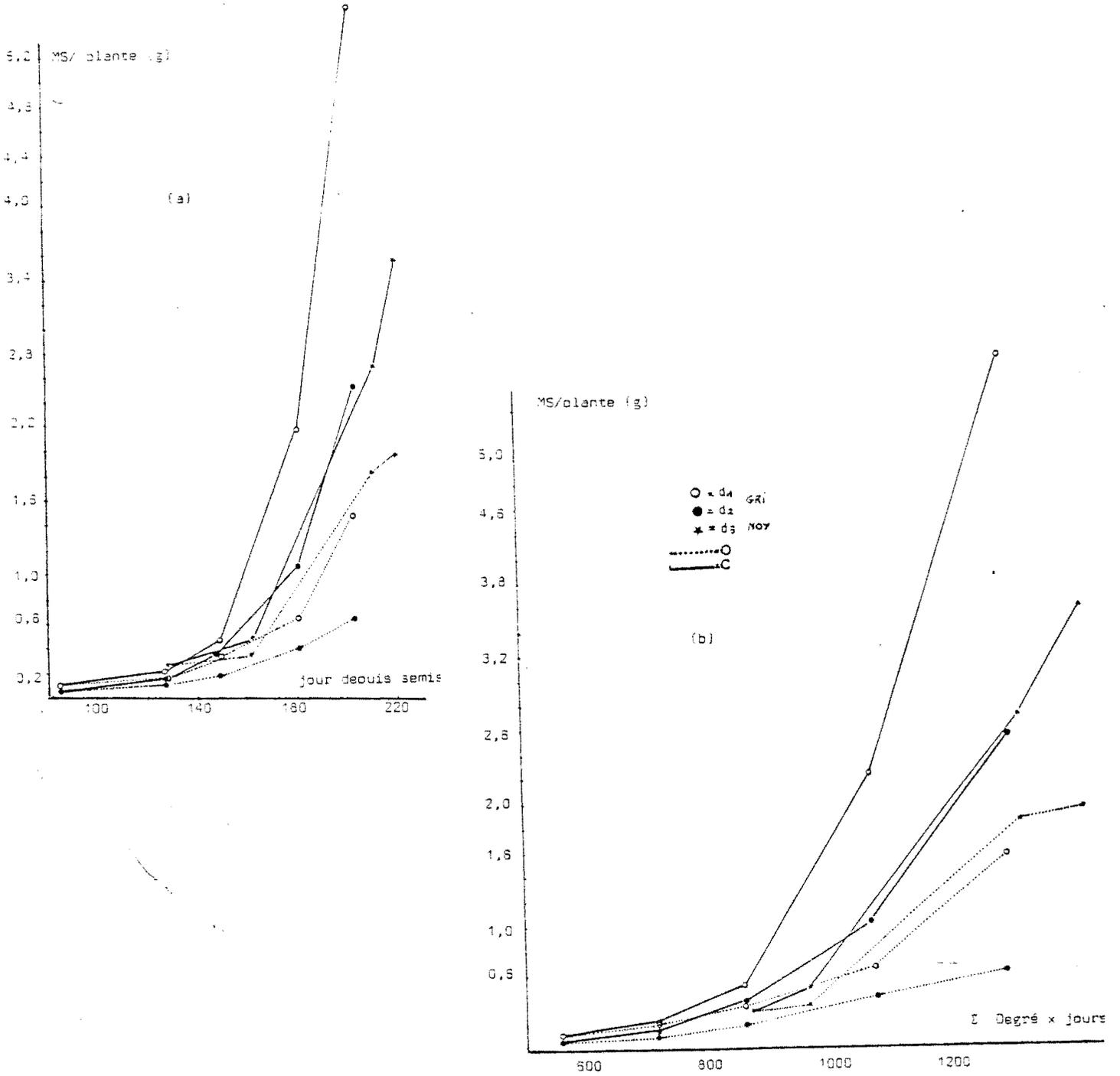


Fig. 55 - Comparaison des dynamiques de croissance en poids sec d'une plante entre
○ GRI - d₁ ; ● GRI - d₂ et * NOY-Traitements O et C

a) temps exprimé en jours depuis le semis

b) temps exprimé en degrés x jours depuis le semis

fournies par le sol (Cf. p 93) . Son infériorité, qui au contraire est constatée en C, est à rapprocher de 2 catégories d'observations :

- . les notes d'hydromorphie (4) et de compacité de la couche travaillée (3) sont supérieures à celles attribuées au profil de Grignon (respectivement et) elles se situent dans la gamme des notes pour lesquelles on a constaté en 1982, une moindre efficacité de la fertilisation azotée (Cf. p 39-41)
- . Les niveaux des biomasses présentes à l'unité de surface, sont, dès la date 1, supérieurs à ceux pour lesquels on a mis en cause à Grignon d2 l'intervention d'une compétition pour la lumière entre plantes ; début montaison, ils sont également très supérieurs au seuil de biomasse au-dessus duquel sur blé, céréale de morphologie voisine, MEYNARD (1985) diagnostique systématiquement une telle compétition.

Ces observations autorisent à penser qu'en C - Noyon, la vitesse de croissance a été limitée par certaines caractéristiques physiques du profil mais surtout très précocement, par une compétition pour la lumière, plus forte qu'à Grignon, même comparativement à d2. La faible réponse aux variations des doses d'engrais observé sur cet essai serait cohérente avec une intervention de cette compétition avant même la date 1, dès le début du tallage.

2.1.4. - Conclusion partielle X X NR

La Fig. 56 récapitule le diagnostic des conditions de nutrition auquel l'analyse des croissances en poids secs a conduit. Les différentes doses du 1er apport ont, en interaction avec la densité et le site, créé une large gamme de situations de compétition pour l'azote et/ou la lumière, différant effectivement par leur durée et leur position dans le cycle. Il est cependant notable qu'une variation de dose de 30 à 60 kg/ha ne discrimine que faiblement les croissances, quels que soient l'essai et la densité. La réalimentation du peuplement à un niveau non limitant en azote par le 2è apport engrais est intervenue pour des niveaux de biomasse et des statuts nutritifs très variables selon la date et le traitement. (Fig. 57).

* Par rapport à une préoccupation de conduite de la culture, on peut ici dégager les éléments suivants :

- les apports d'engrais azotés qui sont nécessaires pour la couverture des besoins en azote jusqu'au début de la montaison semblent relativement faibles (entre 0 : et une quantité inférieure à 60 unités dans nos conditions), même pour des reliquats d'azote faibles en sortie d'hiver. Les comportements observés (en O et Y) sur le réseau d'essais suivis en 1982 conduisaient à la même conclusion.

Stade du brin maître		A ¹⁰ ₂₂₋₂₆ ³¹ ₃₂		A ¹⁵ ₁₆ ^{d1} _{d2}		B _{II}	C _{II} à M _{II} (rose)	Début	E _{II} (jaison)
Date de prélèvement		1		1a		2	3	4	
GRI	d ₁	O		N		L			
		A				L	N		
		B				L	N	N	
		C				L			
	d ₂	O	L	N					
		A	L				N		
		B	L				N		
		C	L						
NOY	d ₃	O	L			N			
		A	L				N		
		B	L				N		
		C	L						

Fig. 55 - Diagnostic des conditions de nutrition sur les traitements \emptyset - A - B - C -, à partir de l'analyse des croissances en poids sec.

L ou N facteur limitant la croissance = Lumière ou Azote.

La lettre est positionnée en regard de la date du 1er prélèvement auquel on a détecté la limitation. (en pointillé : influence non encore significative)

N se maintient jusqu'à l'application du 2^e apport d'engrais. L se maintient jusqu'à la floraison au moins.

- L'intérêt de semis précoces, qui se sont généralisés ces dernières années n'apparaît pas évident. L'effet d'un allongement du cycle semble compensé par l'intervention d'une compétition entre plantes beaucoup plus précoce. In fine, on aboutit à des biomasses - végétales ou totales - très comparables à celles obtenues pour des semis plus tardifs (dans nos conditions en 1983, environ 10 et 17 tonnes/hectare sur les traitements C des 3 densités x lieu). Nous reviendrons sur ce point.

2.2. - Influence des variations de la date du 2ème apport

2.2.1. - Comparaison des croissance observées après le 2ème apport d'N à celles observées en son absence (Fig 58)

a) - Apport effectué au stade 1 cm (date 2)

Essai GRI

L'application du 2ème apport au stade 1 cm est très efficace sur la croissance en matière sèche : à la date 3 puis de même à la date 4, les classements des traitements sont les suivants :

$$\begin{aligned} \emptyset 2 > \emptyset ; \quad A2 > A \quad ; \quad B2 > B \\ \text{et } \emptyset 2 < A2 \approx B2 \approx C \quad (\text{infériorité } \emptyset 2 - A2 \\ \text{non significative}). \end{aligned}$$

Le réapprovisionnement du milieu en azote a donc très rapidement permis de largement gommer les écarts de poids secs créés par les variations de doses du 1er apport. En d1, ceci n'est pas très surprenant puisque début montaison, ces écarts étaient faibles ; mais en d2 ils étaient très importants.

A maturité, sur cette dernière densité, on constate même une supériorité globale des traitements $\emptyset 2 - A2 - B2$ sur le traitement C, alors qu'en d1, ils lui sont égaux. Il semble donc que pour cette forte densité, l'azote soit devenu limitant en fin de cycle, postérieurement à l'épiaison.

ESSAI NOY

Sur cet essai, comme on pouvait s'y attendre vu l'absence de compétition pour l'azote au moment de l'apport, même en \emptyset , les classements sont dès la date 3 et jusqu'à maturité :

$$\emptyset 2 \approx A2 \approx A2 \approx C$$

h₂

DATE D'OBSERVATION			NP/m ²	CARACTERISTIQUES des PEUPLEMENTS												
Code	jour calendaire	n° jour depuis le semis		Σθ depuis le semis (1)	STADE DU BRIN-MAITRE			MS/m ² (g)			MS/Plante (g)			Ntotal (% MS)		
					Stade apex (2)	Nombre de feuilles	longueur tige + épi (mm)	φ	A	B	φ	A	B	φ	A	B
1	11/01	85è	559	d1	A 10-0(3)	4,6	5,0	17,6			0,101			4,9		
	"	"	"	d2	A 8-0	4,5	5,0	30,1			0,087			4,6		
	3/02	128è	861	d3	A 22-36	7,8	7,8	64,8			0,300			3,9		
2	18/03	128è	847	d1	BII 25-30 (3)	8,3	8,2	54,4	65,7	88,9	0,322	0,389	0,526	3,6	4,5	4,9
	"	"	"	d2	BII 24-38	8,0	10,7	67,6	106,6	105,5	0,181	0,282	0,285	3,8	4,9	4,4
	9/03	163è	954	d3-Ø	BII 27-44	8,3	9,9	77,0	88,6	83,4	0,349	0,401	0,377	3,8	4,6	4,6
				-C	BII 29-50	8,6	9,0									
3	19/04	150è	1058	d1	CII	11,7	66	107	159	250	0,636	0,938	1,48	1,9	2,1	2,2
	"	"	"	d2	CII	8,9	146	149	235	344	0,404	0,633	0,928	1,8	2,0	2,2
	26/04	211è	1306	d3	CII à dé- but G	11,0	200 (en Ø) à 300 (en C)	407	385	339	1,840	1,74	1,54	1,7	2,3	2,4
4	9/05	204è	1271	d1	E0 - E2	non observé	670 à 920 Ø A	252	451	552	1,542	2,66	3,27	1,2	1,3	1,5
	"	"	"	d2	E0 - E2	"	640 à 842 Ø A	236	429	654	0,631	1,16	1,76	1,2	1,1	1,1
	5/05	220è	1403	d3	E0 - E4	"	430 à 630 Ø	429	579	619	1,94	2,62	2,80	1,6	2,0	1,9

(1) Températures moyennes journalières cumulées depuis le semis (base 0)

(2) Echelle des stades de notation : voir Annexe 0

(3) Ax-y ; BII x-y : x = nombre d'épillets sur les 2 rangs centraux de l'épi
y = nombre d'épillets sur les 4 rangs latéraux de l'épi

Fig. 57 Caractéristiques d'état des peuplements pour les différents traitements, au moment du 2è apport d'engrais

TRAITEMENTS	GRIGNON - d1								GRIGNON - d2								NOYON						
	date	1a	2	3	4	5 = maturité paille grain total			1	1a	2	3	4	5 = maturité paille grain total			1	2	3	4	5 = maturité paille grain total		
O ₂	0,101	0,180	0,322	1,427	3,708	5,965	4,151	10,12	0,081	0,120	0,181	0,761	2,108	3,572	1,942	5,514	0,290	0,349	2,009	3,539	3,553	3,086	6,639
O ₃	(1)"	"	"	0,636	1,587	3,058	3,736	6,794	"	"	"	0,401	0,898	1,201	1,605	2,806	"	"	1,840	2,456	2,396	2,486	4,662
O ₄	"	"	"	"	1,542	2,453	3,290	5,743	"	"	"	"	0,636	1,080	1,391	2,471	"	"	"	1,943	2,245	2,166	4,411
O	"	"	"	"	"	1,254	1,166	2,420	"	"	"	"	"	0,710	0,651	1,361	"	"	"	"	2,746	1,887	4,633
A ₂	"	0,190	0,389	1,806	4,698	7,052	4,306	11,36	"	0,159	0,282	1,091	2,467	3,284	2,213	5,497	0,293	0,401	2,020	3,539	4,329	3,527	7,856
A ₃	"	"	"	0,938	2,157	3,880	4,450	8,330	"	"	"	0,633	1,776	2,125	1,813	3,938	"	"	1,740	2,544	2,626	3,211	5,837
A ₄	"	"	"	"	2,666	3,083	3,479	6,562	"	"	"	"	1,157	2,221	1,738	3,959	"	"	"	2,618	2,454	2,592	5,046
B ₂	"	0,206	0,526	2,050	5,926	7,258	4,295	11,55	"	0,146	0,285	1,116	2,065	3,547	1,666	5,213	0,330	0,377	2,243	3,949	3,801	3,258	7,059
B ₃	"	"	"	1,481	4,049	7,346	4,831	12,18	"	"	"	0,928	1,587	2,510	1,899	4,409	"	"	1,556	3,235	3,516	3,396	6,912
B ₄	"	"	"	"	3,265	5,405	4,187	9,592	"	"	"	"	1,762	1,756	1,742	3,498	"	"	"	2,602	2,799	2,980	5,775
C	"	0,204	0,463	2,185	5,595	6,555	4,664	11,22	"	0,142	0,361	1,064	2,514	2,625	2,093	4,718	0,285	0,454	2,693	3,543	4,627	3,548	8,175

(1) traitements non encore différenciés à la date d'observation considérée.

Fig. 58- Poids secs par plante sur les différents traitements, aux différentes dates d'observation (grammes)

b) - Apport effectué mi-montaison (dose 3)

A la date 4, cet apport n'a encore créé aucun supplément de matière sèche significatif. Cependant, en d₂ GRI et à NOY : Ø₃ > Ø. L'examen des matières sèches finales montre qu'il a eu un effet tardif, qui s'extériorise en interaction nette avec la dose du 1er apport : l'écart de matière sèche par rapport au traitement C augmente de Ø3 à B3.

A Noyon, ce délai dans la réponse peut être rapproché de la faible intensité de la compétition pour l'azote lorsque l'engrais a été appliqué et de la courte distance entre la date de l'apport et la 1ère date de prélèvement suivante (9 jours à 103 do.j).

A Grignon, par contre, la distance date 3-date 4, était importante (22 jours - 220 do.j) et la compétition pour l'azote très forte au moment du 2ème apport, en particulier en Ø - A et en d₂. De plus, ayant été fait sur sol humide, on peut penser que l'apport a été rapidement utilisable. Sur cet essai, au moins, la question est donc en suspens.

c) - Apport effectué fin gonflement - début épiaison (date 4)

Les matières sèches finales obtenues pour cet apport tardif sont à maturité nettement inférieures à celles mesurées en C ou en A2 - B2. Mais l'azote apporté à l'épiaison a été efficace pour la croissance puisque :

- Ø₄ > Ø aussi bien pour les poids de grain que de paille,
- pour les doses les plus faibles du 1er apport, Ø et A, ces poids sont équivalents à ceux obtenus pour le 2ème apport effectué mi-montaison. Pour la dose la plus forte, ils sont inférieurs.

2.2.2. - Adéquation de la dose du 2ème apport aux besoins du peuplement ultérieurs à son application

Jusqu'à l'épiaison pour tous les traitements, jusqu'à maturité pour la plupart, les quantités d'azote absorbées sont inférieures ou égales à celles apportées (ANNEXE 9.3) Compte-tenu de la fourniture d'une certaine quantité d'azote par le sol, on peut conclure que l'apport des 160 unités a, sur les différents traitements, permis une alimentation azotée ultérieure non limitante jusqu'à ces stades. Les niveaux des matières sèches des traitements B2 - A2 - Ø₂ et C le confirment.

Les seuls traitements pour lesquels on ne peut exclure une certaine limitation azotée postérieure à l'épiaison sont d₂ Ø₂ et d₂ A2. Mais elle est de toute façon restée limitée.

2.2.3. - Conclusion partielle

Les comportements qui viennent d'être décrits montrent qu'une compétition pour l'azote temporaire affecte les niveaux de matières sèches ultérieurs et finaux dans des proportions très variables :

- si elle intervient avant le début de la montaison ou pendant la 1ère moitié de cette phase : elle n'affecte pas le niveau final, même si elle a été très durable (ex. d2 02). Ceci n'est pas dû à une compensation par les poids de grain : le rattrapage des poids secs fabriqués en absence de compétition pour l'azote (C) a en effet lieu antérieurement au début de la phase de remplissage des grains.
- si elle intervient avant le début de la montaison et dans la 1ère partie de cette phase (ex. date 3 du 2ème apport pour les doses 0 et A), les matières sèches finales sont pénalisées. Il en est a fortiori de même si la limitation se prolonge jusqu'à l'épiaison (04 - A4).
- si elle ne commence qu'au début de la montaison et se maintient jusqu'à la fin de cette phase : elle a un effet dépressif net sur les performances finales mais pas plus important que celui observé pour une compétition plus précoce interrompue plus tôt.

En d'autres termes, lorsque le 2ème apport a été appliqué dès le stade 1 cm, le 1er apport a été inutile, que le critère de jugement soit les poids secs finaux ou les composantes du rendement (Cf. A.). Quand le 2ème apport a été appliqué à la date 3, donc tardivement, à Noyon surtout, un 1er apport relativement modéré (60 u) a suffi.

Ces conclusions montrent qu'il existe chez l'orge une très grande souplesse de réponse aux variations des quantités d'azote présentes pendant les différentes périodes du cycle : un même niveau de poids sec ou de composantes du rendement peut être obtenu par des voies très différentes. Ceci apparaît lié à la possibilité d'une croissance tardive (post épiaison) de l'appareil végétatif, importante. Cependant, pour les dates de 2ème apport 3 et 4, les harvest index sont nettement supérieurs à ceux observés sur des traitements dont la nutrition azotée a été plus favorable (02 - A2 - B2 - C) :

0,50 - 0,55 contre 0,40 - 0,45 (Cf. ANNEXE 8_{1.2.3.})

Cette supériorité n'est pas due au poids d'un grain ; les 2èmes apports tardifs ont donc davantage augmenté le nombre de grains/m² que la masse de matière végétative.

DIAGNOSTICS DES CONDITIONS D'ALIMENTATION A PARTIR DES MS et DES QUANTITES D'AZOTE ABSORBEES	DENSITES NP/m ²	STADE DU BRIN-MAITRE				
		Stade apex<BII et 5 feuilles	Stade BII	Stade CII à MEIOSE	EPIAISON	
Compétition pour l'azote	d1	GRI	Ø = 4,55	Ø = 3,51 A = 4,50	Ø = 2,00 A = 2,10	Ø = 1,20 A = 1,32 B = 1,50
	d2		Ø = 3,77	Ø = 3,77 A = 2,89	Ø = 2,00 A = 2,00	Ø = 1,15 A = 1,10 B = 1,08
	d3	NOY	Ø = 3,85	Ø = 3,84	Ø = 1,71 A = 2,31 B = 2,43	Ø = 1,53 A = 2,00 B = 2,00
Compétition pour la lumière	d1	GRI	4,88	C = 5,43 B = 4,94	C = 3,51	C = 2,00
	d2		A = 4,90 B = 4,96 C = 5,10	C = 5,20	C = 3,27	C = 1,76
	d3	NOY		C = 4,87	C = 2,79	C = 2,05
Pas de facteur nutritif limitant identifié	d1	GRI	4,9 A = 5,15 B = 5,01 C = 5,73			
	d2					
	d3	NOY				

Fig. 59 - Teneur en azote dans la plante en fonction du stade physiologique et des conditions de la croissance.

3 - CROISSANCE ET ABSORPTION D'AZOTE

Aux dates 1 à 4, les dosages disponibles concernent la plante entière. A maturité, l'azote a été dosé séparément dans les pailles et dans les grains, pour chacune des 2 catégories d'épis ("verdillons" et "jaunes"). Les teneurs et quantités d'azote absorbé sont données ANNEXE 9_{2.3}

3.1. - Comparaison des traitements Ø - A - B - C avant application du 2^{ème} apport

Lorsqu'on confronte les variations des teneurs en azote entre les traitements Ø - A - B - C aux variations des matières sèches correspondantes, à chacune des dates de prélèvement, on constate 3 cas de figure qui, grossièrement, se succèdent :

- a) - les teneurs en azote sont différentes, pas les poids secs :
c'est le cas en d₁-GRI juste après l'apport (date 1a) : les teneurs varient de 5 à 5,8 % pour des poids secs comparables.
- b) - les teneurs en azote et les poids secs sont différents ; ils se classent dans le même ordre. En d₁, ce cas de figure succède au précédent ; on l'observe à la date 2. En d₂, il est observé dès la date 1a ; à Noyon également, mais on n'a pas, sur ce site de prélèvement intermédiaire.
- c) - les teneurs en azote sont voisines alors que les poids secs se discriminent très nettement :
c'est ce qu'on constate à Grignon, aux dates 3 et 4 auxquelles les teneurs sont comparables entre traitements et densités, autour de 2 % à la date 3, 1 à 1,4 %, à la date 4.

A Noyon, la tendance est la même, mais le nivellement des teneurs apparaît plus tardif, moins net (% N = 1,8 à 2,7 à la date 3 ; 1,8 à 2,7 à la date 4), et les teneurs sont nettement supérieures à celles mesurées à Grignon aux mêmes dates du cycle. Ces 2 caractéristiques sont probablement à rapprocher.

La Fig. 59 récapitule les teneurs en azote mesurées aux différents prélèvements ; ces teneurs sont confrontées d'une part au stade physiologique du peuplement d'autre part à ses conditions de nutrition, diagnostiquées à partir de l'analyse des poids secs (Cf. Fig. 56) :

- quelles que soient les conditions de nutrition, les teneurs en azote diminuent quand on avance dans le cycle. Il s'agit d'une évolution classique, largement décrite dans la bibliographie (JONARD et ODENT,

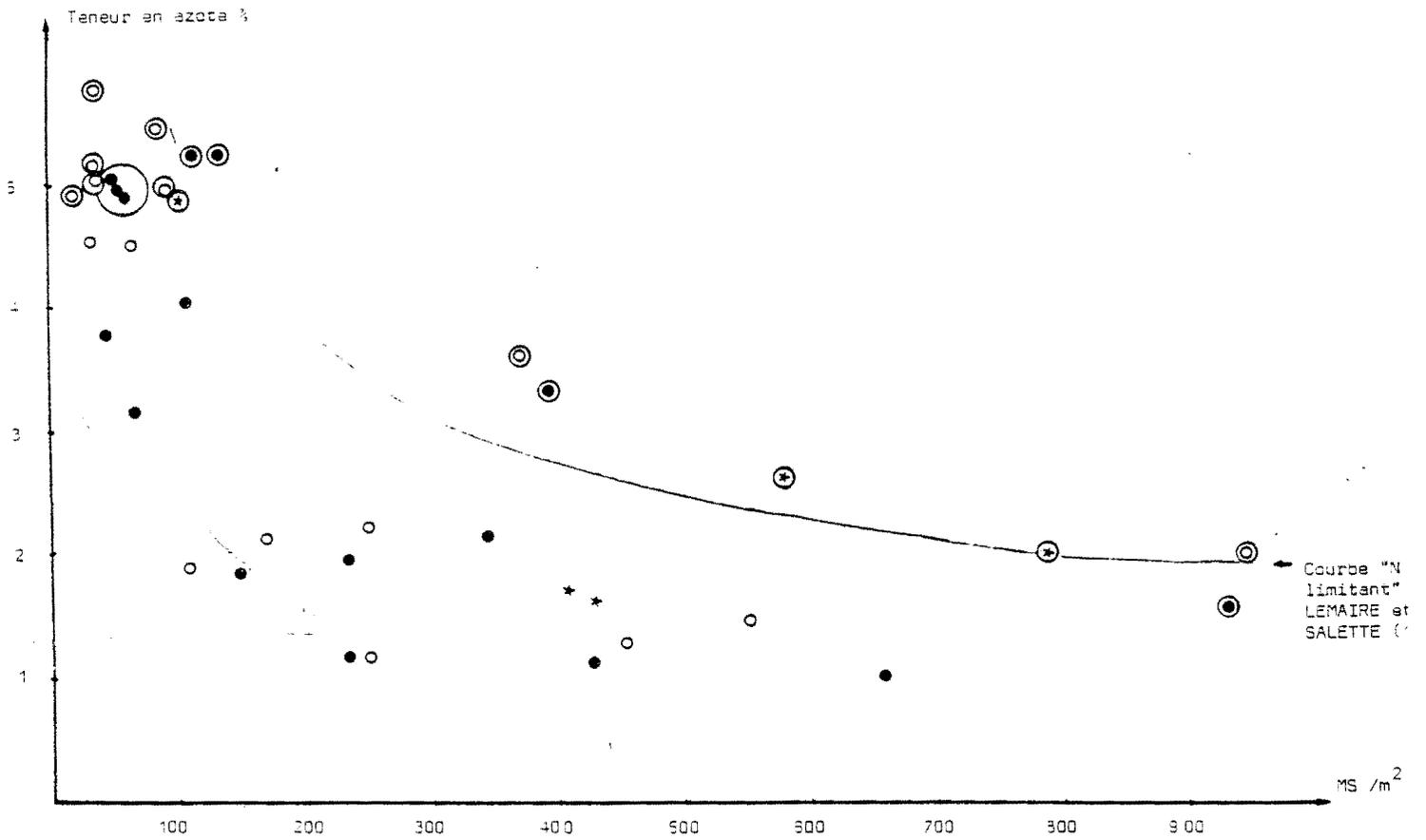


Fig. 60 - Relation entre teneur en azote (N total, en % MS) et biomasse aérienne par unité de surface.

● = d₁ ○ = d₂ ★ = NOV

Points entourés = azote non limitant avant le prélèvement (cf. Fig 57)

1967 ; CHATTERJEE et al., 1981), liée à l'augmentation des tissus ligneux dans la biomasse totale.

- Les teneurs en azote se discriminent relativement bien, en fonction des conditions de nutrition azotée ; ainsi aux stades SII ou antérieurs, la gamme des teneurs enregistrées quand l'alimentation azotée est limitante de la croissance varient de 3,6 à 4,9 %. Quand l'azote n'est pas limitant, elles sont de 4,9 à 5,7 %.

- Ces valeurs sont tout à fait en accord à celles données pour le blé par MEYNARD (1985). A la méiose les gammes correspondantes sont respectivement de 1,7 à 2,4 % - 2,8 à 3,6 et à l'épiaison 1,1 à 2 et 1,8 à 2,1.

Par contre, dans la gamme explorée dans nos essais, une compétition pour la lumière n'a pas d'effet sensible : les teneurs sont très comparables entre d1 et d2, du stade 8 feuilles à l'épiaison.

• Dans une certaine mesure, une teneur en azote, renseignée par le stade physiologique au moment du dosage peut donc constituer un élément de diagnostic des conditions d'alimentation azotée du peuplement d'orge. Ainsi, compte tenu des gammes ci-dessus citées, les teneurs en azote mesurées sur l'essai NOY à la date 1) rendent très plausible l'intervention sur cet essai d'une limitation azotée avant le 1er apport d'engrais. On ne peut exclure qu'il en ait été de même en d2-GRI. De même les teneurs enregistrées à la date 2 confirment que l'azote était limitant en Ø NOY et A - GRI d2 et qu'il commençait probablement tout juste à le devenir en NOY A et B.

• LEMAIRE et SALETTE (1984) constatent sur fétuque, l'existence d'une relation entre teneur en azote et biomasse aérienne/m², de la forme $\% N = a MS^b$. Cette relation est stable entre années mais dépendante du statut nutritif azoté : quand les conditions d'alimentation azotée varient, on obtient une famille de courbes avec une courbe enveloppe correspondant, selon ces auteurs, à "N non limitant". La position de nos traitements sur un graphe mettant en relation les 2 variables % N et MS est tout à fait conforme à ces résultats (Fig. 60), et, à ce point de l'analyse, à leur interprétation.

• Quand les quantités d'azote présentes dans le milieu sont très supérieures aux besoins, il existe une certaine consommation de luxe. Mais, elle reste limitée : ainsi sur les traitements où on a diagnostiqué une alimentation azotée non limitante (Cf. Fig. 56), les teneurs en azote dans la plante ne dépassent pas 5,8 % avant le stade B, 6 % au stade CII, 2,8 % à l'épiaison.

• Quand l'azote devient facteur limitant de la croissance, il se produit une certaine dilution de l'azote dans la matière végétale (Cf. par ex. traitements Ø - A - B date 4), qui rapidement s'accompagne d'une réduction de la vitesse de croissance. Mais il semble exister une teneur seuil minimale, variable selon le stade physiologique qui, d'après les comportements observés sur l'essai GRI, serait d'environ 2 % au stade CII, 1 à 1,5 % à l'épiaison.

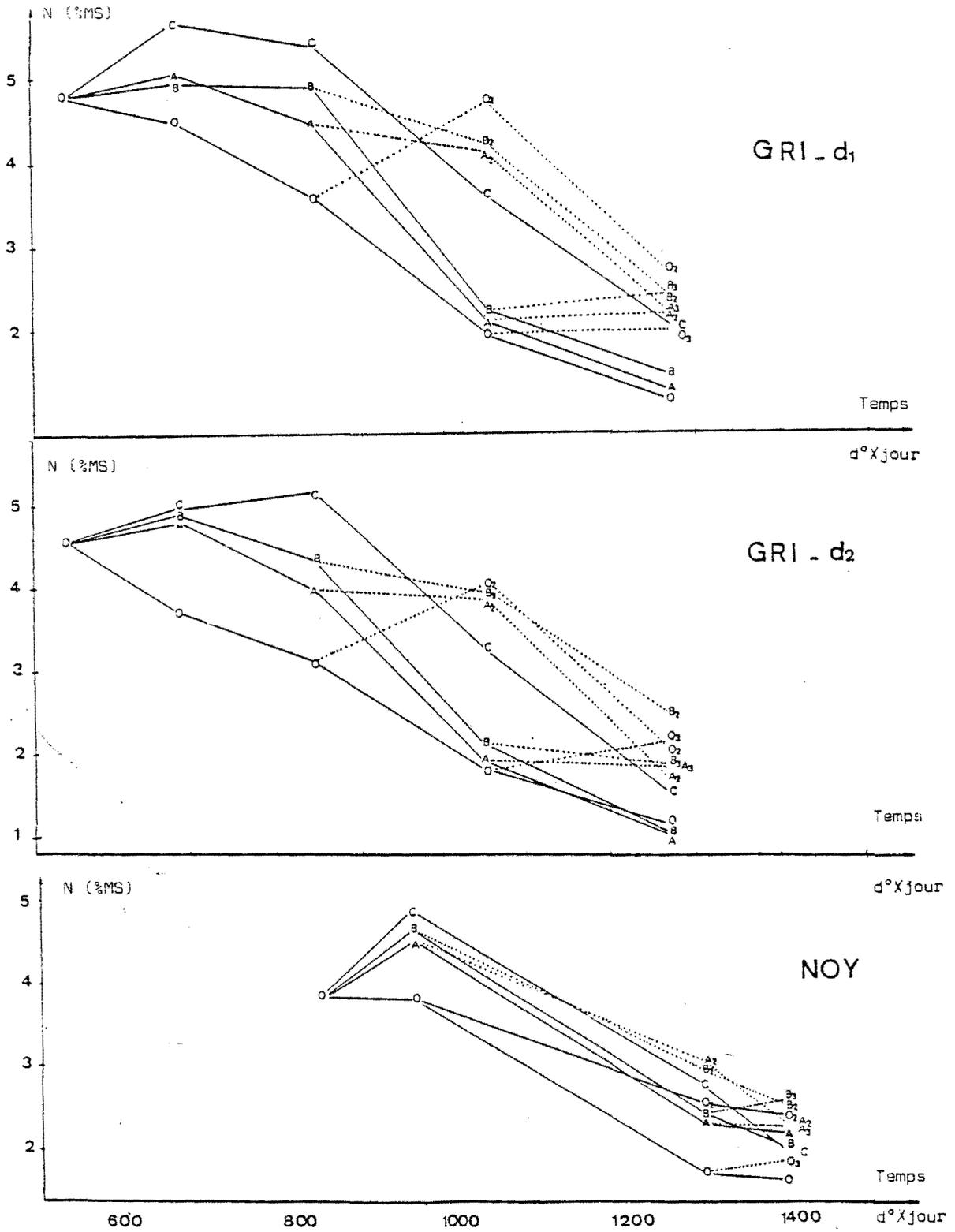


Fig. 81 - Evolution des teneurs en azote total dans la plante pour les différents traitements, des dates 1 à 4

3.2. - Influence d'une réalimentation du milieu en azote

L'application du 2^e apport d'engrais a ramené les teneurs en azote dans la plante à un niveau supérieur (GRI) ou égal (NOY), à celui du traitement de référence C (Fig. 61). Ceci est visible sur le 1^{er} prélèvement suivant l'apport alors que les niveaux de matières sèches sont encore inférieurs, ou ont seulement rattrapé, ceux mesurés en C.

Le réapprovisionnement du milieu par une dose d'engrais très importante par rapport aux besoins instantanés du peuplement provoque donc une très forte absorption d'azote, anticipant un peu sur la croissance (cas O2 date 3), ou même très largement (traitements O2 - A3 date 4). Les comportements observés sur les 3 densités x sites sont à cet égard comparables, mais comme sur les poids secs/plante, les différences entre traitements sont moins marquées à NOY qu'à GRI.

Sur la Fig. 62 on confronte les valeurs de % N et MS/m² enregistrées après application du 2^e apport pour l'ensemble des traitements concernés ; on a reporté les points définissant la courbe enveloppe de la Fig. 60. On constate qu'un certain nombre des nouveaux points se répartissent autour de cette courbe enveloppe. Par contre, un certain nombre d'autres - pour lesquels l'azote est pourtant également non limitant au moment du dosage - sont nettement en dessous.

Il s'avère donc que la courbe "enveloppe" entre % N et MS/m² ne peut constituer un outil de diagnostic des conditions d'alimentation azotée du peuplement aussi immédiat que le proposent LEMAIRE et SALETTE. En effet,

- les points qui définissent cette courbe correspondent tous à des points pour lesquels l'azote n'est pas limitant au moment du dosage ; mais, un écart à la courbe n'implique pas que l'azote soit limitant de la croissance.
- Conformité aussi bien qu'écart à la relation recouvrent des histoires nutritives très variées.
- enfin, le déplacement le long de l'abscisse est créé à la fois par des différences de conditions de nutrition et par les différences de stades de prélèvements ; ces dernières créant d'ailleurs les variations les plus importantes.

A condition de lui donner une 3^e dimension, celle des stades physiologiques, les seules informations qui semblent pouvoir être tirées d'une courbe enveloppe stable entre années telle que celle de la Fig. 60-62 sont les suivantes :

- écart à la courbe = existence d'une limitation azotée antérieurement au prélèvement, ou au moment du prélèvement,
- voisinage de la courbe = alimentation azotée non limitante au moment du prélèvement.

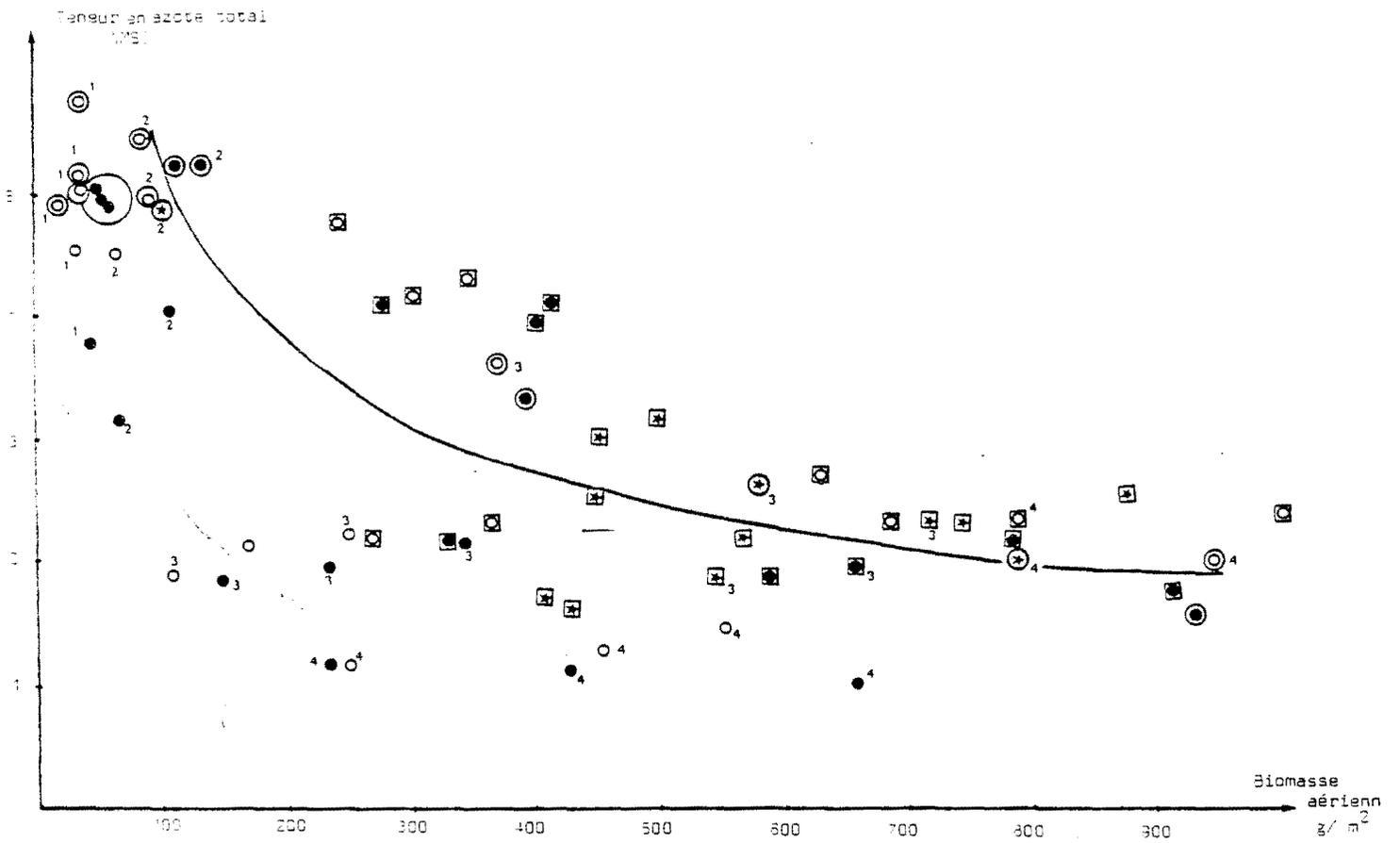


Fig. 2 - Relation entre teneur en azote et biomasse aérienne / m² ○ = d₁ ● = d₂ ★ = NOV ; points entourés : (cf. F. Points encadrés : peuplement réalimenté en azote antérieurement à l'observation par le même apport d'engrais.

Tout porte à croire qu'il en est de même du type de courbe proposée pour graminées prairiales par LEMAIRE et SALETTE.

3.3. - Conclusion partielle

Cette analyse des teneurs en azote et de leur relation avec les variations de poids sec a permis de compléter ou confirmer le diagnostic des conditions de nutrition relatif aux différents traitements, qui avait été formulé à partir des classements des courbes de croissance. Les éléments de ce diagnostic sont synthétisés sur la Fig. 63 qui correspond à la Fig. 56, complétée en particulier pour les phases précoces (date 1).

On constate que sur l'essai de Grignon, les traitements expérimentaux ont effectivement créé la gamme de conditions de nutrition azotée qui était attendue pour les différentes phases du cycle (Cf. Fig. 31). A Noyon, par contre, ils se révèlent beaucoup moins discriminants ; plusieurs caractéristiques de cet essai peuvent rendre compte de la moindre réponse aux variations des quantités d'azote apportées : en particulier, une fourniture d'azote par le sol importante, et une forte compétition pour la lumière, intervenue très tôt dans le cycle du fait d'une forte croissance hivernale (rôle de la date de semis et de la densité de plantes relativement élevée).

L'évolution des teneurs en azote, la dynamique d'absorption de cet élément et la dynamique de croissance en poids, sont étroitement liées. La Fig. 64 met en regard les quantités d'azote absorbées et les masses de matière sèche fabriquées aux différentes dates de prélèvement. On constate des relations étroites de forme comparable d'une date à l'autre, avec une partie ascendante dont la pente s'amortit progressivement (diminution de l'efficacité de l'azote par rapport à la production de matière sèche), puis un palier (consommation de luxe). On retrouve les formes des courbes décrites par plusieurs auteurs, en particulier DE WIT (1979) et SPIERTZ (1983). Sur la Fig. 64 d'une date de prélèvement à la suivante : la pente de la partie ascendante augmente ce qui traduit, au moins pour une part, la baisse des teneurs en azote précédemment commentée ; le palier est de moins en moins long, c'est-à-dire qu'absorption d'azote et croissance sont de plus en plus liées sans qu'on puisse déterminer laquelle est cause, laquelle est effet.

Cependant, lorsqu'on décrit les courbes dans le sens des quantités d'azote absorbées croissantes, grossièrement, on rencontre les traitements dans l'ordre des dates de plus en plus précoces du 2ème apport d'engrais et, au sein de chacune, dans l'ordre des doses croissantes du 1er apport. Les différences des biomasses et des quantités d'azote absorbées sont donc directement liées à des différences de quantités d'azote utilisables tout au long du cycle.

Stade du brin-maire :		A ¹⁰ ₈ ^{d1} ₂₂₋₂₆ ^{d2}	A ¹⁵ ₁₆ ^{d1} ₁₆ ^{d2}	B ₁₇	C ₁₈ à M ₁₉ (Étiose)	Début	E ₂₀ (Prison)
Date de prélèvement :		1	1a	2	3		4
GRI	d ₁	O	N	L			
		A		L	N		
		B		L	N	N	
		C		L			
	d ₂	O	(N) L	N			
		A	(N) L		N		
		B	(N) L		N		
		C	(N) L				
NOY	d ₃	O	N et L	N			
		A	N et L	N	N		
		B	N et L	N	N		
		C	N et L				

Fig. 63 - Diagnostic des conditions de nutrition sur les traitements \emptyset - A - B - C -, à partir de l'analyse des croissances en poids sec et des teneurs en azote.

L ou N facteur limitant la croissance = Lumière ou Azote.

La lettre est positionnée en regard de la date du 1^{er} prélèvement auquel on a détecté la limitation (en pointillé : influence non encore significative). N se maintient jusqu'à l'application du 2^o apport d'engrais (sauf pour (N) où la limitation est levée par le 1^o apport). L se maintient jusqu'à la floraison au moins.

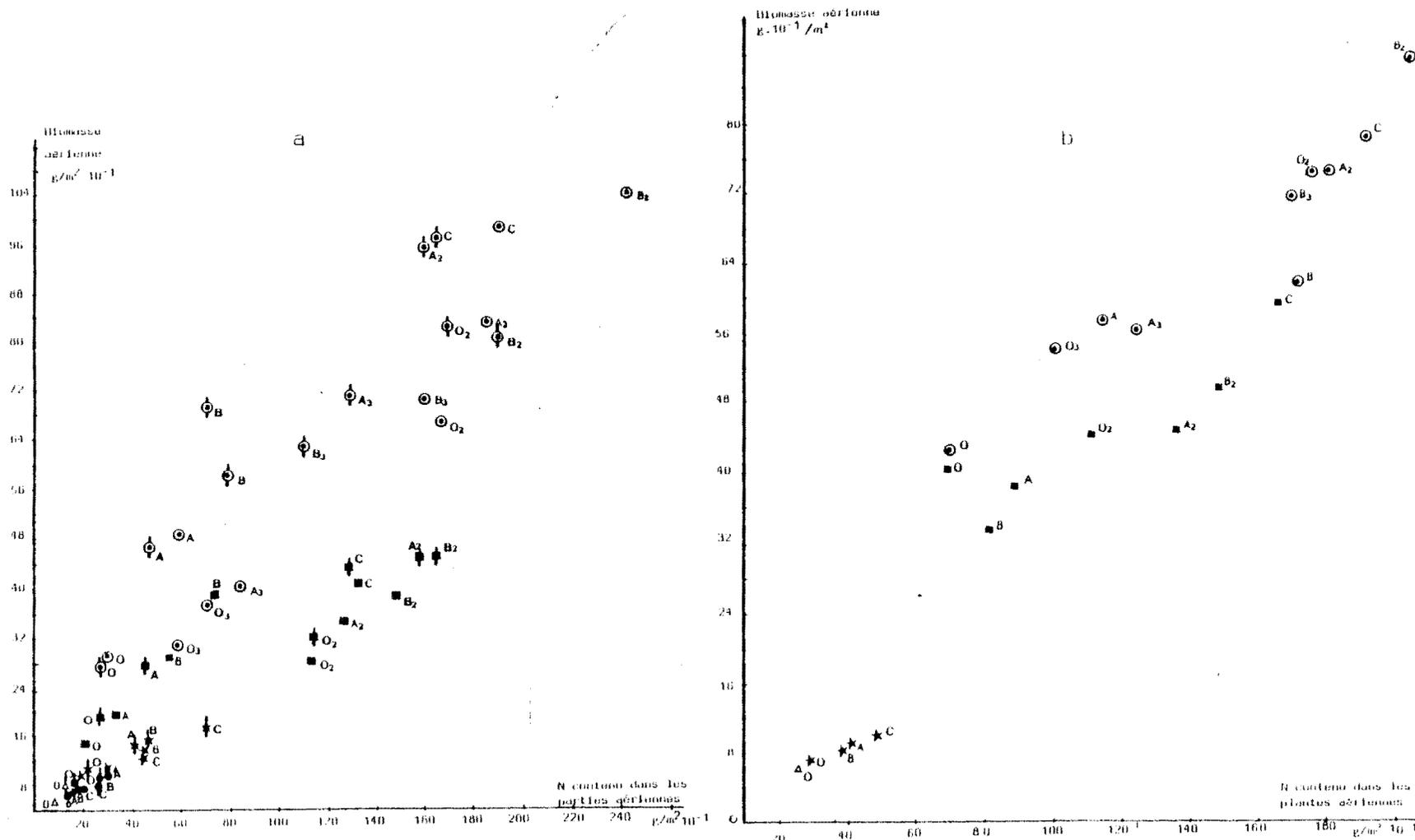


Fig. 64 Relation entre la biomasse aérienne présente par unité de surface aux différentes dates de prélèvement et la quantité d'azote absorbée - (Δ : date 1 ; \blacklozenge date 2 ; \blacksquare date 3 ; \odot date 4)

a) - GRI d1 et d2 (sigles barrés)
 b) - NOY

4 - CONCLUSION

Cette analyse globale de la croissance et de l'absorption d'azote éclaire certains aspects des effets des traitements sur les composantes du rendement.

On avait constaté que des modalités de fertilisation azotée a priori très différentes ne discriminaient pas les nombres d'épis ni de grains/m². Il s'avère qu'un certain nombre d'entre elles n'ont en fait pas engendré des conditions de nutrition azotée différentes : c'est le cas des modalités A2 et C sur l'essai GRI, O2 - A2 - B2 et C sur l'essai NOY. Par contre, un certain nombre d'autres ont créé des régimes nutritifs effectivement très différents : ainsi la croissance des peuplements qui ont reçu le 2ème apport à la date 3 a été fortement limitée par les quantités d'azote utilisables, pendant au moins toute la 1ère moitié de la montaison, contrairement aux peuplements fertilisés dès le stade 1 cm. Les matières sèches mesurées à l'épiaison à Grignon, sont dans des rapports de 1 à 1,5 par exemple entre Ø 2 et Ø 3 d1 ou d2. Or, les nombres d'épis et de grains produits ne sont, pas du tout, ou peu, inférieurs. Paradoxalement, bien que encore non significative pour les doses A et B, la différence entre les deux groupes de traitement est plus marquée à NOYON, alors que leurs conditions de nutrition et de croissance ont été beaucoup moins différentes qu'à GRIGNON !

Par ailleurs, dans le cas des traitements O3 - A3 - B3 on n'a identifié qu'une seule catégorie d'épis alors que jusqu'à l'épiaison, c'est-à-dire la partie tout à fait terminale de la montaison, leur croissance était tout à fait comparable à celle des traitements homologues Ø 4 - A4 - B4, qui à maturité étaient constitués de 2 populations d'épis très distinctes. Pour les 2 groupes de traitement pourtant, au moins à Grignon, le 2ème apport a été appliqué sur des peuplements fortement carencés en azote (Fig. 63).

L'ensemble de ces observations ne peuvent être interprétées autrement que par des modalités de répartition de la biomasse totale, entre les talles, très différentes selon la date du 2ème apport d'azote : variation des combinaisons nombre de talles - biomasse totale et (?) variations des dynamiques de croissance d'un même nombre de talles.

Nous allons donc maintenant analyser les relations entre les conditions de nutrition créées par les traitements et l'évolution de la structure du peuplement, c'est-à-dire la dynamique du tallage, la répartition de la matière sèche entre les différentes talles et leurs conséquences sur la montée à épi et l'élaboration du nombre de grains.

C/ - EVOLUTION DE LA STRUCTURE DU PEUPEMENT DE TALLES

Les mesures disponibles et leurs modes d'obtention sont décrites ANNEXE 6^{1,2,3}. Nous nous limitons ici à en mentionner les principaux points. A chacune des dates de prélèvement : on a procédé au dénombrement et à l'identification des talles présentes sur la plante. Nous appuyant sur les éléments fournis par FLETCHER (1974) concernant la cinétique de croissance des bourgeons axillaires, une talle a été comptée comme présente à partir du moment où sa feuille s'était allongée d'au moins 10 mm. Les talles ont été identifiées selon leur position sur la plante (n° de la feuille axillante sur la talle mère). Cette identification a été faite même à maturité en distinguant les talles fertiles et non fertiles ; bien que délicate à une date aussi avancée, elle est fiable. Par contre, le nombre de talles compté à cette date sous estime le nombre total de talles qui ont été émises ; un certain nombre en effet, entrées en sénescence très tôt sont totalement décomposées. Ceci est bien visible sur la Fig. 65 présentée ci-après dans un certain nombre de cas on constate une décroissance du nombre de talles entre les dates 3-4 et la maturité.

Jusque mi-montaison, chaque talle a été caractérisée par son stade foliaire (nombre de feuilles visibles) ; à toutes les dates on a déterminé le poids moyen (date 1 - 1a - 2) ou individuel (mi-montaison - maturité) des talles des différents rangs. A maturité, la structure de l'épi a également été décrite individuellement (nombre d'épillets fertiles et stériles, donc nombre de grains), poids de grain, date de maturité (indice "j" ou "v").

1 - DYNAMIQUE DU TALLAGE

1.1. - Nombre moyen de talles/plante

L'évolution de cette caractéristique pour les différents traitements est décrite Fig. 65 a-b-c- on constate que :

- les différences de nombre de talles par plante ont essentiellement été créées pour les conditions de nutrition précoces. Pour la majorité des traitements en effet, le nombre de talles n'augmente plus au-delà de la date 2 sur l'essai GRI, la date 1 sur l'essai NOY.

A Grignon, les nombres de talles se classent dans l'ordre des doses croissantes du 1er apport ($\emptyset < A < B < C$), et à même dose d'azote, dans l'ordre $d2 < d1$. Ce classement est visible dès la date 1.

A Noyon, les différences aux dates 1 et 2 sont non significatives entre traitements $\emptyset - A - B - C$. Par rapport à ceux comptés à Grignon pour

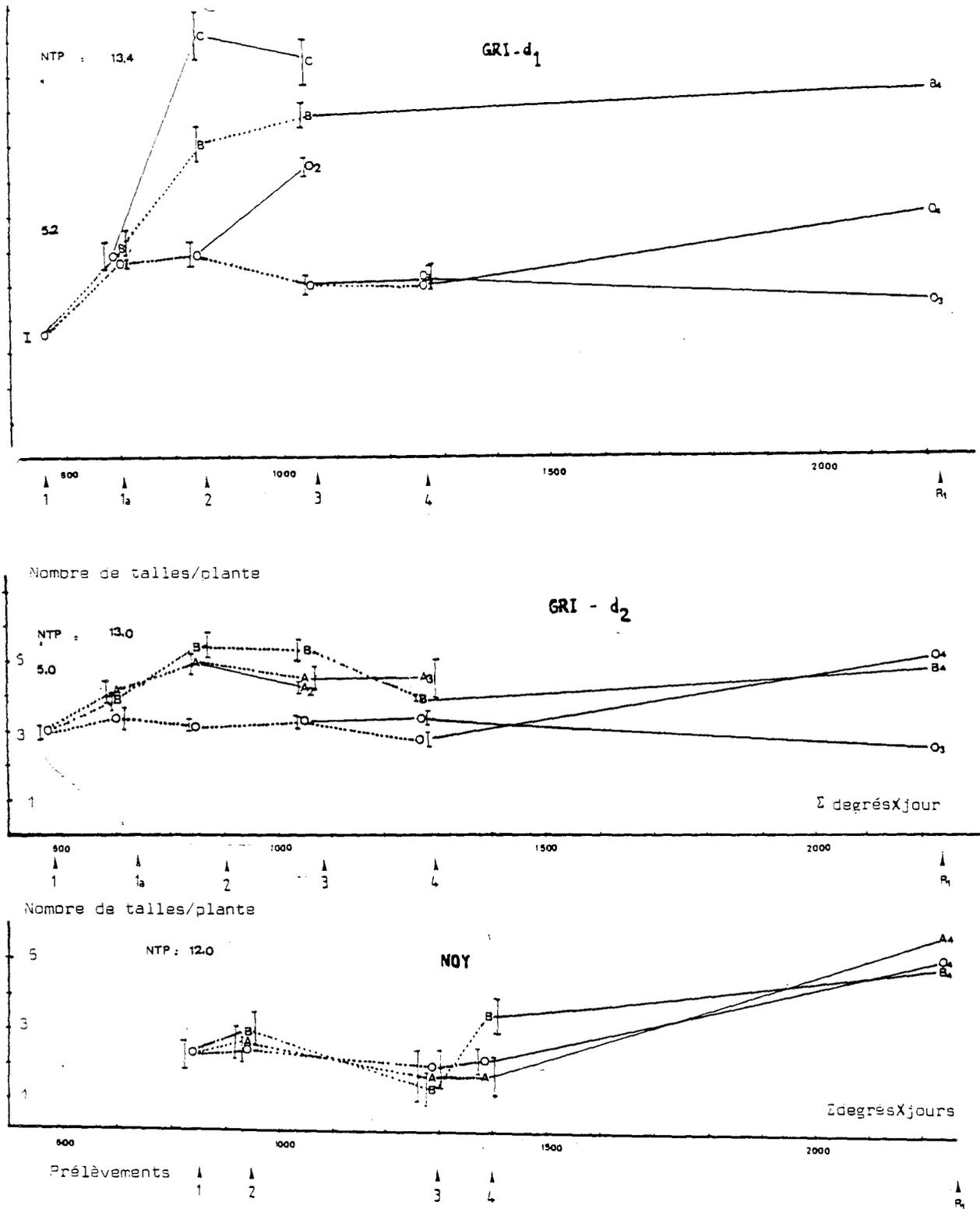


Fig. 65 - Evolution du nombre de tiges moyen par plante. Exemple de quelques traitements NTP = Nombre de tiges potentiel
 ... = le 2^e apport d'engrais n'a pas été fait.
 — = il a été fait ; I = intervalle de confiance au seuil de probabilité 5%

la même somme de température, les nombres de talles se classent de la manière suivante :

NT \approx NT de A ou B GRI d2
 \geq NT de Ø d2 ; \approx NT de Ø d1
 $<$ NT de C d2

Ces classements reproduisent donc ceux des disponibilités en azote et des dates d'installation d'une compétition pour l'azote ou la lumière qui ont été précédemment décrites. Sur l'essai NOY, l'absence totale de réponse du nombre de talles aux variations des doses d'engrais apportées à la date 1, confirme le diagnostic formulé à partir des biomasses et teneurs en azote : dès cette date, l'ensemble de la parcelle était le siège d'une compétition pour la lumière, qui affectait la totalité des plantes.

- Cependant, sur quelques traitements on observe une augmentation tardive du nombre de talles faisant suite à une phase de stagnation d'au moins 200 degrés x jour. Cette augmentation se produit dans tous les cas postérieurement à l'application du 2ème apport d'azote. On le constate sur les traitements : GRI-d2-04 ; d2A2; GRI d1-04 et 02; NOY 04 - A4 (1). Elle ne se manifeste donc pas en relation avec une date particulière d'application du 2ème apport ni pendant une phase particulière du cycle. Elle est donc, au moins pour partie, imputable aux changements de conditions de nutrition azotée provoqués par le 2ème apport.

Mais son existence et son importance apparaissent conditionnées par des paramètres dépendant du lieu et de la date à laquelle la réalimentation en azote a eu lieu. Elle est exceptionnelle pour les peuplements réalimentés en azote mi-montaison ; elle est la plus fréquente pour les peuplements réalimentés à l'épiaison. Il est remarquable que ces peuplements étaient à maturité constitués de 2 populations d'épis très distinctes.

La confrontation de ces évolutions du nombre de talles aux conditions de nutrition précédemment diagnostiquées (Cf. Fig.63) et à la bibliographie invite à formuler l'hypothèse de 2 périodes de tallage :

- une première, démarrant pour tous les traitements au stade 4 feuilles selon le modèle potentiel propre aux céréales à talles (Cf. p. 46) et se poursuivant conformément à ce modèle pendant une durée variable, indexée aux quantités de

(1) du fait de la disparition possible d'un certain nombre de talles, il n'est pas sûr que les autres peuplements ont été totalement indemnes de ce comportement.

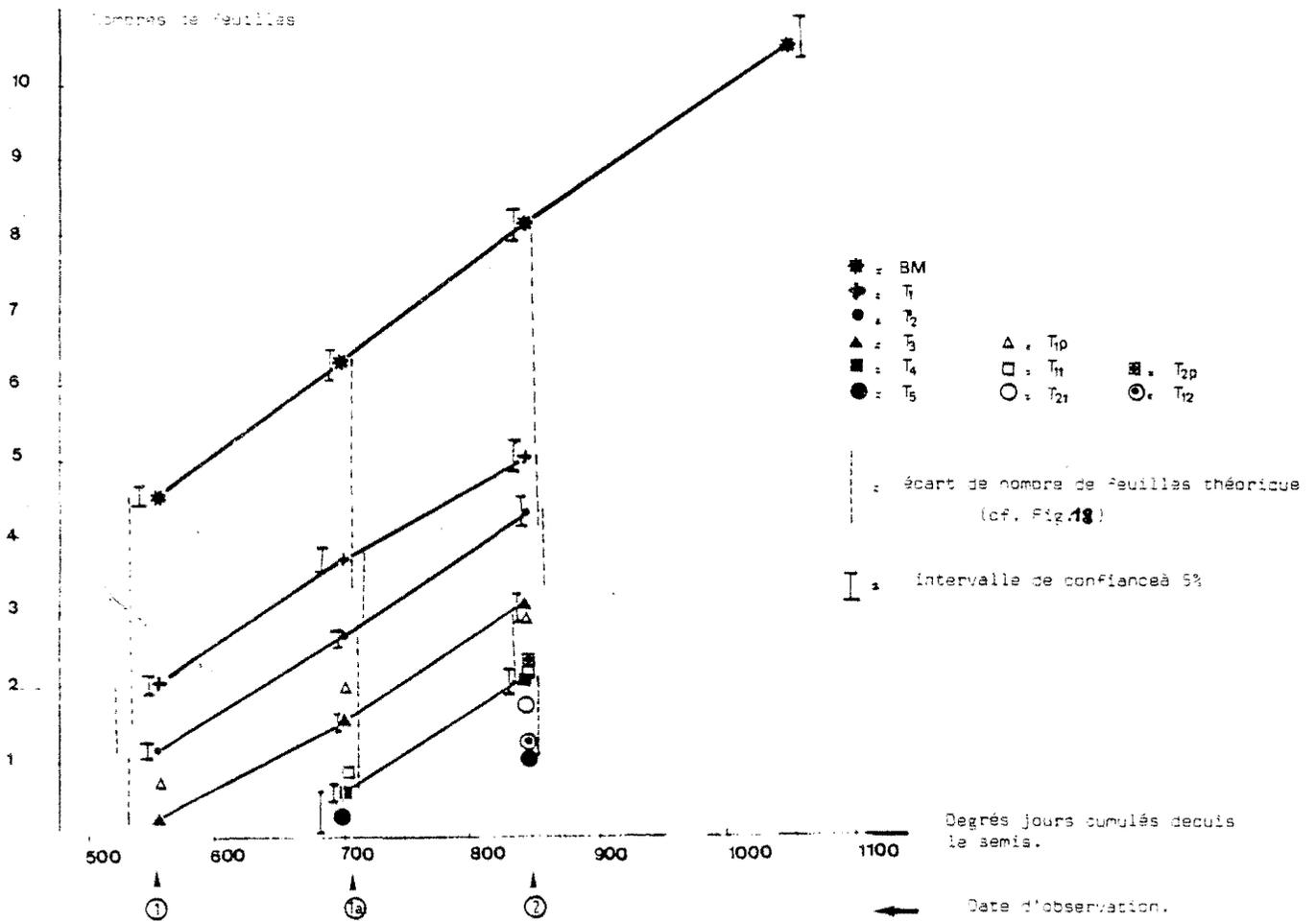


Fig. 66 - Nombre de feuilles moyen des différentes tiges en d_{1C} observé en absence de compétition.

nutriments (azotés ou carbonés) disponibles par plante. Les nombres de talles maxima au niveau du palier intermédiaire se classeraient donc dans l'ordre des dates d'apparition d'une limitation de la nutrition.

- Une deuxième se produisant après une interruption de plusieurs phyllochromes, en relation avec une réalimentation du milieu en azote. Le fait qu'elle ne soit pas systématiquement observée après cette réalimentation et que, au moins dans certains cas elle lui ait été très postérieure, suggère que la nutrition azotée n'est pas le seul facteur explicatif.

Les chapitres suivants visent à tester la validité de cette interprétation et à préciser les relations entre dynamique du tallage et modification des conditions de nutrition. Plus largement, il s'agit d'explicitier les relations entre la croissance en poids sec et le processus de ramification.

1.2. - Constitution de la population de talles : étude des séquences de talles présentes aux différentes dates

1.2.1. - Modèle de tallage potentiel :

On considère le traitement GRI - d1C qui est resté indemne de toute compétition pendant le plus long-temps, jusque peu avant la date 2. La Fig. 35 donne aux différentes dates de prélèvement, les nombres de feuilles des talles présentes pendant cette période. Les nombres de feuilles des talles primaires T1 à T3 évoluent selon un modèle linéaire en fonction des sommes de température, parallèle à celui suivi par le brin-maître (Cf. p. 113). Les phyllochromes sont respectivement 95 - 91 - 104 degrés x jours et de 93 d° jours pour le brin-maître. Les écarts de nombres de feuilles sont entre le brin-maître et sa talle primaire de rang le plus élevé (T1) proches de 3, entre talles primaires de rangs successifs proches de 1.

Ces comportements sont tout à fait conformes au modèle potentiel de tallage et d'évolution des stades foliaires décrits en absence de compétition sur blé ou orge (Cf. Fig. 18).

Pour les talles plus jeunes on n'a que 2 à 1 seule observation, mais qui sont également en bon accord avec ce modèle (Cf. par exemple à la date 2 : les écarts de nombres de feuilles : T1 - T11 = 2,89 ; T3 - T1P = 0,12 ; T4 - T11 = 0,29 ... etc). Cependant il semble que les talles secondaires deviennent visibles légèrement avant les talles primaires d'apparition synchrone d'après le modèle. CANNELL (1969) ou MASLE (1981), KLEPPER et al. (1982) sur blé, PIGEAIRE (1980) sur riz font la même constatation.

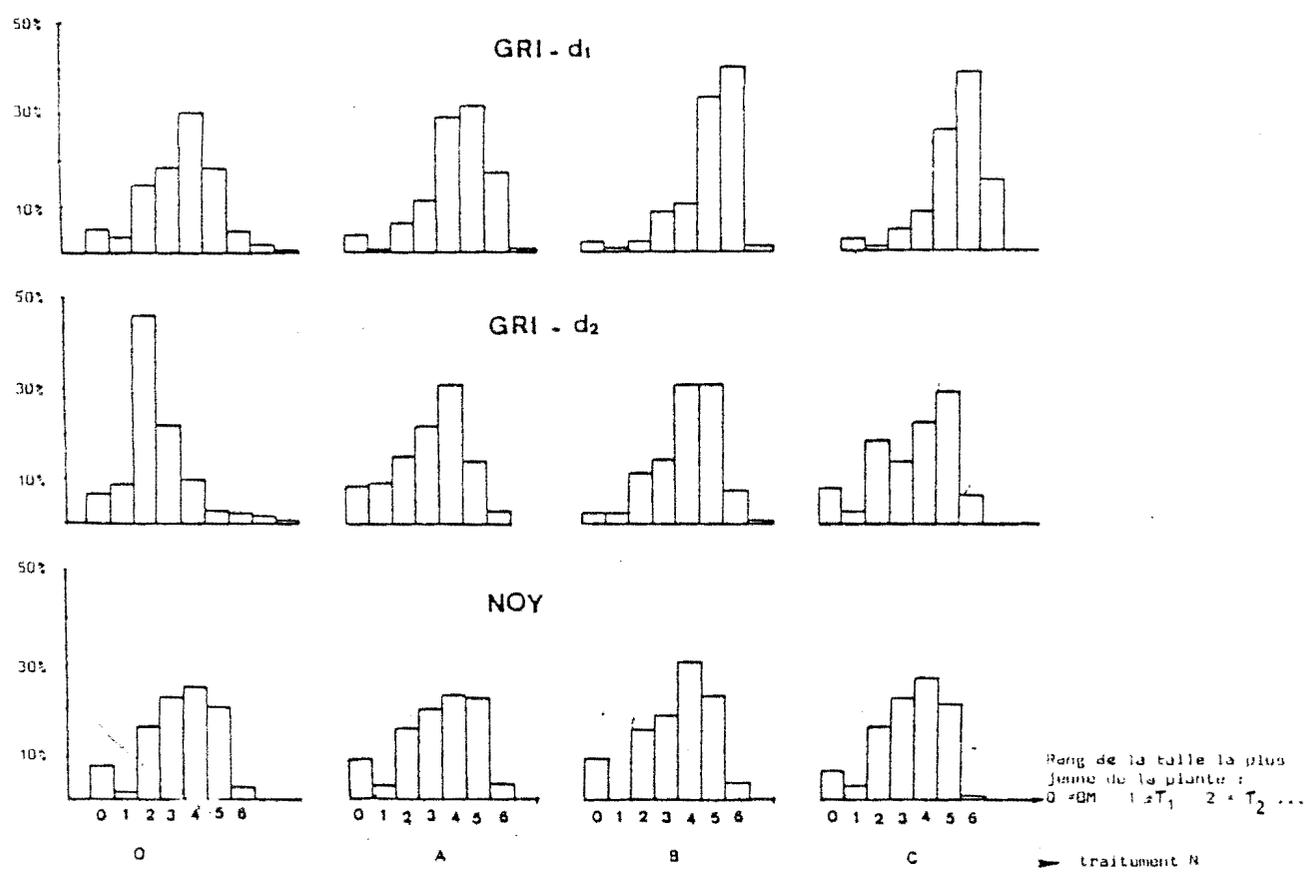


Fig. 67 - - Variabilité entre plantes des rangs des talles les plus jeunes.

NOY = date 2 ; GRI = date 3
 Traitement 0 ; A ; B et C .

Ces observations confirment l'identité du processus de tallage potentiel entre céréales à talles. Elles nous donnent un modèle de référence pour analyser les effets sur ce processus, des limitations de la nutrition créées par nos traitements.

1.2.2. - Relation entre démarrage des bourgeons axillaires et statut nutritif

1.2.2.1. - Influence de l'installation d'une compétition pour l'azote ou la lumière

On compare les séquences de talles observées sur les traitements Z - A - B - C et pour l'essai GRI, les 2 densités, jusqu'à la mi-montaison, date largement postérieure pour la plupart des traitements à l'apparition d'une limitation de la nutrition.

Compte-tenu du modèle de tallage décrit Fig. 18, le nombre de feuilles du brin-maître donne le nombre de talles potentiel (NTP) à la date de l'observation. On a porté ce nombre sur les Fig. 55 pour les dates 1 et 1a. Le nombre de talles réel (NTR) apparaît très inférieur à ce potentiel dès la date 1a à Grignon, voire 1 pour la densité la plus forte (d2). Sur cet essai l'infériorité apparaît donc alors que le nombre de talles continue à augmenter.

Dans le cas du blé, MASLE (1982) a montré que la phase pendant laquelle NTR moyen/plante décroche par rapport à NTP, tout en continuant à augmenter :

- a) - est concomitante de l'installation d'une compétition entre plantes
- b) - ne traduit pas une modification du phyllochron² mais,
- c) - résulte de l'étalement des dates d'arrêt du tallage relatives aux différentes plantes du peuplement et à la variabilité de leur stade foliaire à ce moment là : la compétition est d'abord locale puis se généralise progressivement à l'ensemble des plantes.

En l'absence d'un suivi non destructif, très régulier de la structure des plantes et, parallèlement, de leurs conditions de nutrition, on ne peut rigoureusement démontrer ici la validité d'une telle interprétation. Cependant, elle apparaît très plausible ; en effet :

- on a précédemment montré (Fig. 51) que le phyllochrome relatif au brin-maître était largement insensible aux variations de la nutrition azotée.

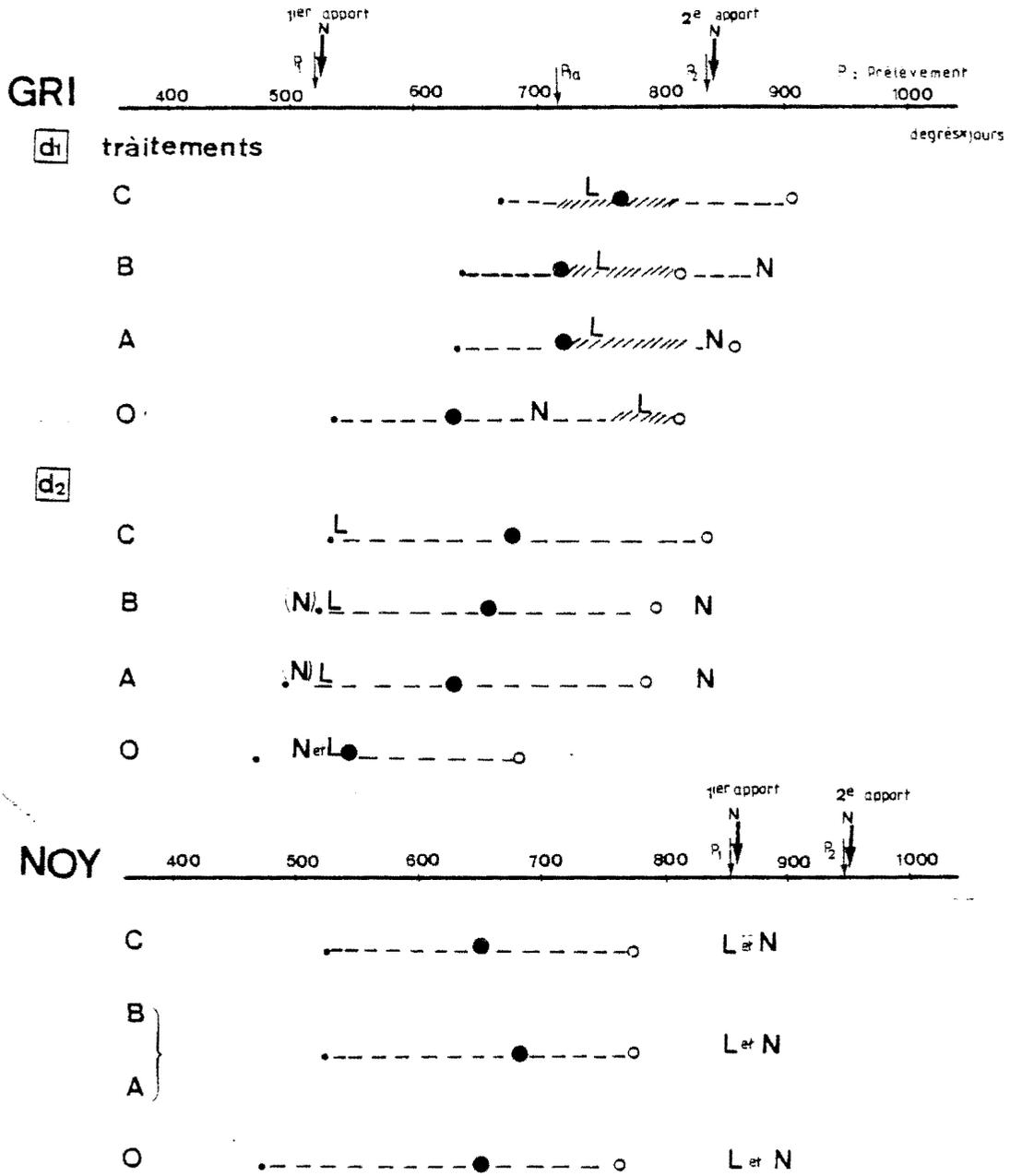


Fig. 6B - Dates d'arrêt du tallage pour les différents prélèvements : tallage arrêté pour :

● < 10% des plantes ; ● > 50% ; ○ > 95%

La position des sigles L ou N indique qu'une compétition pour la lumière (L) ou l'azote (N) s'est installée avant la date correspondante sur l'axe des temps, mais après la date de prélèvement précédente. (N) = compétition pour l'azote très temporaire. *hatched* : incertitude sur la position exacte de L

cette conclusion peut être étendue aux autres talles

- La Fig. 67 donne pour les différents traitements Ø - A - B - C, les rangs des talles les plus jeunes observées à la date 2 à Noyon, 3 à Grignon, sur un ensemble de plantes représentatives du peuplement. Ces talles ont été les dernières à être émises puisque au moment des dates considérées, les NTR étaient les mêmes qu'à la date de prélèvement précédente. On constate comme chez le blé une grande variabilité entre plantes dans la nature de ces talles. Pour ces mêmes plantes, on a observé le nombre de feuilles du brin-maître.

Extrapolons alors à l'orge les résultats précédemment résumés, obtenus sur le Blé :

- supposons que jusqu'à l'émission de la dernière talle, les talles successives sont apparues conformément au modèle potentiel constaté en d1C. On peut alors, pour chaque plante, dater sur un axe des temps gradué en degrés x jours, l'apparition de sa dernière talle. Les éléments nécessaires à cette datation et ses modalités tirés de MASLE (1982), sont données au verso.
- si l'on poursuit la transposition blé-orge, la date ainsi déterminée donne immédiatement celle à laquelle l'alimentation de la plante considérée est devenue limitante (Cf. ci-contre). La Fig. 68 donne la distribution de ces dates ainsi simulées pour les peuplements Ø - A - B - C, à partir des observations effectuées à la date 3 à Grignon, 2 à Noyon.

Les positions de ces distributions dans le temps s'avèrent cohérentes avec les classements des poids secs (et nombre de talles) observés entre les traitements aux mêmes périodes du cycle et avec les diagnostics de conditions de nutrition formulés pour chacun (Cf. Fig. 63) : sur l'essai GRI, - la 1ère date d'observation à laquelle on a mis en évidence l'existence d'une compétition - que l'objet en soit l'azote ou la lumière - se situe dans la période d'arrêts du tallage issue de la simulation ; les dates auxquelles on aboutit au diagnostic "absence de limitation de la nutrition", sont antérieures aux arrêts de tallage les plus précoces d'après la simulation (Fig. 68). Enfin, dans les 2 lieux, quand d'après la simulation toutes les plantes ont arrêté de taller on n'observe effectivement plus d'augmentation du nombre de talles (Fig. 68 et 65).

Ces résultats ne prouvent pas la concomittance des évènements : début d'une limitation de la nutrition - arrêt du tallage. Cependant, ils la rendent très plausible, que cette limitation soit due à une compétition pour l'azote ou pour la lumière.

	RESULTAT de L'OBSERVATION	RECONSTITUTION de la CHRONOLOGIE D'APPARITION DES FEUILLES et TALLES	DATE D'ARRET DU TALLAGE PAR RAPPORT : - au stade foliaire du prin- - maître, - au calendrier jour ou degrés x jour
NOMBRE DE FEUILLES du SRIN-MAÎTRE	7,6	1,1 2,1 3,1 4,1 5,1 6,1 7,1 8,1	entre 5,1 et 6,1
		T ₁ 0,1 1,1 2,2 3,1 4,1 5,1	
		T ₂ 0,1 1,1 2,1 3,1 4,1	
DERNIERES TALLES APPARUES	T ₃ ou T _{1P}	T ₃ T _{1P} 0,1 1,1 2,1 3,1	soit 1,5 à 2,5 Φ • avant la date d'observation
		T ₄ T _{1P} T _{2P}	

• Φ = phyllochrone (degrés x jour)

Datation de l'interruption du tallage herbacé et de l'intervention d'une première limitation de la nutrition (d'après MASLE, 1982)

L'étude des séquences talles présentes sur la plante semble donc constituer comme chez le blé un outil de diagnostic a posteriori des conditions de nutrition du peuplement : elles portent la marque de l'intervention d'une limitation en facteurs nutritifs dans le passé de la plante, et permettent la datation de son intervention.

1.2.2.2. - Influence d'un retour à des conditions d'alimentation azotée non limitante

x/2
On a vu que sur les traitements GRI-d2 Ø4 ou d2Ø2 - d1Ø4 - d1 Ø2 et NOY Ø4 - A4 - B4 il y avait eu reprise du tallage postérieurement à l'application du 2ème apport d'azote. La confrontation rang par rang des séquences des talles présentes au moment de l'apport puis aux dates suivantes révèle l'existence du même phénomène également en d2 Ø2 et d1 A2 - d1 B2 ainsi que sur d1 A4 - B4 ; d2 Ø4, d2 A4, d2 B4. Sur le nombre total de talles par plante, il était masqué du fait de la disparition d'un certain nombre de talles émises tôt.

Une reprise du tallage a donc eu lieu sur la totalité des peuplements réalimentés en azote au début épiaison et sur l'essai GRI au stade 1 cm ; elle ne s'est pas produite après une réalimentation mi-montaison sur aucun des 2 essais et pas non plus sur l'essai NOY après l'apport d'engrais fait au stade 1 cm.

a) - Nature des talles apparues consécutivement au 2ème apport d'engrais

La détermination des nombres de talles correspondant à cette reprise est parfois entachée d'une certaine erreur (Cf. p.147). Cependant, leurs ordres de grandeur autorisent à affirmer que :

- quand le 2ème apport a été effectué au stade 1 cm, la reprise a été très limitée ; ont démarré quelques bourgeons T6 en d1, T5 en d2 (exemples de d1, Fig. 69).
- quand le 2ème apport est intervenu début épiaison, la reprise du tallage a été beaucoup plus importante et même à Grignon, spectaculaire (Fig. 69). Ont alors démarré principalement des bourgeons axillaires primaires, T5 - T6 - T7 surtout sur la plupart des traitements mais aussi T3 - T4 ou T8 en d2Ø4.

La Fig. 70 donne les dates théoriques d'apparition de ces différentes talles qu'on peut déduire du modèle potentiel de tallage et de la valeur du phyllochrome observée pour chaque densité x site(1).

(1) ces dates sont tout à fait cohérentes avec les nombres de feuilles que présentaient alors ces talles sur le traitement C. Cette observation valide l'extrapolation du modèle potentiel de tallage au-delà de la période sur laquelle nous en avons montré la réalité (Cf. Fig. 67) c'est-à-dire au moins jusqu'au stade 8,1 feuilles du brin-maitre.

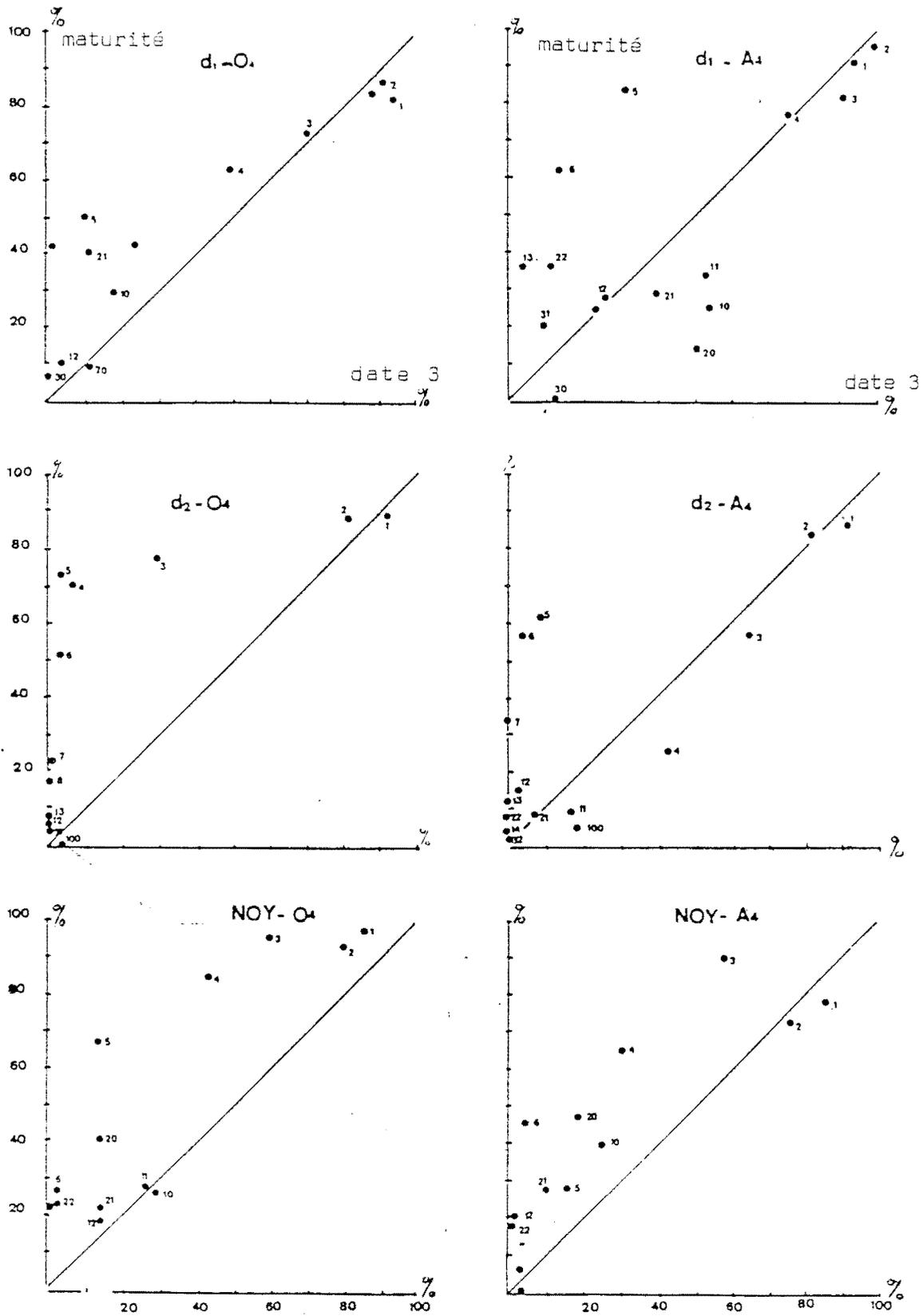


Fig. 69 - Comparaison des nombres de talles des différents rangs et ordres à la date 3 et maturité.

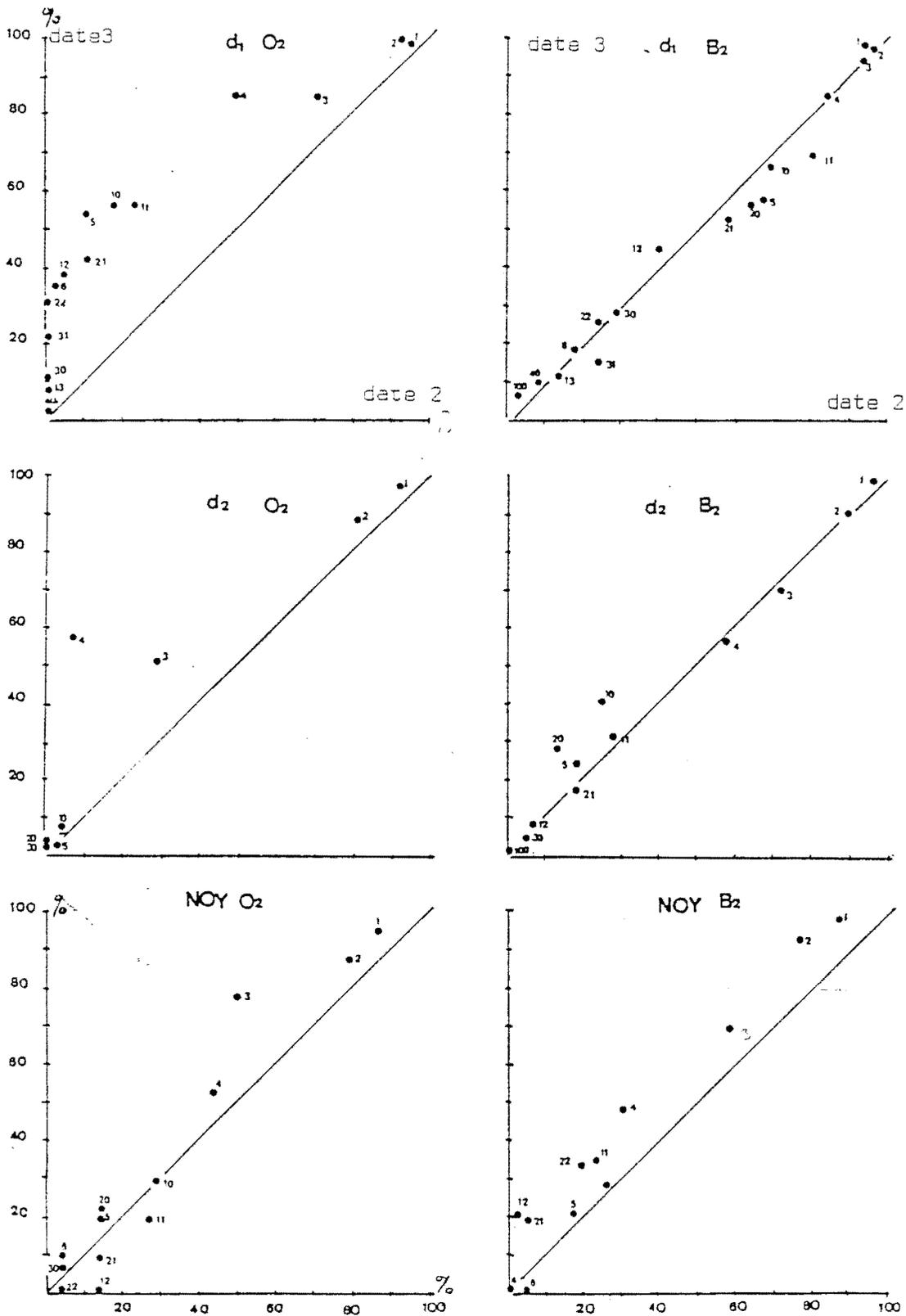


Fig. 69 - Comparaison des nombres de tiges des différents rangs et ordre entre les dates 2 et 3 (axe = fréquence exprimée en %)

0 = BM ; 1 = T_1 ; 2 = T_2
 10 = T_{1p} ; 11 = T_{11}

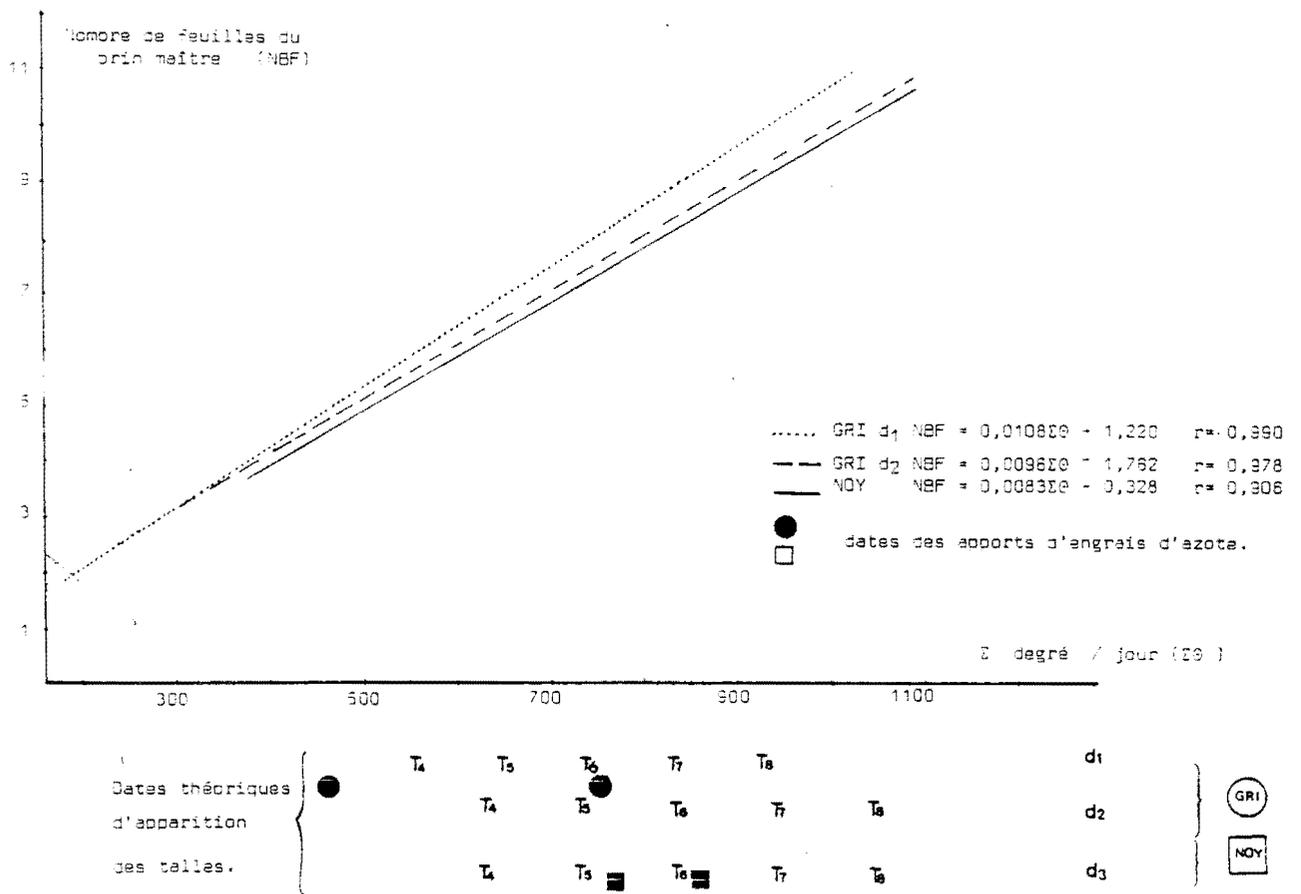


Fig.70 - Dates théoriques d'apparition des tiges sur les trois essais en absence de limitation de la nutrition (dates déduites du modèle de tallage potentiel (cf Fig.18) et des régressions NBF = aT-b dont les équations sont données ci dessus.

La position de ces dates par rapport à celles du 2ème apport d'azote montre que :

- les talles apparues sur les traitements $\emptyset 2$ - A2 - B2 consécutivement au 2è apport d'engrais, correspondent à des bourgeons axillaires qui, au moment où cet apport a été effectué étaient sur le point de démarrer ou auraient dû le faire peu de temps auparavant (1 phyllochrome au plus).

Les observations effectuées à la date 3 montrent l'existence sur les traitements $\emptyset 2$ - A2 - B2 des 2 densités de plantes présentant des séquences de talles discontinues, caractérisées par l'absence de l'une des 3 talles T3 - T4 - T5 alors que les talles du rang supérieur sont présentes. Ces "sauts" de talles n'existent pas sur les traitements $\emptyset 3$ - A3 - B3.

L'apport d'engrais effectué à la date 2 semble donc avoir provoqué, d'une part, la reprise du tallage d'un certain nombre de plantes, après une période d'interruption de 1 à 3 phyllochromes d'autre part, la prolongation de la période de tallage d'un certain nombre d'autres (en d1 A, d2 B en particulier).

- sur les traitements $\emptyset 4$ - A4 - B4, le tallage a repris, après une interruption d'au moins 3 phyllochromes. Mais contrairement à ce qu'on a constaté pour les peuplements précédents, les talles de cette "2ème génération" sont quasi exclusivement issues de bourgeons axillaires dont le démarrage était potentiellement possible depuis 300 à 500 degrés x jours avant l'apport. Aucune talle ne provient de bourgeons plus jeunes, des 2 rangs supérieurs à T8. L'organogénèse de la plante n'a pas été observée mais plusieurs indications bibliographiques autorisent à penser que ces bourgeons de rangs très élevés qui seraient situés à des noeuds aériens, n'ont probablement pas été initiés (VINCENT, 1982, entre autres).

Les modalités des phénomènes de reprise du tallage rapportées dans la littérature sur orge ou blé, n'ont pas été étudiées par les auteurs. PIGEIRE (1980) sur riz constate un comportement analogue à celui observé sur nos traitements $\emptyset 2$ - A2 - B2 : les "nouvelles" talles sont issues de bourgeons axillaires qui d'après le modèle de tallage potentiel étaient sur le point de commencer à s'allonger au moment où les conditions (d'éclairement dans le cas de son expérience) sont redevenues non limitantes.

Cet ensemble de résultats suggèrent que les assimilats sont prioritairement affectés aux méristèmes (bourgeons initiés) les plus jeunes. Mais le comportement mis en évidence sur les traitements $\emptyset 4$ - A4 - B4, montre que la viabilité d'un bourgeon axillaire serait relativement durable, de l'ordre semble-t-il d'au moins 3 phyllochromes.

b) - Conditions de l'efficacité du 2ème apport d'engrais sur le tallage (Fig. 53)

Les peuplements pour lesquels la réalimentation du milieu en azote a été suivie de démarrages de bourgeons axillaires en nombre non négligeable (\emptyset^4 - A4 - B4) sont ceux qui, au moment où elle a eu lieu étaient fortement carencés en azote et indemnes d'une compétition pour la lumière importante. Une observation visuelle de ces peuplements au moment du 2è apport d'engrais (date 4) montrait qu'une proportion importante du rayonnement incident arrivait au niveau du sol (Cf. les faibles biomasses/m² et la sénescence très avancée de toutes les feuilles âgées).

Les peuplements pour lesquels le changement de régime azoté a été sans effet sur le tallage ou a eu un effet très limité, sont ceux qui étaient alors le siège d'une compétition pour la lumière intense (\emptyset^2 - A2 - B2 à NOY ; 03 - A3 - B3 sur les 3 densités x lieu).

- Une production de nouvelles talles n'a donc eu lieu que si, la compétition pour l'azote étant levée, le peuplement a été placé en conditions de nutrition non limitantes par rapport aux autres facteurs. Ceci est tout à fait cohérent avec les relations précédemment commentées entre arrêt du tallage et instauration des relations de compétition pour l'azote ou la lumière. Une telle condition à la reprise du tallage peut rendre compte des différences de comportement déjà évoquées, observées par THORNE concernant l'effet d'apports azotés tardifs, selon qu'ils sont effectués sur des plantes en pots, espacées, ou en peuplements plus denses.

L'effet très limité du 2è apport d'engrais appliqué au stade 1 cm indiquerait que la compétition pour la lumière, encore locale puisque toutes les plantes n'avaient pas arrêté de taller, s'est généralisée à l'ensemble des plantes du peuplement très rapidement après cette date provoquant un arrêt du tallage définitif.

1.3. - Conclusion partielle * *

Les lois qui gouvernent le processus de tallage apparaissent ainsi très comparables entre orge, blé, riz :

- même chronologie d'apparition des talles, même synchronisme entre cette chronologie et celle de l'apparition des feuilles, ceci en absence de compétition.
- Lorsqu'une compétition intervient, ici pour l'azote ou la lumière : il y a rupture de ce synchronisme, le rythme d'apparition des feuilles restant inchangé, alors que les bourgeons axillaires en instance de s'allonger ne s'allongent pas. Dans le cas des 3 céréales, l'arrêt du tallage

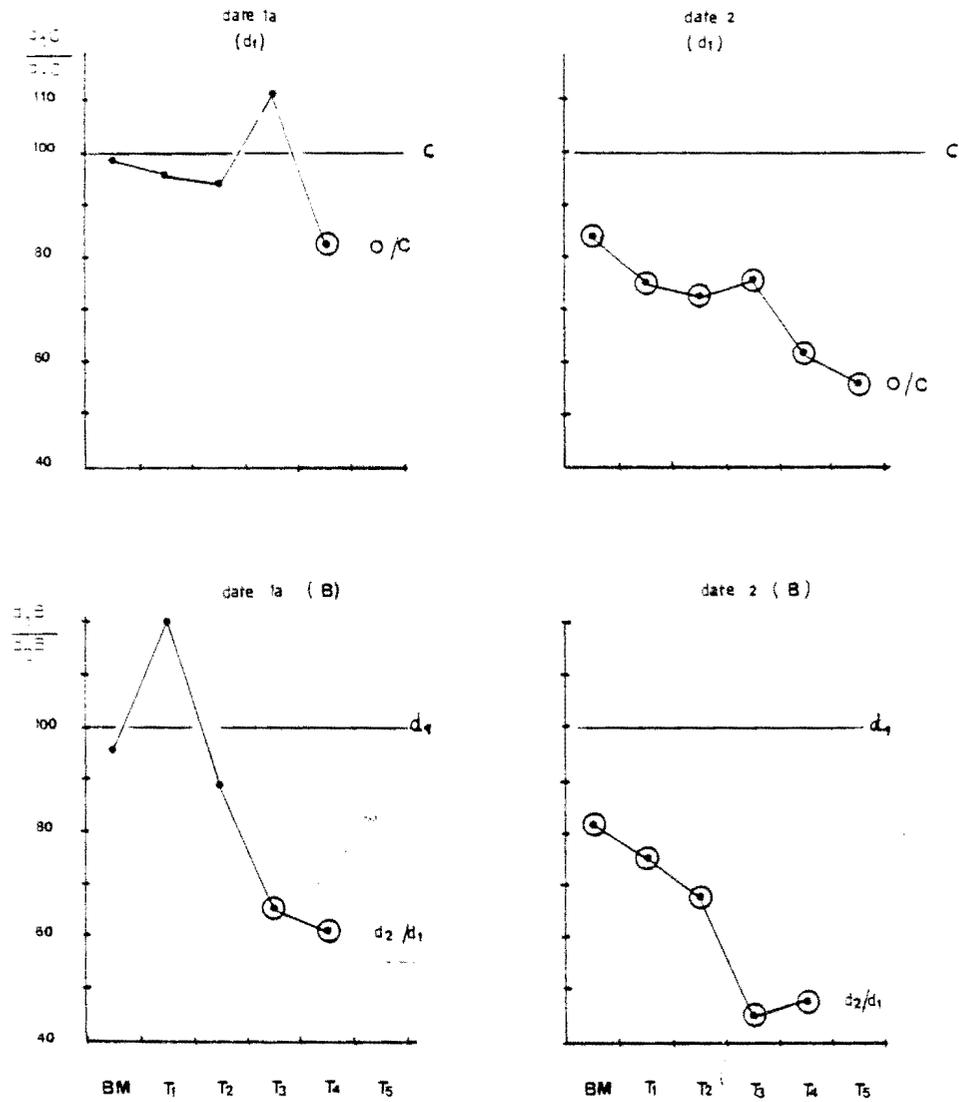


Fig.71- Influence des conditions de nutrition sur la croissance en poids sec des tiges des différents rangs : comparaison de 2 traitements à 2 dates successives de prélèvements.

a)- $\frac{d_1 C}{d_1 C}$ comparé à $\frac{d_1 C}{d_1 C}$ mis en indice 100 pour chaque taille : illustration des effets d'une limitation azotée.

b)- $\frac{d_2 B}{d_1 B}$ comparé à $\frac{d_1 B}{d_1 B}$ mis en indice 100 pour chaque taille : illustration des effets d'une compétition pour la lumière.

⊙ différences significatives

a une origine nutritionnelle, sauf probablement en fin de cycle, pendant la phase de maturation du grain - cas de nos traitements 04 - A4 - B4, par exemple -, où le déterminisme en est vraisemblablement plus complexe, lié au processus de sénescence de l'appareil végétatif (Cf. les observations d'ASPINAL, 1961).

L'azote de 2^e apport d'engrais a été utilisé de manière différente selon les traitements : apporté mi-montaison, il a été utilisé exclusivement à la croissance des talles pré-existantes ; apporté à l'épiaison, il a été utilisé, également⁽¹⁾, à celle de nouvelles talles.

2 - REPARTITION DE LA MATIERE SECHE ENTRE LES DIFFERENTES TALLES

2.1. - Analyse de la croissance avant application du 2^eme apport d'engrais

Les différentes talles ont à tout moment des poids de matière sèche différents, classés dans l'ordre de leurs dates d'apparition (Fig. 71 et ANNEXE 9 - 5)

Entre traitements, ces poids se différencient en même temps que ceux de la plante entière pour les talles les plus jeunes, un peu plus tard pour les talles plus âgées, brin-maître en particulier. La Fig. 73 le montre sur quelques exemples : à la date 1a, les brins-maîtres ont encore des poids secs égaux alors que les talles sont significativement plus lourdes en d1 qu' en d2 ; ou bien l'infériorité des poids secs de la plante en d1 \emptyset comparée à d1 B est à la date 1a, due uniquement aux talles T3 - T4 ; à la date suivante elle est due à toutes les talles.

L'amplitude de la réduction de croissance des talles sous l'effet de la compétition augmente également en fonction de leur rang. Cette interaction entre rang et conditions de nutrition est bien visible sur la Fig. 71.

L'ensemble de ces comportements sont conformes à ceux décrits par différents auteurs sur d'autres graminées à talles (DARWINKEL, 1978 ; MASLE, 1981 sur blé ; YU et al. 1982 sur dactyle, PIGEAIRE, 1980 sur riz ; SAUT 1981 sur ray-gras. Quand la quantité de nutriments (N, HC) est insuffisante pour la croissance totale de la plante, elle est d'abord utilisée pour la croissance des talles les plus âgées.

(1) début épiaison les talles de la 1^{ère} génération n'ont en effet pas atteint leur poids maximum (Cf. les courbes de croissance décrites par JONARD (1964) par exemple).

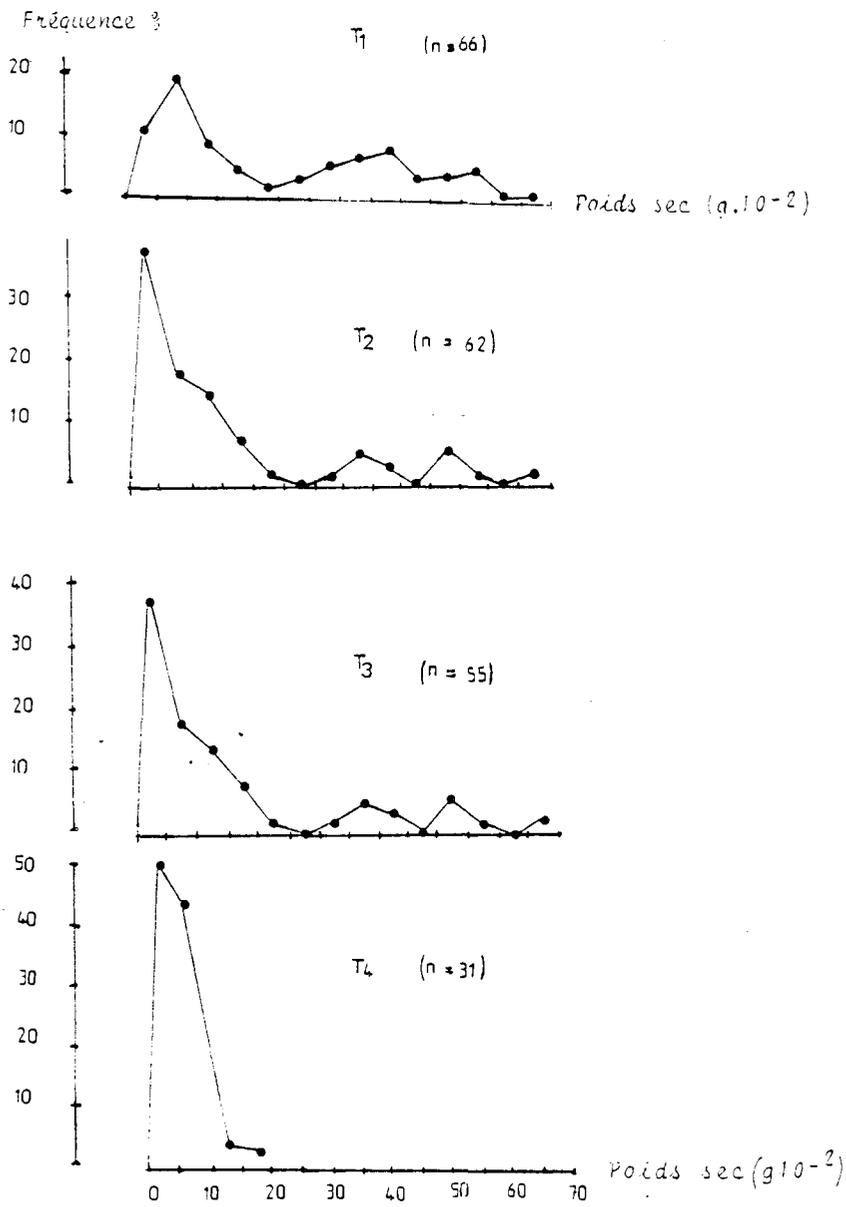


Fig. 72- Distribution des poids secs des 4 premières tiges primaires à la date 3 (NOV - 0)

MASLE (1981) sur blé montre qu'après une courte phase de réduction, la vitesse de croissance des talles les plus jeunes s'annule et que, à l'échelle de la population de talles, ceci se traduit par une déformation des distributions des poids secs individuels. D'unimodales, ces distributions deviennent progressivement bimodales : la population de tête correspond à des talles qui produisent un épi ; la population de queue dont les poids secs stagnent, à des talles qui entament un processus de sénescence. Cette dernière population se crée d'autant plus tôt et est d'autant plus importante que le groupe de talles considérée est jeune et la quantité de nutriments (N ; HC) disponible par plante, faible. Dans les expériences rapportées par MASLE, où la compétition par l'azote ou la lumière n'est pas levée avant la floraison, les talles de cette 2^e population ne produisent pas d'épi.

Dans le but de tester l'extrapolation à l'orge de ces manifestations de la compétition, nous avons procédé à une mesure des poids secs individuels des talles à la date 3, date postérieure à l'installation d'une compétition, pour tous les traitements.

La Fig. 72 donne un exemple des distributions de ces poids obtenues sur l'essai NOY, pour les 4 premières talles primaires.

- On constate pour toutes les talles une variabilité importante des poids secs ; elle est très supérieure à celle enregistrée jusque-là si l'on en juge par l'augmentation depuis la date 2 des coefficients de variation relatif aux nombres de feuilles - critère très lié au poids sec, sur lequel on dispose de mesures individuelles à toutes les dates antérieures .
- Pour certaines talles, cette variabilité recouvre manifestement l'existence de 2 populations d'individus dont les variations selon le rang et les conditions de nutrition, sont tout à fait comparables à celles décrites chez le blé :
La Fig. 73 donne pour les différents rangs, les bornes de poids (MS seuil = m), retenues pour la délimitation de ces 2 populations, et leurs caractéristiques : lorsqu'on passe de T1 à T3, l'importance de la population de queue augmente et les modes des 2 populations sont déplacés vers des classes de poids plus faibles. A Grignon, il en est de même lorsqu'on passe de d1 à d2 ou de B à Ø ; à Noyon par contre, les distributions correspondant aux 3 doses du 1^{er} apport d'azote ne sont pas significativement différentes. Ceci est tout à fait en accord avec les conditions de nutrition diagnostiquées sur les 2 essais (nature de l'objet de compétition, date d'intervention, et intensité de cette compétition à la date 3 - Cf. Fig. 63 et p.14
- Pour les talles les plus jeunes (T4, T5, T6 et talles secondaires de même date d'apparition), les poids sont moins variables (distribution unimodale, ou à dissymétrie

TRAI- TEMENT	ESSAI TALLE	GRIGNON - d1					GRIGNON - d2					NOYON								
		BM	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	BM	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	BM	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	
X	^m seuil	/	0,200	0,250	0,250	0,300	/	/	0,250	0,250	0,250	/	/	/	0,300	0,300	0,300	0,300	/	/
	f _r	/	94	96	100	100	100	/	100	100	100	100	100	/	44	56	85	/	/	
	\overline{MS}_R	/	0,0187	0,0701	0,0449	0,0256	0,0087	/	0,0525	0,0435	0,0220	0,0040	/	/	0,104	0,0866	0,0902	0,0643	0,0381	
	\overline{MS}_M	0,342	0,254	/	/	/	/	0,2945	/	/	/	/	/	0,552	0,454	0,493	0,363	0,327	/	
	\overline{MS}_2	0,115	0,0813	0,0675	0,0418	0,0230	0,0085	0,0894	0,0509	0,0375	0,0228	0,0096	0,0025	0,1269	0,0762	0,0702	0,0524	0,0379	0,0307	
A	f _r	/	55	90	99	100	100	/	90	92	98	100	100	/	52	66	86	/	/	
	\overline{MS}_R	/	0,094	0,0992	0,0573	0,0334	0,0188	/	0,0748	0,0761	0,0366	0,0257	0,0095	/	0,2082	0,1037	0,0812	0,0869	0,0465	
	\overline{MS}_M	0,439	0,439	0,302	0,311	0,318	/	0,424	0,384	0,290	/	/	/	0,638	0,525	0,518	0,454	/	/	
	\overline{MS}_2	0,123	0,0874	0,0695	0,0392	0,0223	0,0093	0,116	0,0827	0,0592	0,0370	0,0161	0,0083	0,133	0,0861	0,0741	0,0560	0,0461	0,0293	
	f _r	/	22	51	85	97	100	/	69	84	100	100	100	/	0,591	0,726	0,800	/	/	
B	\overline{MS}_R	/	0,109	0,129	0,142	0,0827	0,0318	/	0,0963	0,105	0,0567	0,0280	0,0136	/	0,0924	0,100	0,118	0,0589	0,0475	
	\overline{MS}_M	0,579	0,427	0,423	0,353	/	/	0,576	0,448	0,426	/	/	/	0,665	0,572	0,553	0,485	/	/	
	\overline{MS}_2	0,144	0,108	0,0883	0,0520	0,0323	0,0111	0,117	0,0807	0,0602	0,0234	0,0155	0,0065	0,133	0,0953	0,0754	0,0601	0,0430	0,0245	

à la date 3 $\left\{ \begin{array}{l} f_r = \text{fréquence d'appartenance à la population de queue" (Cf. texte p.} \\ \overline{MS}_R = \text{poids sec moyen des talles de la population de queue} \\ \overline{MS}_M = \text{poids sec moyen des talles de la population de tête} \end{array} \right.$

à la date 2 $\overline{MS}_2 = \text{poids sec moyen à la date 2 (} \approx \text{stade B}_{II} \text{)}$

Fig. 73 Caractéristiques des talles à la date 3 ; pour chaque rang ; fréquence relative des talles de la population de queue f_r (Cf. texte) et poids sec moyen de ces talles \overline{MS}_R comparé à celui des talles de la population de tête (\overline{MS}_M) et à celui mesuré à la date de prélèvement précédente (\overline{MS}_2)

droite). Mais ils s'avèrent comparables (essai NOY - et GRI Ø1), ou peu supérieurs (GRI A et B), à ceux mesurés à la date de prélèvement précédente antérieure de 22 à 48 jours pour GRI et NOY. La même constatation s'applique pour les rangs supérieurs, aux talles qui constituent les populations de queue (Cf. FIG. 72)

Ces observations mettent en évidence pour tous les traitements la coexistence de 2 types d'évolution au sein de la population de talles, depuis un certain temps avant la mi-montaison (date 3) :

- pour certaines talles : maintien d'un taux de croissance positif, en poids sec ou hauteur ;
- pour d'autres : annulation du taux de croissance. Ce 2ème type de comportement concerne la totalité des talles T4 et plus jeunes, mais une fraction seulement des talles T1 à T3, variable selon le traitement.

Pour GRI Ø et NOY Ø, A et B, cette annulation de croissance a eu lieu aux environs du stade 1 cm peu après ; sur les autres traitements (GRI A et B), elle a eu lieu un peu plus tard, surtout en d1 mais bien avant la date 3 (Cf. Fig. 73 comparaison de MS_r et MS₂). A cette date, la plupart des talles T4 et T5 ou, pour les rangs inférieurs les talles de la population de queue, étaient jaunissantes.

D'après les observations de MASLE sur blé, on peut penser que de la date 3 à l'épiaison, le milieu n'étant pas réalimenté en azote, l'écart entre les 2 populations de talles s'est accentué, et que la sénescence de la population de queue s'est poursuivie. Les dénombrements séparés des talles qui, à la date 4, avaient franchi le stade "gonflement" ou au contraire dont l'épi n'était pas perceptible, le confirment, ainsi que les notations de couleur effectuées sur la parcelle.

Conclusion partielle

L'ensemble de ces observations fournit des éléments supplémentaires concourant à la conclusion d'une homologie des relations entre morphogénèse et nutrition entre orge et blé, et semble-t-il plus largement entre orge et graminées à talles. Une limitation de la nutrition azotée en particulier, entraîne :

- a) - l'arrêt du tallage ;
- b) - une diminution de la vitesse de croissance de la plante, liée à cet arrêt du tallage et à une réduction de la vitesse de croissance des talles, des plus jeunes d'abord, puis de toutes ;
- c) - l'annulation de la croissance d'un certain nombre des talles, les autres continuant à croître à une vitesse dépendante de leur rang.

TRAITEMENTS																								
	02			A2			03			A3			B3			04			A4			B4		
	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM
11 j	00	98	/	75	99	/	53	97	6	87	93	45	80	95	78	20	97	6	34	93	45	57	95	78
v	0			0			20			0			7			0			0			0		
12 j	06	99	/	100	98	/	20	94	4	40	92	50	60	97	49	21	94	4	14	92	18	26	97	49
v	0			0			53			33			7			0			0			0		
13 j	60	84	/	100	92	/	20	71	0	14	87	1	20	88	10	9	71	0	2	87	1,3	15	88	10
v	0			0			27			33			7			5			0			0		
14 j	28	85	/	25	80	/	7	48	0	0	79	0	0	84	5	0	48	0	0	79	0	0	84	5
v	0			0			20			20			7			18			3,6			4,4		
111 j	12	56	/	0	68	/										0	24	0	0	53	0	0	67	0
v	0			0												36			0			15		
12p j	2	38	/	0	53	/										0	10	0	0	5	0	0	64	0
v	0			0												7			0			0		
15 j	4	54	/	0	59	/										0	8	0	0	32	0	0	66	0
v	0			0												45			16			17		
112 j	0	38	/	0	41	/										0	4	0	0	26	0	0	39	0
v	0			0												9			5			44		
121 j	6	42	/	0	57	/										0	12	0	0	39	0	0	58	0
v	0			0												32			4			22		
13p j	0	11	/	0	22	/										0	0	0	0	12	0	0	28	0
v	0			0												5			0			2		
16 j	0	35	/	0	27	/										0	2	0	0	3	0	0	18	0
v	0			0												39			27			33		
113 j	0	7	/	0	11	/										0	0	0	0	4	0	0	13	0
v	0			0												0			25			15		
122 j	0	31	/	0	28	/										0	0	0	0	12	0	0	27	0
v	0			0												1			18			33		
131 j	0	22	/	0	23	/										0	0	0	0	8	0	0	22	0
v	0			0												29			7			28		
17 j	0	4	/	0	6	/										0	0	0	0	0	0	0	6	0
v	0			0												5			32			17		
114 j	0	0	/	0	2	/										0	0	0	0	0	0	0	0	0
v	0			0												0			20			9		
123 j	0	0	/	0	5	/										0	0	0	0	0	0	0	0	0
v	0			0												0			27			4		
132 j	0	0	/	0	6	/										0	0	0	0	0	0	0	0	0
v	0			0												0			5			2		

(1) "j" = épis "jaunes" de maturité la plus précoce (Cf. texte p. ...)
 "v" = verdillons, de maturité plus tardive de 10 à 15 jours par rapport aux épis jaunes.

Fig. 74 - Fréquences NE, NT, NM pour GRI d1, exprimées en % (100 = le nombre de brins-mâtres) -
 définition de NE, NT, NM : Cf. texte p. ... §GRI d2 et NOY : Cf. ANNEXE

Par ailleurs, on met en évidence que, selon la date à laquelle il a été effectué, le 2ème apport d'engrais - c'est-à-dire la suppression de la limitation azotée - est intervenu sur des peuplements de structure très différentes : à la date 3 et a fortiori 4, les peuplements Ø, A, et B étaient sur les 2 essais, constitués d'un certain nombre de talles ayant stoppé leur croissance et en sénescence ; par contre, au début de la montaison (date 2), la plupart de leurs talles avaient un taux de croissance encore positif.

2.2. - Conséquences de la structure du peuplement au moment du 2ème apport d'azote sur sa structure finale

2.2.1. - Nature des talles fertiles

Pour chaque talle, identifiée par son ordre et son rang sur la talle-mère, on a déterminé :

- la fréquence d'existence (NT) avant reprise du tallage,
- la fréquence d'appartenance à la population de talles qui avaient un taux de croissance encore positif au moment du 2ème apport d'azote (= NM) ;
à la date 2 : $NM = 100 \%$; aux dates 3 et 4 :
 $NM = 1 - fr(1)$,
- la fréquence de production d'un épi fertile (= NE).

La Fig. 74 donne les résultats obtenus pour la densité d1 de l'essai GRI. Leur équivalent pour GRI d2 et NOY sont reportés en ANNEXE 10 - 2.

La date du 2ème apport d'engrais a eu un effet considérable sur la constitution de la population des talles fertiles :

- Lorsque le 2ème apport a été effectué au stade 1 cm, les épis ont eu une maturité bien groupée, puisque leurs grains ont tous été notés en même temps (population épis "jaunes" = 100 %, début juillet (Cf. p. (Cf. p. 97) Ils sont issus de la montée de talles T1, T2 et T3 voire T4, avec une fréquence de plus en plus faible lorsqu'on passe de T1 à T4. La bibliographie laissait attendre un tel résultat : une talle est d'autant plus fréquemment fertile qu'elle est de rang faible donc agée (THORNE, 1962 ; DARWINKEL, 1978 MASLE, 1981 , POWER, et ALESSI 1982).
- Quand le 2ème apport a été appliqué mi-montaison, la comparaison des variables NE - NM - NT montre que
 - à Grignon, un certain nombre d'épis proviennent de talles qui, au moment de l'apport avaient

(1) Cf. définition dans figure 73

interrompu leur croissance ($NE > NM$; $NT \approx 100\%$). Ceci est indubitable sur les traitements \emptyset . Il semblerait que la proportion de ces talles est plus importante quand la dose du 1er apport augmente (Cf. Fig. 74). Cette "reprise de croissance" d'un certain nombre de talles a permis que les nombres d'épis/plante soient très comparables à ceux obtenus avec le 2ème apport le plus précoce (Cf. p. 101-103 et Fig. 46)

- à Noyon, au contraire, un 2ème apport mi-montaison n'a pas permis une telle reprise de croissance : NE et NM sont comparables, quel que soit le rang de talle considéré, inférieur à NE obtenu avec un 2ème apport au stade 1 cm.

. Lorsque le 2ème apport a été effectué début épiaison, on constate que :

- a) - les épis "jaunes", de maturité la plus précoce (Cf. p.97) Correspondent... exclusivement, outre aux brins-maîtres, à des talles de rang T1 - T2 et T3, rarement T4, en proportions décroissantes de T1 à T3, nettement inférieures à celles observées sur les traitements $\emptyset 2$ - A2 - B2. L'essentiel de ces talles étaient encore en croissance au moment de la réalimentation du peuplement en azote ($NE \ll NM$), sauf manifestation en d1 $\emptyset 4$ et d2 $\emptyset 4$ où il y a eu reprise de croissance de talles T1, T2, voire T3.

- b) - les épis notés "verdillons" à maturité proviennent quasi exclusivement de bourgeons axillaires des rangs supérieurs :

- . Pour les verdillons des rangs les plus élevés, il s'agit sans aucun doute des bourgeons dont le démarrage a eu lieu après le 2è apport (cas où $NT = 0$ = talles T7 et d'apparitions théoriquement synchrones : T14 - T23 - T32 ; et aussi T13 - T22 - T31 en d2 et d1 \emptyset ; T11 - T2p - T21 en d2 $\emptyset 4$).

- . Un certain nombre de verdillons de rang plus faible, pour lesquels $NT \neq 0$ peuvent correspondre, au moins pour une part, à des talles qui étaient en cours de sénescence au moment du 2è apport : cas de verdillons T5 - T6 en GRI d2 et NOY ; T4, T5 et talles secondaires de même âge, T6 en d1. Ce retour à un taux de croissance positif concernerait à GRIGNON surtout d1 et surtout les traitements pour lesquels la nutrition azotée a été favorable (Cf. comparaison $\emptyset 4$ - A4 - B4 - Fig. 74). Sur l'essai NOY, il a été rare Cf? ANNEXE 10-2. L'étude des séquences de talles effectuée à maturité plante par plante montre que sur la totalité d'entre elles (sauf d1 $\emptyset 4$: 90 %), le verdillon de rang le plus faible est précédé d'au moins une talle régressée ou d'un bourgeon axillaire non démarré. Parmi les talles en cours de sénescence, la reprise de croissance affecterait donc les talles les plus âgées c'est-à-dire celles dont le taux de croissance s'est annulé en dernier.

	GRI - d1			GRI - d2			NOY			
	NE ₁	NE ₂	NE ₃	NE ₁	NE ₂	NE ₃	NE ₁	NE ₂	NE ₃	
2ème apport d'engrais effectué à la date :										
2 = stade 1 cm	}	100	0	0	100	0	0	100	0	0
A2										
B2										
3 = Stade CII à méiose	}	35	57	8	54	43	3	100	0	0
A3										
B3										
4 = début épiaison	}	29	12	59	36	0	64	72	0	28
A4										
B4										
Témoin non fertilisé	0									
1 seul apport en sortie d'hiver	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0

Fig. 75 - Fréquence des trois groupes de tiges fertiles NE₁, NE₂, NE₃ (Cf. texte) pour les différents traitements (en % du nombre total).

Dependant, puisque $NE + NT < 100$, on ne peut exclure une autre interprétation à l'origine de ces verdillons de rang faible : ils peuvent également provenir du démarrage de bourgeons axillaires, postérieurs à l'apport.

Quoiqu'il en soit, il est notable que les nombres de ces verdillons de rang T4 - T5 et talles secondaires de même âge soient très inférieurs aux nombres de verdillons de rang supérieur.

Conclusion partielle

Cette analyse met donc en évidence l'existence de 3 groupes de talles fertiles, correspondant à des histoires très différentes :

- un premier (NE_1) est constitué de talles émises avant l'installation de la compétition pour la lumière ou l'azote, selon une chronologie conforme au modèle potentiel de tallage, et dont la montée s'est amorcée peu de temps après celle des brins-maitres. La compétition n'a pas interrompu leur croissance. Elles appartenaient à la population de tête, visible sur les distributions des poids secs dès la date 3 (Fig.72)

Cette catégorie d'épis est numériquement d'autant plus importante que le 2ème apport a été effectué tôt et que les conditions de nutrition antérieures sont restées plus longtemps favorables. Elle est seule présente lorsque le 2ème apport a été effectué dès le stade 1 cm.

- un deuxième groupe d'épis (NE_2) correspond à des talles émises en même temps que les précédentes, mais dont la croissance a été interrompue en cours de cycle, par une compétition durable pour l'azote (d1 Ø 3 par ex.) ou pour la lumière puis l'azote (d1 A3 ou B3), puis a repris sous l'effet du 2ème apport d'engrais. La maturité de ce 2ème groupe d'épis semble avoir été peu décalée par rapport à celle du précédent puisque fin juin les 2 groupes ne se distinguaient ni par leur couleur, ni par le stade de leur grain.

Ces reprises de croissance sont intervenues à Grignon seulement, lorsque le 2è apport a été appliqué au stade CII (date 3). Lorsque cet apport a été différé jusqu'à l'épiaison, elles sont beaucoup moins nombreuses, limitées à d1 04.

- le troisième groupe d'épis (NE_3), de maturité nettement plus tardive que les 2 précédents correspond essentiellement à des talles issues de bourgeons axillaires de rang élevé ($> T4$), dont le démarrage a eu lieu tardivement, alors que la montaison des talles du 1er groupe était quasi terminée.

Ce groupe n'existe que sur les peuplements où le 2ème apport d'engrais a été appliqué à l'épiaison.

La Fig.75 donne les proportions de ces 3 groupes de talles fertiles, déduites des Fig.74 et ANNEXE 10-2.

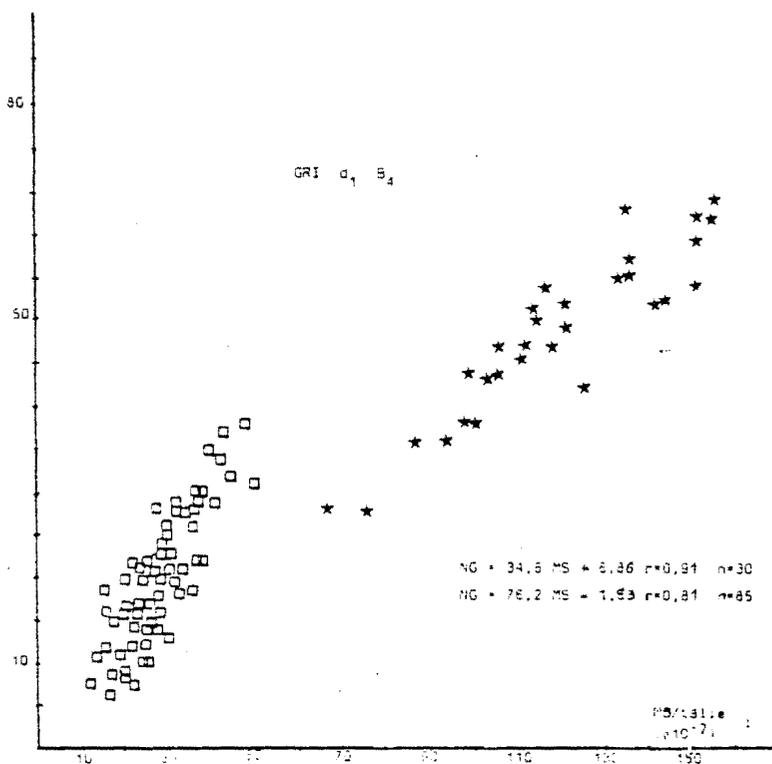
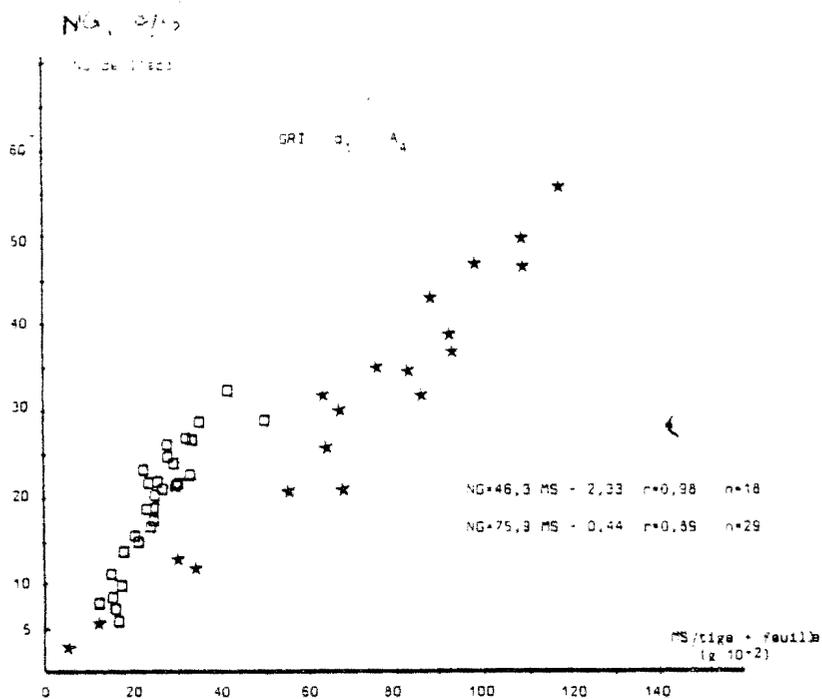


Fig. 76 - Relation pour les talles de différents rang entre le nombre de grains de l'épi et la masse de matière sèche (tige+feuilles). Exemple de 2 traitements
 □ talles NE₃ * talles NE₁ + NE₂

2.2.2. - Matière sèche et nombre de grains des différentes talles à maturité

Pour cette étude, on ne peut distinguer les groupes NE1 et NE2, dont l'existence n'a été décelée qu'à posteriori. On considèrera donc les épis NE1 + NE2 d'une part, NE3 d'autre part. L'analyse des effets traitement et rang sera faite pour les premiers sur les talles 3M - T1 - T2, pour les seconds sur les talles T5 - T21 - T12 ; T6 - T22 - T31 ; T7 qui sont les seules à être suffisamment représentées.

Quels que soient le traitement et le groupe d'épis - NE1 + NE2 ou NE3 - les matières sèches végétatives mesurées à maturité se classent comme les nombres de grains. Les 2 variables sont liées par une relation linéaire étroite. La Fig. 76 donne à titre d'exemples, les relations observées pour 2 traitements de Grignon d1 A4 et d2 B4.

Les équations des régressions relatives aux autres traitements ainsi que les coefficients de corrélation sont donnés Fig.77 . Leur comparaison et l'examen des nuages de points montrent que :

- la liaison est généralement un peu plus étroite pour les verdillons que pour les épis plus précoces ; mais surtout sa pente est systématiquement plus forte.

Nous n'avons pas ici les moyens d'interpréter cette différence d'efficience de la matière sèche par rapport au nombre de grains, entre les 2 catégories de talles. Elle est peut être à rapprocher de leurs dynamiques de croissance extrêmement différentes, en particulier quant aux durées respectives des phases de mise en place de la matière sèche et du nombre de grains.

- il existe une certaine variabilité de la pente et de l'ordonnée à l'origine entre traitements ; mais elle est sans relation évidente avec les variations de nutrition correspondantes.

La relation entre nombre de grains et poids sec, mise en évidence à l'échelle de la surface (Cf. partie I, p40) est donc comme chez le blé, valable également aux niveaux d'échelle inférieurs (plante et toutes talles), et pour des conditions de nutrition extrêmement variées. Elle a donc une signification fonctionnelle. Elle montre que les conditions de croissance, en particulier de nutrition, interviennent tout au long du cycle dans les différentes étapes de l'élaboration du nombre de grains, de manière coordonnée à leur action sur l'évolution des quantités de matière végétale synthétisée.

TRAITEMENTS		POPULATION NE ₁ +NE ₂				POPULATION NE ₃				
		a	b	r(2)	n(2)	a	b	r(2)	n(2)	
GRI	02	29,7	15,4	0,82	24	-	-	-	-	
	03	49,3	11,0	0,89	21	44,3	10,3	0,80 ^{***}	15	
	04	44,5	8,3	0,90	40	53,1	3,30	0,87 ^{**}	43	
	d1	A2	51,6	- 6,5	0,98	06	-	-	-	-
	A3	45,9	10,9	0,75	28	-	-	-	-	
	A4	30,4	13,7	0,78	17	69,3	0,30	0,92 ^{***}	36	
	B3	33,3	17,8	0,85	30	-	-	-	-	
	B4	34,5	+ 6,9	0,81	30	76,2	- 1,80	0,66 ^{***}	85	
	d2	03	54,4	- 2,3	0,98	22	-	-	-	-
	04	44,6	0,8	0,90	20	56,4	2,60	0,82 ^{***}	33	
	A4	46,3	- 2,3	0,98	18	75,9	- 0,44	0,89 ^{***}	29	
	B4	38,9	- 5,4	0,83	22	58,9	0,62	0,83 ^{***}	32	
NOY	04	44,1	0,4	0,90	30	61,8	0,13	0,82 ^{***}	13	
	A3	41,6	3,1	0,89	30	-	-	-	-	
	A4	47,2	1,1	0,96	18	72,1	- 4,80	0,91 ^{***}	12	
	B4	42,6	- 2,7	0,95	40	-	-	-	-	

- (1) NG = nombre de grains
MS = poids sec tige + feuilles à maturité
- (2) n = effectif des tiges analysées
r = coefficient de corrélation linéaire significative
au seuil :
0,05 *
0,01 **
0,001 ***
(d'après FISHER et YATE in THOMAS et al., 1975)

Fig. 77 Paramètres de la droite de régression $NG = aMS + b(1)$ -
Echelle de la taille

Talles TRAITEMENTS	GRI - d1			GRI - d2			NOY		
	SM	T1	T2	SM	T1	T2	SM	T1	T2
04	(50) 46,2 a	(3) 41,4 a	(10) 36,0 a	(55) 23,4 a	(1) -	(2) -	(50) 43,0 a	(25) 39,2 a	(20) 40,0
A4	(33) 46,4 a	(3) 36,0 a	(7) 38,3 ab	(67) 29,6 b	(12) 36,2 a	(2) -	(59) 44,6 ab	(31) 42,2 a	(23) 43,0a
B4	(19) 50,0 a	(16) 39,0 a	(10) 46,6 b	(63) 33,9 bc	(7) 35,3 a	(6) 29,17	(55) 47,4 b	(20) 44,3 ab	(19) 47,2
03	(11) 53,6 b	(6) 59,8 b	(2) 38,0 b	(13) 37,6 c	(3) 20,7				
A3	(12) 59,6 b	(10) 53,6 b	(7) 53,6 bc	-	-	-	(14) 51,1 b	(7) 51,1 b	(4) 54,8
B3	(14) 55,2 b	(10) 59,7 b	(5) 50,2 c	-	-	-	-	-	-
02	(3) 55,3 b	(10) 55,1 b	(12) 53,0 c	-	-	-	-	-	-
<u>TEST</u> 04	a	ab	b						
<u>EFFET</u> A4	a	b	b		NS			NS	
<u>RANG</u> B4	a	ab	b						
(1)	(1) Chiffres suivis d'une même lettre en ligne sont NS au seuil de probabilité 5 %								

* Test effet de la dose du 1er apport 2 - A - B;
intra-densité, les chiffres suivis d'une même lettre en colonne sont tous significativement différents au seuil de probabilité 5 %.

Fig. 78 - Variation du nombre de grains selon le rang de la talle et le traitement - Population NE₁ + NE₂

TALLES (1)	POPULATION	POPULATION
	NE1 + NE2	NE3
EM	28,5 %	/
T1	30,8 %	/
T2	18,5 %	/
T4	/	41,4 %
T11	/	36,2 %
T2p	/	/
T5	/	24,2 %
T21	/	25,1 %
T6	/	27,6 %
T31	/	20,6 %

(1) talles dont les effectifs sont supérieures à 10.

Fig. 79 - Coefficients de variation du nombre de grains au sein de chacune des deux populations : NE₁ + NE₂ et NE₃. Exemple de d₁ 04 GRI.

TALLES (1)	d1 04	d1 84
T3	29,7	16,3
T4	29,3	18,3
T5	34,0	20,0
T6	33,0	23,6

On a regroupé chaque talle primaire avec les talles secondaires d'applications synchrones, dont les nombres de grains sont voisins.

Fig. 80 - Nombre de grains moyen/verdillon - Influence du rang, sur l'exemple des traitements d1 04 et d1 84 -

3 - VARIATIONS DU NOMBRE DE GRAINS

Des dénombrements individuels de grains ont été effectués sur tous les traitements Ø4 - A4 - B4, et en GRI d1 Ø2 - A2 - Ø3 - A3 ; GRI d2 Ø3 et NOY Ø3 et A3.

3.1. - Influence des rang et histoire de la talle

Pour les groupes d'épis NE1 + NE2, issus de la 1ère génération de talles, les nombres de grains se classent dans l'ordre (Fig. 78) :

- $BM > T1 > T2$ sur la densité faible de l'essai GRI (différence $BM - T2$ toujours significative) ; pour la densité forte, les talles T1 ont en moyenne un nombre de grains supérieur à celui du brin-maître mais les écarts ne sont pas significatifs.
- $BM > T1 \approx T2$ sur l'essai NOY ; mais la supériorité des brins-maîtres n'est pas significative.

Pour les verdillons (NE3), on ne dispose d'effectifs suffisants pour l'analyse, qu'à Grignon :

- l'amplitude des variations du nombre de grains au sein de cette population est importante (Fig. 79),
- ces variations ne sont pas systématiquement en relation avec les rang ou ordre de la talle : cependant sur les traitements d1 Ø4, d1 B4 et dans une moindre mesure d2 A4, on note une tendance à une augmentation du nombre de grains entre talles primaires successives (Fig. 80). Partout les nombres de grains sont équivalents entre talles primaires et secondaires d'apparitions synchrones.

L'influence du rang de la talle sur son nombre de grains apparaît donc faible. Cependant les tendances décrites pour les 2 groupes d'épis sont inversés. Celle qui est constatée par le groupe NE1 + NE2 est conforme au sens de variation décrit dans la bibliographie : les nombres de grains sont en moyenne supérieurs pour les talles les plus âgées, ce qui est cohérent avec leur cycle plus long et leur poids sec supérieur. Celle qui se manifeste sur certains traitements pour les verdillons est par contre inattendue, et difficilement interprétable pour l'instant.

3.2. - Influence des conditions de nutrition

3.2.1. - Variations du nombre de grains selon les modalités de fertilisation azotée

On retrouve au niveau des talles des différents rangs les mêmes variations entre traitements que celles précédemment décrites pour l'ensemble de la population (Cf. p101 l'étude de NG/épi moyen). On les commentera donc ici très brièvement :

- pour les verdillons on ne peut comparer que les traitements Ø 4 - A4 - B4, seuls pour lesquels les effectifs de talles soient suffisants. On observe pour la plupart des rangs le classement : $Z4 > A4 \geq B4$. Un effet inverse des conditions de nutrition azotée entre les 2 catégories - positif pour NE₁ + NE₂ (Cf. infra), dépressif pour NE₃ - est peu vraisemblable. Le classement précédent indiquerait alors que la quantité d'azote disponible pour la croissance des verdillons a été d'autant plus forte que la dose du 1er apport était faible. Ceci suggère l'hypothèse d'une compétition décroissante de Ø à B entre verdillons et épis de "1ère génération" sans qu'on puisse ici se prononcer sur l'objet de cette compétition. L'examen de cette hypothèse renvoie à une étude quantitative à l'échelle de la surface des relations entre les croissances de ces 2 catégories de talles fertiles. Elle sera faite dans le chapitre suivant.

- pour les épis (NE₁ + NE₂) issus de la deuxième génération de talles (Fig79), les modalités de fertilisation ont eu une faible influence sur les nombres de grains (Fig. 79) : les doses du 1er apport se classent généralement dans l'ordre : $\emptyset < A < C$ mais les différences sont non significatives. Le déplacement de la date du 2ème apport d'engrais du stade 1 cm à la mi-montaison est sans incidence. Les seules variations sensibles sont observées quand le 2ème apport a été différé jusqu'au début épiaison : les nombres de grains sont alors nettement inférieurs.

Ces réponses nous avaient conduit à formuler 2 hypothèses : non différenciation des traitements par rapport aux conditions de croissance avant la 2ème moitié de la montaison, ou, possibilité de jouer tardivement sur le nombre de grain. Le diagnostic des conditions de nutrition issu de l'étude des poids secs et des quantités d'azote absorbées (Cf. Fig. 63) conduit à rejeter la 1ère hypothèse, et à retenir la seconde : des variations des conditions d'alimentation azotée intervenues postérieurement au stade CII à Grignon et à la méiose à Noyon ont fortement affecté le nombre de grain. Etant donné ce diagnostic, les classements des traitements

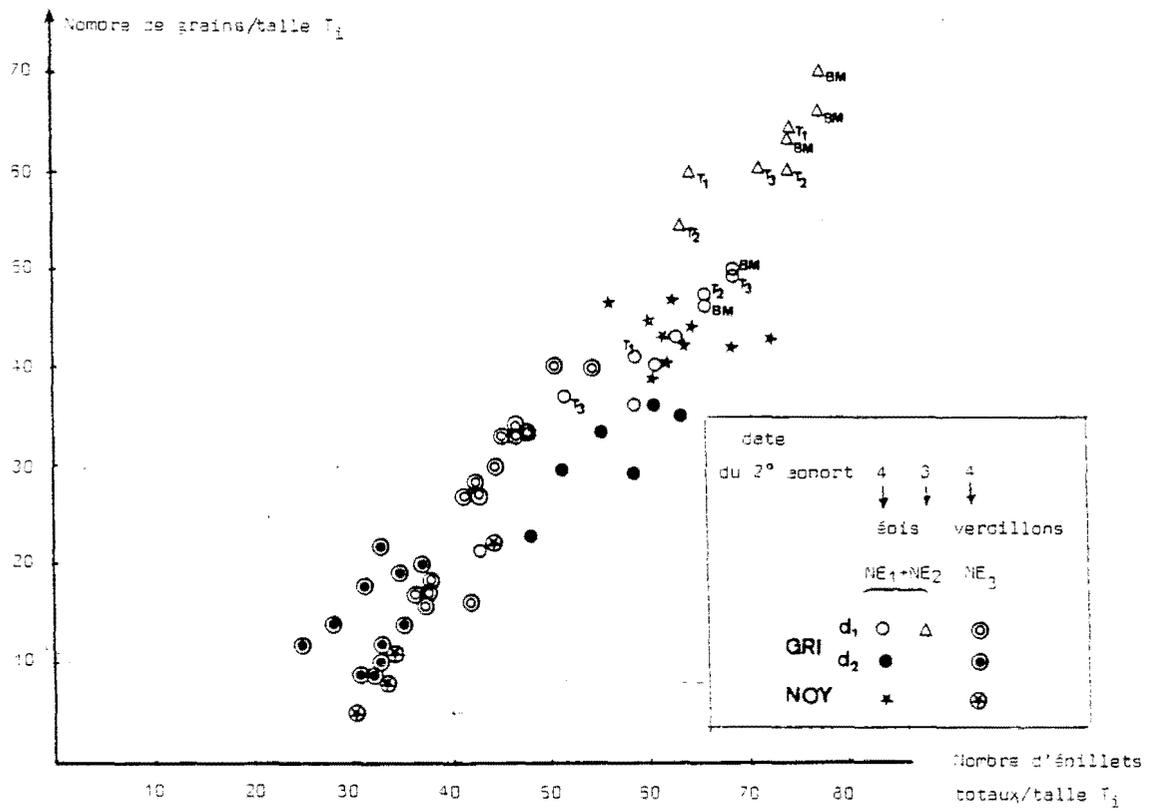


Fig. 21 - Relation entre le nombre de grains et le nombre d'épillets totaux de l'épi.
Exemple des traitements $O_4 - A_4 - S_3$ et $d_1 O_3 - S_3$

qui viennent d'être décrits, identiques pour tous les rangs de talles, amènent également à rejeter l'hypothèse d'une étape "critique" dans l'élaboration du nombre de grains, par rapport aux variations de la nutrition.

3.2.2. - Relation entre nombre de grains et nombre d'épillets totaux

Les variations du nombre de grains sont principalement liées à celles du nombre d'épillets totaux (Fig. 81) ; les fréquences d'une stérilité des épillets augmente cependant légèrement avec leur nombre. La relation entre nombre de grains et nombre d'épillets totaux apparaît largement indépendante du rang des talles et des conditions de nutrition (pas d'effet de la densité ni des modalités des apports d'engrais).

Les positions respectives des traitements Ø3 - A3 - B3 et Ø4 - A4 - B4 sur la Fig. 81, montrent que l'effet positif sur le nombre de grains de l'azote apporté mi-montaison est très largement imputable à un effet sur le nombre d'épillets. Cette composante de l'épi apparaît donc sensible aux conditions de nutrition et modifiable très tardivement puisque entre les 2 groupes de traitements précédents, elle varie même pour le brin-maître et les talles primaires les plus âgées

Cette possibilité de jouer sur le nombre d'épillets pendant toute la phase de montaison et en particulier tardivement, en même temps que sur la différenciation et la croissance des fleurs, éclaire la remarquable stabilité des nombres de grains/épi moyen précédemment notée (Cf. p. 101) entre des traitements aussi différents que C, Ø2, A2, B2, Ø3, A3, B3.

Elle constitue probablement une différence importante entre orge et blé. Chez cette dernière céréale le nombre d'épillets totaux est également sensible aux conditions de nutrition SINGLE (1964) ; KIRBY et al. (1970) ; RAHMAN et al. (1977) ; WHINGWIRI et KEMP (1980). Mais il est définitivement fixé beaucoup plus tôt dans le cycle de la talle, peu après le début de la montaison, alors que les bourgeons floraux commencent tout juste à se différencier (KIRBY et al. 1974 ; MALVOISIN, 1984). De plus, la relation entre le nombre de grains et le nombre d'épillets dont l'amplitude des variations est très inférieure à celle constatée ici, est généralement lâche. Cette différence blé-orge est à rapprocher de la structure des inflorescences des 2 céréales : 2 rangs d'épillets, de différenciations synchrones chez le blé, 6 rangs pour l'orge étudiée ici avec un décalage important dans les différenciations des rangs centraux et latéraux ; épillets multiflore chez le blé, uniflore chez l'orge. Ces caractéristiques rapprochent l'orge du riz.

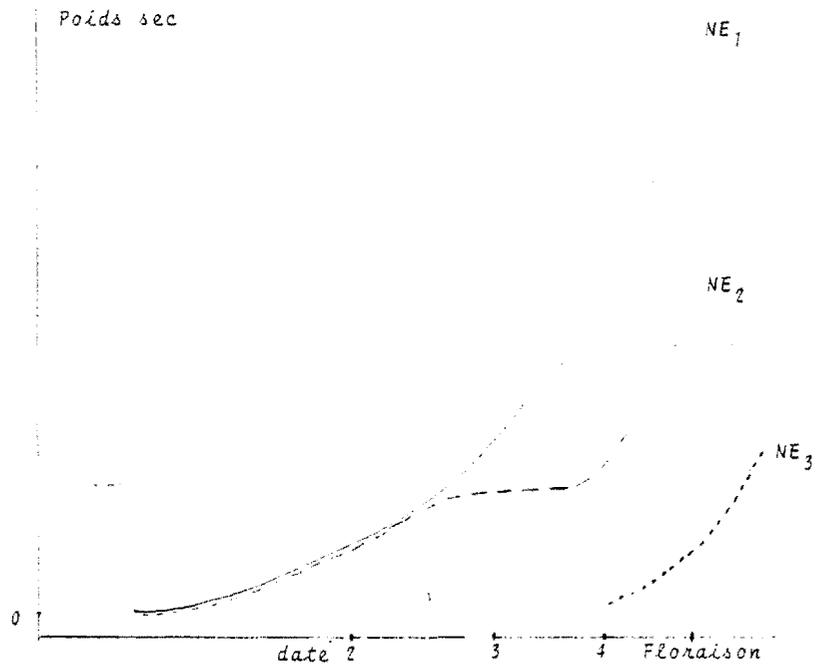


Fig. 82 Schéma des dynamiques de croissance des 3 groupes de talles fertiles NE_1, NE_2, NE_3 .

4 - CONCLUSION

Ainsi la matière sèche supplémentaire qui a été fabriquée grâce à l'azote contenu dans le 2ème apport d'engrais, s'est répartie de manière très différente entre les différents organes de la plante, selon la date à laquelle l'engrais a été utilisable :

- lorsqu'il a réalimenté le peuplement début montaison, il a servi à la croissance des talles existantes qui avaient alors un taux de croissance positif pour certaines, nul pour d'autres, depuis un certain temps déjà.
- Lorsque la réalimentation a eu lieu début épiaison, l'azote a été utilisé pour la croissance des talles existantes (Cf. par ex. en D4, l'augmentation des poids secs entre la date 4 et maturité) et de talles nouvelles issues de bourgeons axillaires non allongés jusque là. Parmi les talles existantes, l'azote ne bénéficie pratiquement qu'à celles ayant un taux de croissance non nul ; un nombre important des nouvelles talles montent et sont fertiles.

Les origines de ces différences dans les modalités de répartition de la matière sèche totale fabriquée par la plante, mettent en cause des phénomènes de compétition, en particulier, qui doivent être appréhendés à l'échelle de la surface. Elles seront analysées dans le dernier chapitre. Mais les résultats précédents donnent un certain nombre d'éléments concernant le fonctionnement de la plante. On retiendra :

- la "priorité" des organes en croissance par rapport à de nouveaux organes pour l'affectation des matériaux disponibles pour la croissance de la plante entière ;
- le caractère non obligatoirement léthal de l'interruption de la croissance d'une talle sous l'effet d'une limitation temporaire de sa nutrition ;
- la possibilité, pour certains bourgeons axillaires d'accomplir la quasi totalité de leur cycle dans un temps très court alors que les talles âgées ont quasi terminé le leur ;
- l'étroite interdépendance entre les différentes étapes de la croissance en poids sec et de l'élaboration du nombre de grains, qui s'avère très stable pour des conditions de nutrition et des dynamiques de croissance très variables.

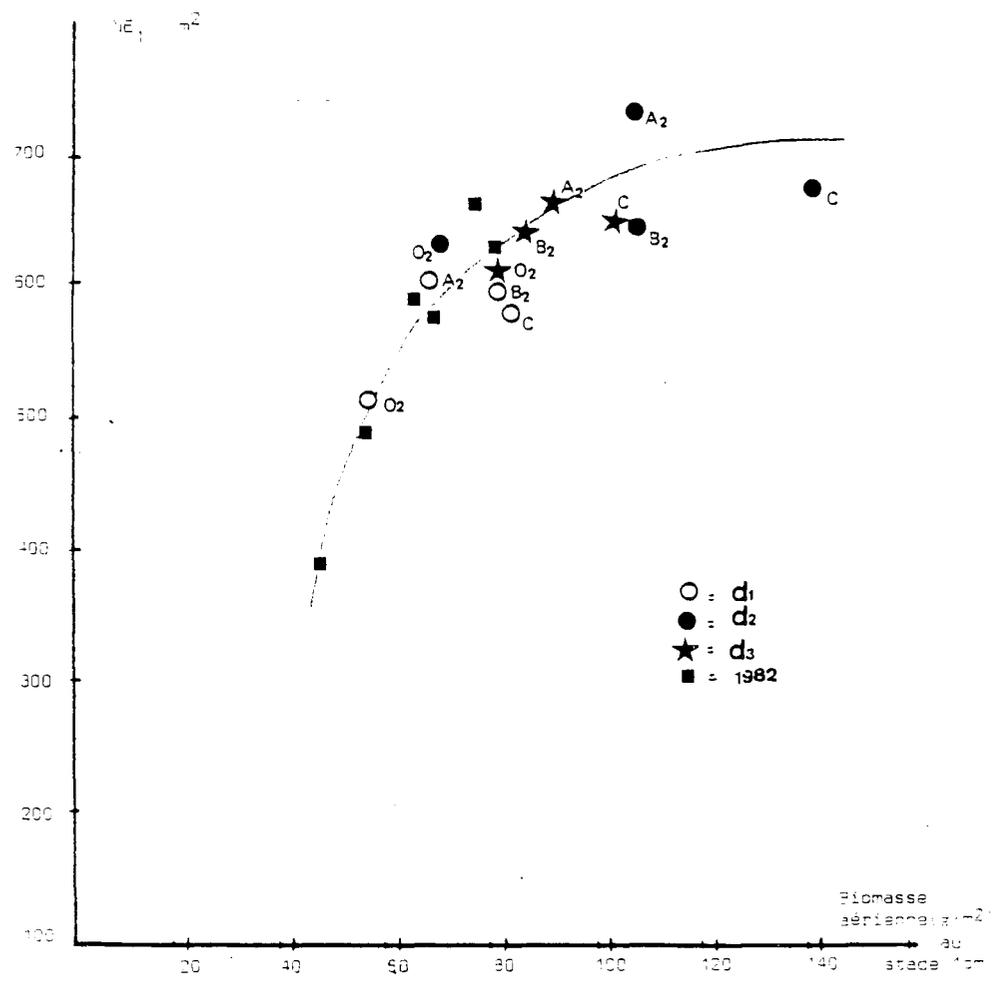


Fig. 83 - Relation entre Biomasse aérienne au début de la montaison (stade 1 cm) et nombre d'épis potentiel.

D/ - APPROCHE QUANTITATIVE DES VARIATIONS DE STRUCTURE DU PEUPEMENT A MATURITE :
CAUSES DES VARIATIONS DES EFFECTIFS DES 3 POPULATIONS D'EPIS ET DE LEURS
NOMBRES DE GRAINS

Nous avons mis en évidence l'existence de 3 groupes de talles fertiles :

- NE₁ : talles dont la montaison n'a pas été temporairement interrompue en cours de cycle,
- NE₂ : talles dont la croissance a été interrompue par une compétition pour l'azote ou la lumière, puis a repris dans la 2ème partie de la montaison sous l'influence du 2ème apport d'engrais,
- NE₃ : "verdillons" issus d'une 2ème génération de talles dont la montée a eu lieu postérieurement à l'épiaison des brins-maîtres.

Ces groupes correspondent à des périodes de formation et des dynamiques de croissance différentes, schématisées Fig. 82. Leur existence ou non existence dans le peuplement, leurs caractéristiques - effectifs ; nombres de grains - sont très variables entre les traitements (Cf. Fig. 75-78-80) : on a montré, en particulier, le rôle de la nature du facteur objet de compétition et de la date d'intervention de cette compétition (Cf. p 163-175) Selon le groupe d'épis considéré, la compréhension de ces variations renvoie donc non seulement à des périodes du cycle différentes, mais aussi probablement à des processus pour partie différents.

Les nombres d'épis et de grains seront donc examinés population par population, pour chacun des 2 grands types de conditions de nutrition qui ont prévalu pendant la montaison :

- compétition pour la lumière seule,
- compétition temporaire pour l'azote (Cf. Fig. 63)

1 - DETERMINATION DES EFFECTIFS NE₁ - NE₂ - NE₃

1.1. - Nombres d'épis potentiels obtenus en absence de compétition pour l'azote pendant la montaison

Sont considérés ici le traitement C et les traitement pour lesquels le 2ème apport a été appliqué au stade 1 cm (Cf. Fig. 63). Pour ces traitements, le groupe NE₁ constitue la totalité du peuplement épi. La croissance des talles a été limitée par le rayonnement incident et sa répartition dans le couvert.

Chez le blé d'hiver, on constate que dans de telles conditions, le nombre d'épis est directement lié à

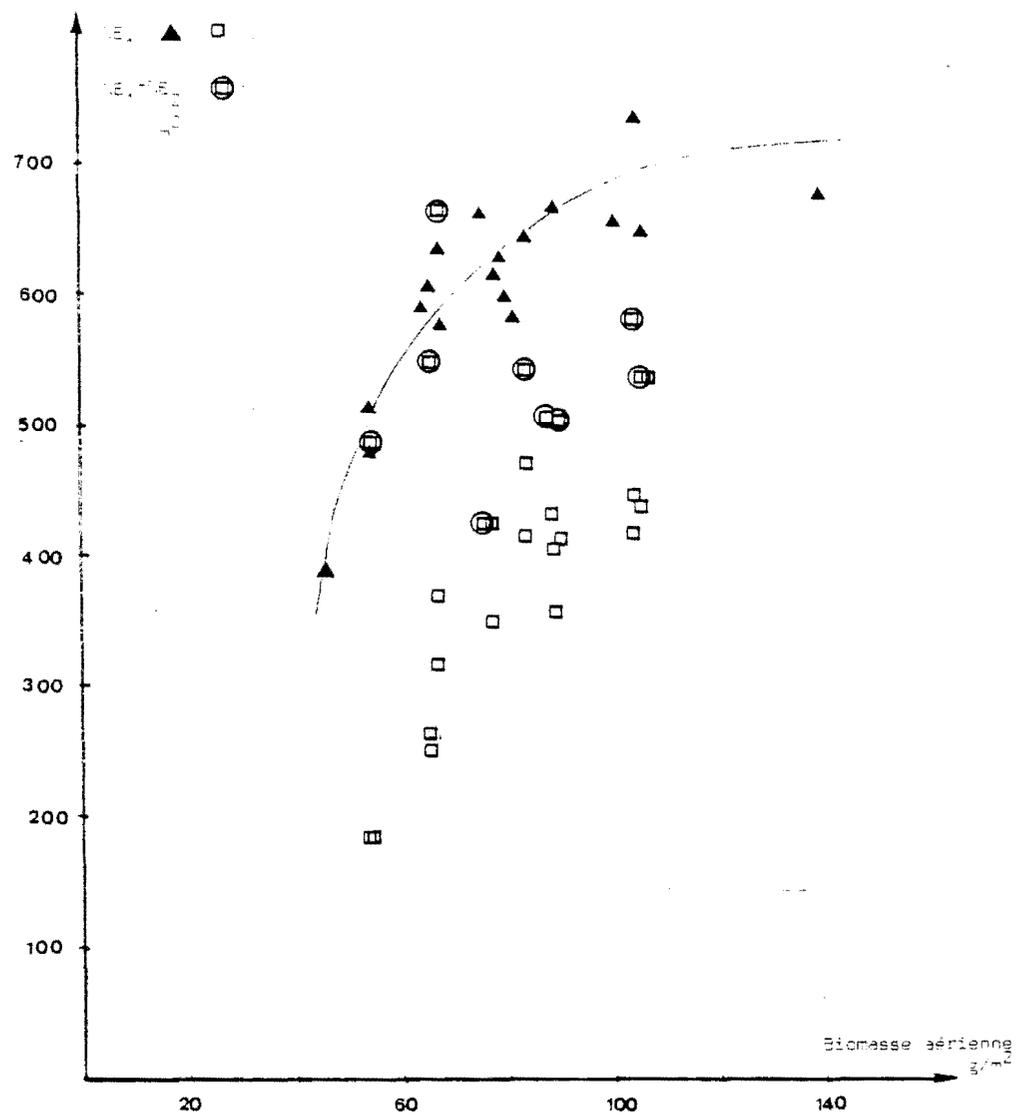


Fig. 8 4- Relation entre biomasse aérienne au débit de la montaison et nombre d'insectes

- ▲ = NE₁ traitements 0₁ A₀ B₀ C 1983 et VII 1982.
- = NE₁ traitements 0₃ A₃ B₃ et 0₄ A₄ B₄
- ⊖ = NE₁+NE₂ Traitements 0₃ A₃ B₃

la biomasse aérienne présente à l'unité de surface au tout début de la montaison (stade 1 cm ou stade BII). La Fig. 83 confronte ces 2 variables pour les traitements C - Ø2 - A2 - B2 de nos essais GRI et NOY (codes ○, ●, ★). Les points se répartissent selon un nuage assez resserré, de pente faible. Si l'on porte les points correspondant aux traitements YM des essais 1982 pour lesquels la lumière a été l'objet de compétition dominant pendant la montaison (HACS - HACL - BOUS - BOUA - TEN), on obtient une bonne relation de forme comparable à celle observée chez le blé. Pour une même biomasse, dans la gamme 90-100 g/m², les nombres d'épis sont comparables ; ils diffèrent de moins de 10 % en valeur relative. Ce comportement est d'autant plus remarquable que la biomasse est obtenue pour des modalités très différentes entre traitements (variation du nombre de plantes/m², de la date de semis, des conditions de nutrition azotée antérieures à la montaison). La biomasse aérienne au début de la montaison serait donc un bon prédicteur du nombre d'épis potentiel. Les extrêmes de biomasses étant représentés par un très faible nombre de points, et étant de plus relatifs à deux années différentes, un ajustement de nos données à une équation mathématique - par exemple celle proposée pour le blé - n'aurait pas grand de sens.

Sur la Fig. 84, on a porté les points de la figure précédente correspondant aux peuplements Ø3 - A3 - B3 ; Ø4, A4, B4 qui ont subi une limitation azotée plus ou moins importante pendant la montaison. Sur l'ordonnée, ces peuplements sont décrits, d'une part pour l'effectif NE₁, population d'épis homologue de celle des peuplements Ø2 - A2 - B2 - C ; d'autre part pour Ø3 - A3 - B3, par l'effectif NE₁ + NE₂ :

- dans tous les cas, conformément à ce que les comportements observés chez le blé laissaient présager les nombres NE₁ obtenus dans des conditions de compétition temporaire pendant la montaison sont, pour une même biomasse au stade 1 cm, très inférieurs aux effectifs obtenus en conditions d'alimentation azotée non limitante (NE "potentiel").

- Mais, dans un certain nombre de cas : d1 Ø3 ; d1 A3 ; d2 A3, la réalimentation du milieu en azote mi-montaison a permis la reprise de croissance d'un nombre suffisant de talles pour que le nombre d'épis final soit comparable au nombre d'épis potentiel. Il est notable que l'essai STB - 1982 - pour lequel ce phénomène de reprise de croissance d'un certain nombre de talles est plausible - appartient au nuage "NE "potentiel".

La courbe matérialisée sur la Fig. 83 ne serait donc pas spécifique de conditions de photosynthèse potentielle.

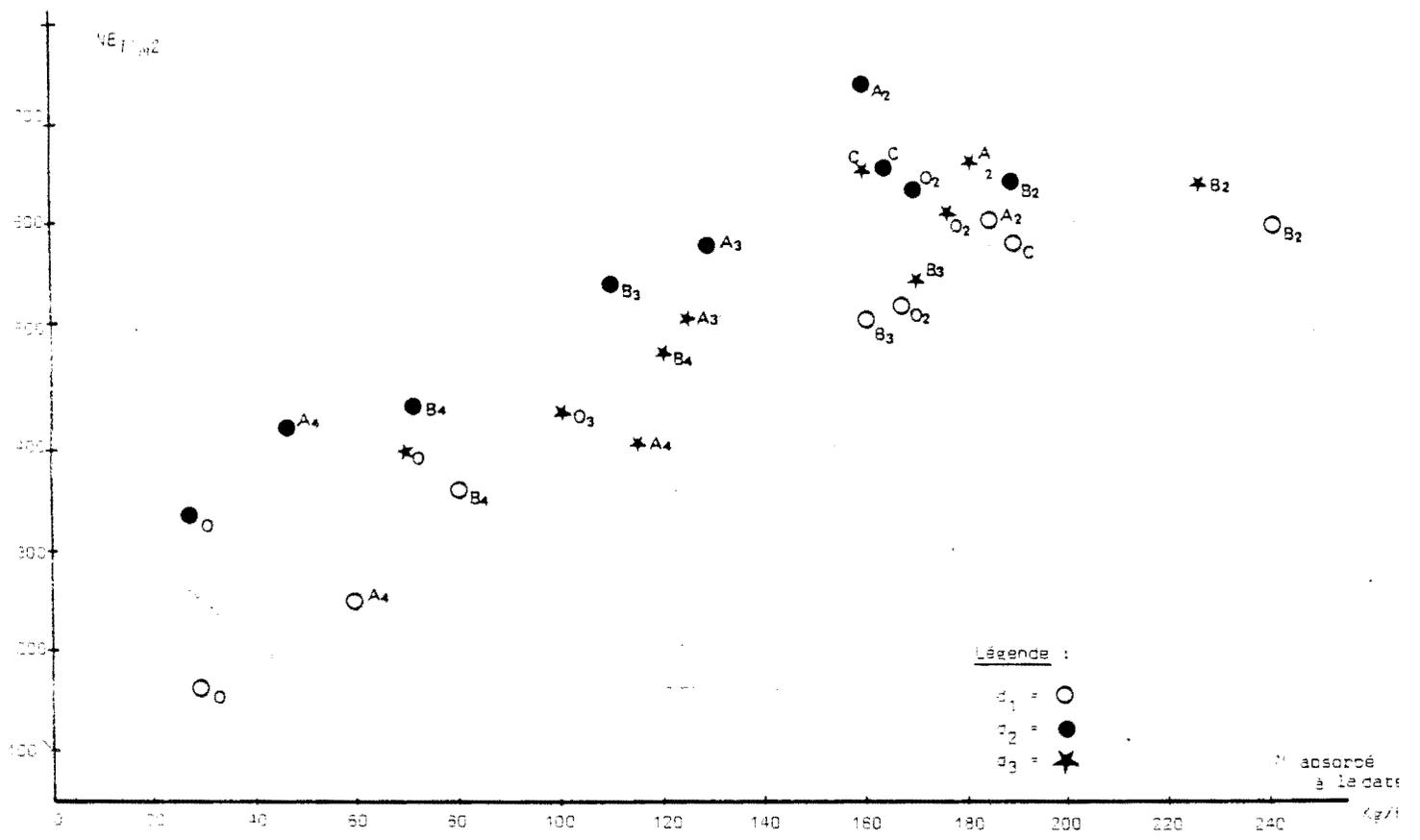


Fig. 85 - Relation entre les nombres de tiges fertiles NE, et les quantités d'azote absorbées par le peuplement entre le semis et la date t.

1.2. - Nombre d'épis obtenus en situation de compétition temporaire pour l'azote pendant la montaison

Sont ici considérés les traitements non fertilisés (Ø), ou pour lesquels le 2ème apport a été effectué mi-montaison ou à l'épiaison. Il s'agit de rendre compte des variations des effectifs NE1, NE2, NE3.

1.2.1. - Détermination de l'effectif NE1 :

La Fig. 85 présente la relation entre NE1 et l'azote absorbé par le peuplement depuis le semis jusqu'à l'épiaison (date 4), c'est-à-dire sur la période correspondant à la formation de ces épis, pour l'ensemble des traitements.

Les points dessinent un nuage relativement étroit, de forme ascendante jusqu'à des quantités d'azote absorbées de l'ordre de 180 u /ha, puis marquant semble-t-il un palier au-delà de cette dose. Ce nuage peut en fait être décrit comme une famille de 3 courbes de même forme, autour desquelles se répartissent les traitements de chacune des densités x site. Bien distinctes dans leur partie ascendante, ces 3 courbes se resserrent et se confondent pratiquement au niveau du palier. Elles se classent dans l'ordre des nombres de plantes/unité de surface : plus ce nombre est important, plus l'azote absorbé a été efficace pour la montée.

Sur le palier on trouve exclusivement des points relatifs aux traitements pour lesquels l'azote n'a pas été limitant pendant la montaison (Ø2 - A2 - B2 - C) ; on a vu que NE1 était alors lié à la biomasse fabriquée au stade 1 cm. La partie ascendante est définie par les traitements où il y a eu compétition pour l'azote ; moins cette compétition a été longue, plus les points sont proches du palier (Cf. Fig. 85).

L'existence d'une bonne relation entre NE1 et quantité d'azote absorbée dans les situations où l'azote a été temporairement limitant de la croissance est une indication supplémentaire du déterminisme largement nutritionnel de la montée à épi. Il est par ailleurs remarquable qu'on obtienne une relation unique, intradensité, pour des dynamiques d'absorption de l'azote très différentes, en particulier entre les 2 périodes date 2 - date 3 et date 3 - date 4, et que la relation de NE1 avec les quantités absorbées pendant chacune de ces 2 périodes soit beaucoup moins bonne.

	GRI-d1			GRI-d2			NOY		
	Ø	A	B	Ø	A	B	Ø	A	B
NP/m ²	169			371			221		
Durée de la compétition (degrés x jours)									
. si 2 ^e apport à date 3 :	432	362	362	510	432	406	654	623	623
. si 2 ^e apport à date 4 :	645	575	575	723	645	619	751	725	725
Biomasse aérienne (MSM) des talles NM (g/m ²) :									
. à la date 3 :	197	159	250	149	235	344	407	385	339
. à la date 4 :	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Nombre de talles de la population NM :									
. à la date 3 (/m ²)	186	255	414	371	445	545	473	433	414
(/plante)	1,10	1,57	2,45	1,0	1,20	1,47	2,15	1,97	1,38
NE ₂ /plante									
Pour 2 ^e apport :	1,78	1,69	0,53	0,79	0,36	0	0	0,33	0,58
. à la date 3 :	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0
. à la date 4 :									
NE ₃ /plante									
Pour 2 ^e apport :									
. à la date 3 :	0,25	0	0	0,069	0	0,12	0,068	0,068	0,045
. à la date 4 :	2,22	2,73	3,02	1,53	1,64	1,41	0,61	0,42	0,25

Fig. 86 - Quelques caractéristiques du peuplement au moment du 2^eme apport d'engrais et effectifs des talles fertiles NE₂ et NE₃

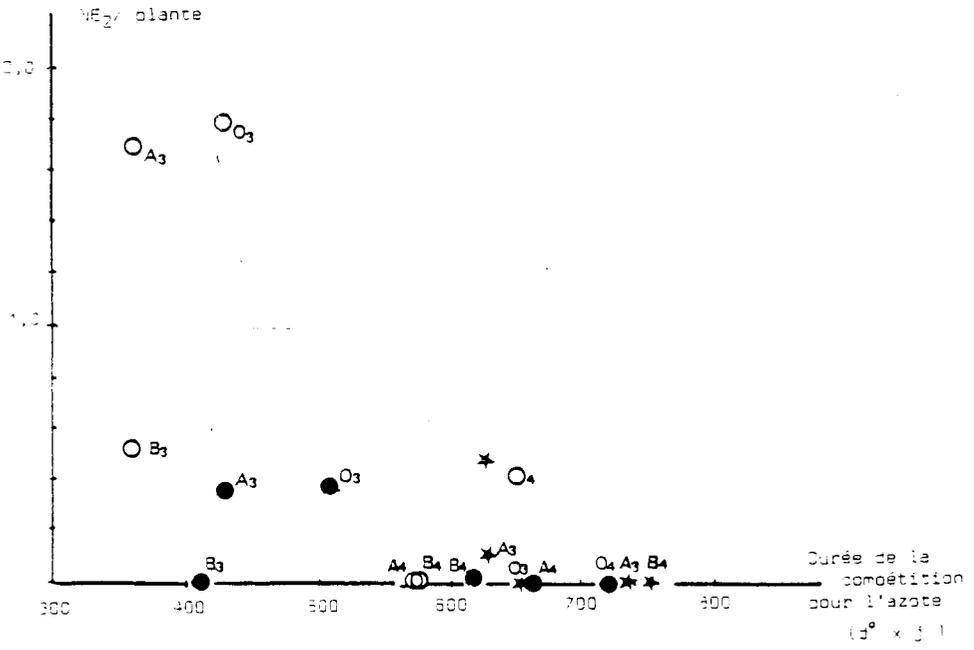


Fig. 87 - Relation entre le nombre de talles fertiles (NE₂) qui ont repris leur croissance quand la compétition pour l'azote a été levée et la durée de cette compétition. ○ d₁ ● d₂ ★ NOY

L'interprétation de l'effet de la densité et(?) du site n'est pas évidente. Cependant, l'axe des abscisses est quasiment un axe de poids secs/m² (teneurs en azote très voisines entre traitements à cette date). Le classement des courbes pourrait alors traduire les variations selon le nombre de plantes/m², de la relation entre poids sec/plante et nombre de ramifications : les poids secs/talle fertile se classent en effet dans l'ordre d₁ > NOY > d₂.

1.2.2. - Détermination de l'effectif NE₂

Qu'il ait été effectué mi-montaison ou à l'épiaison, le 2^e apport d'engrais a été appliqué à des peuplements fortement carencés en azote, constitués de 2 populations de talles (Cf. p. 167 -169)

- NM : talles ayant un taux de croissance positif ;
- NS : talles ayant un taux de croissance nul à sénescence plus ou moins avancée selon les traitements.

. Il est alors logique de penser que le nombre de talles (NE₂) qui, parmi NS, ont pu reprendre leur croissance sous l'effet de la réalimentation du milieu en azote, a été fonction :

- du degré d'avancement de leur sénescence ;
- des besoins en azote des talles plus âgées qu'elles, en croissance au moment de l'apport (talles NM).

On ne dispose pas d'observations permettant une appréhension directe de ces caractéristiques. Cependant, la durée de la compétition pour l'azote et la lumière⁽¹⁾ d'une part, le nombre (NM), la masse (MSM), le stade des talles encore en croissance, d'autre part, en sont de bons indicateurs. Ces paramètres étaient très variables entre peuplements selon la date du 2^e apport d'engrais et les conditions de nutrition antérieures (Fig. 86).

Les Fig. 87 et 88 les confrontent aux effectifs NE₂, exprimés à l'échelle de la plante :

- On constate Fig. 87 que les nombres NE₂ les plus élevés (traitements d₁ O3 - d₁ A3) sont associés à des durées de compétition pour l'azote faibles ; inversement lorsque la compétition s'est prolongée pendant au moins 500 degrés x jours, NE₂ ne dépasse jamais 0,5 épis/plante. Mais, pour les durées de compétition intermédiaires, la relation entre les 2 variables est lâche. Il convient par ailleurs de garder une certaine prudence car 2 paramètres de la compétition

(1) la durée de la période : date à laquelle 50% des plantes ont arrêté de taller-date du 2^e apport (3ou4) est une bonne approche de la durée de cette compétition (Cf. Fig 68 et p155)

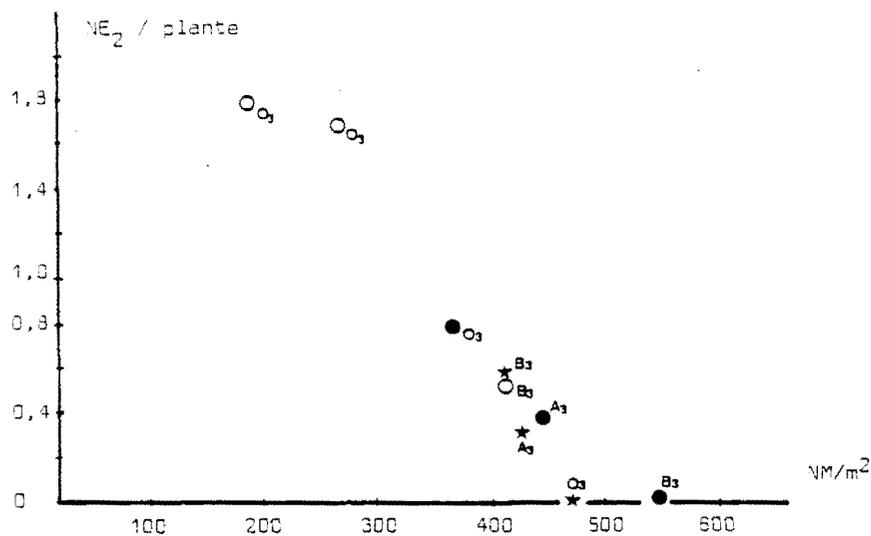


Fig. a).

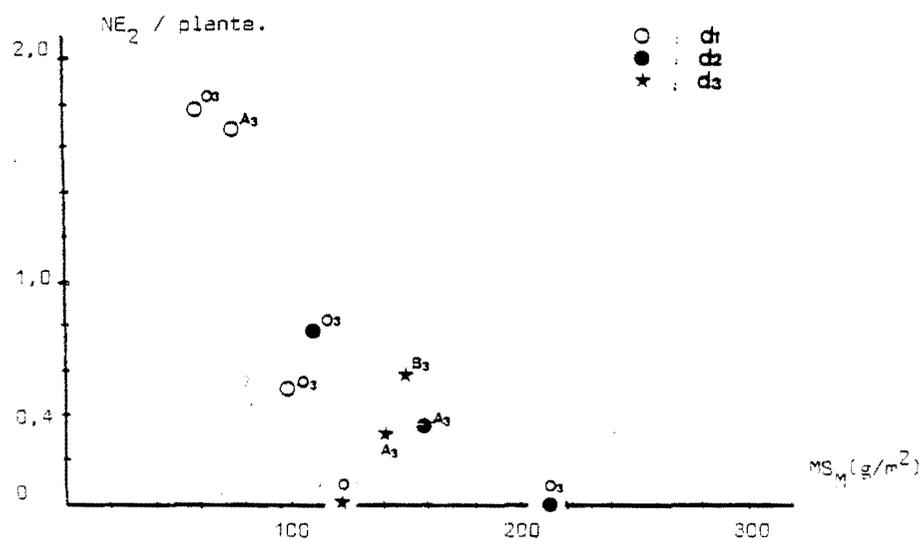


Fig. b).

Fig. 88 - Relation entre NE₂ et :

- a) le nombre de talles (NM) encore en croissance
- b) le poids de ces talles (MS_M) quand l'alimentation azotée de NM + NS est redevenue non limitante.

seraient à considérer pour rendre compte des variations de NE2 : sa durée mais aussi son intensité. Ces paramètres ne sont pas nécessairement corrélés.

- Pour les peuplements réalimentés en azote mi-montaison, les effectifs NE2 se révèlent liés négativement au nombre et à la masse des talles qui étaient alors en croissance pour l'ensemble du peuplement (Fig. 88a-b). Ces relations rendent relativement bien compte de l'effet site et densité sur NE2, et de l'influence de la dose du 1er apport d'engrais. Elle peut être interprétée comme la traduction d'une compétition dans la 2ème moitié de la montaison entre talles NM en croissance au moment de l'apport et celle des talles NS qui ont repris leur croissance postérieurement à cet apport. Cette compétition a été favorable aux talles NM. L'objet le plus plausible en est la lumière puisque les quantités d'azote absorbées par les talles NE1 + NE2, d'effectifs voisins de NM + NE2, entre le 2ème apport et la maturité, sont très inférieures aux 160 unités d'engrais (≤ 100 Kg/ha).

Ces relations pourraient également signifier que plus le nombre de talles NM ou leur masse MSM étaient élevés à l'échelle de la surface, plus la sénescence des talles NS était avancée du fait d'une compétition pour l'azote plus importante entre talles NM et NS avant le 2° apport d'engrais donc dans ce cas pendant la première moitié de la montaison.

- Quand la limitation azotée a été interrompue à l'épiaison seulement, les relations décrites sur la Fig. 88 disparaissent : NE2 est nul (ou négligeable : $d104$), quels que soient NM ou MSM. On peut penser que la limitation azotée a été levée à une date où la dégradation des tissus des talles NS était très avancée, empêchant toute réponse au changement de régime nutritif (Cf. la très longue durée de la limitation azotée : 580 d° j).

- . La reprise de croissance d'un certain nombre des talles NS, consécutivement à l'apport d'engrais fait mi-montaison, semble avoir eu lieu un certain temps après que les conditions de nutrition azotée du peuplement soient redevenues non limitantes. On a, en effet, précédemment noté (Cf. p. 131) que début épiaison, l'effet de l'engrais appliqué mi-montaison n'était pas encore perceptible sur les poids secs ($\bar{03} \pm \bar{04}$, A3 A ; B3 B). Il se traduisait par contre très fortement sur les quantités d'azote absorbées.

Ce temps de latence dans la reprise de la croissance est difficile à interpréter avec les informations dont on dispose. Il pourrait recouvrir la nécessité d'une certaine restauration métabolique, préalable à une extension cellulaire.

1.2.3. - Détermination de l'effectif NE3

A priori, les mêmes hypothèses que celles examinées précédemment pour les talles NE2 (Cf. p. 195) sont susceptibles de rendre compte des variations du nombre de verdillons (NE3)

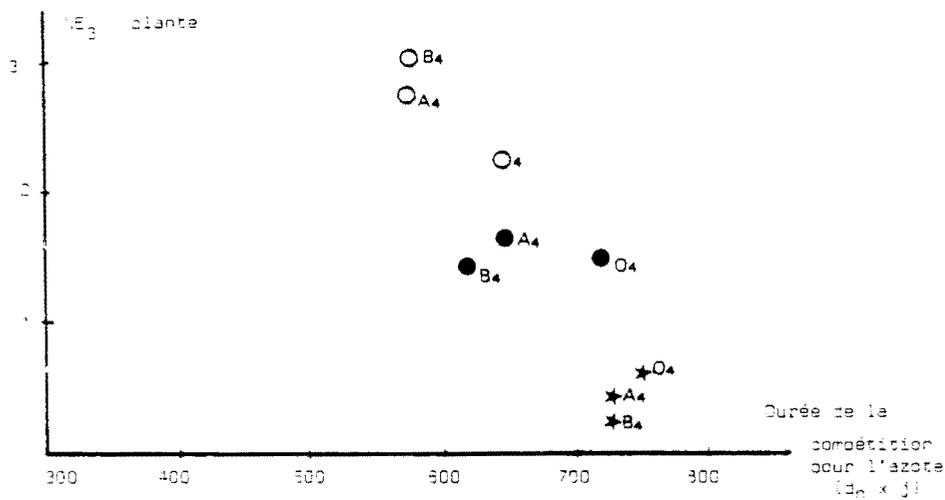


Fig. 89 - Relation entre le nombre de verdillons par plante et la durée de la compétition pour l'azote avant l'épiaison (date 4)
 (○ = d₁ ; ● = d₂ ; ★ = NOY)

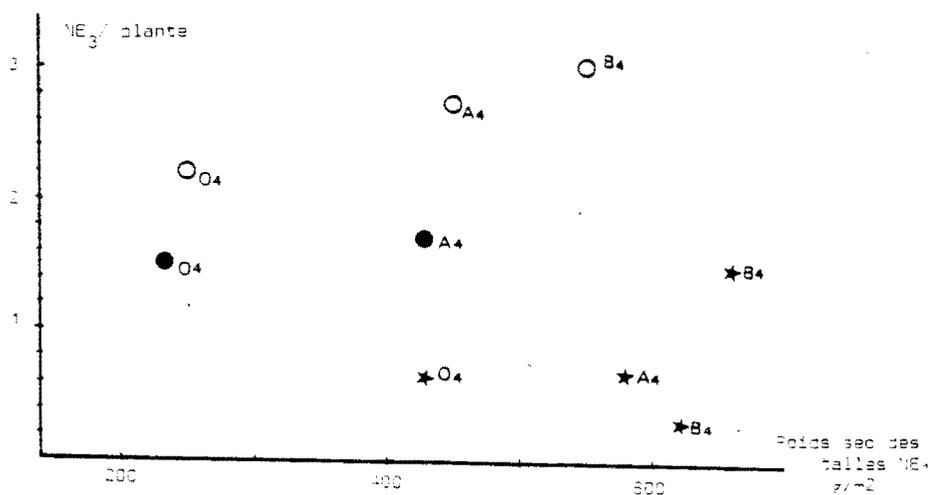


Fig. 90 - Relation entre le nombre de verdillons/ par plante et le poids sec des tiges NE, à la date 4
 (○ = d₁ ; ● = d₂ ; ★ = NOY)

Nous avons vu que ces verdillons proviennent du démarrage tardif de bourgeons axillaires initiés et, au moment de l'apport, aptes à s'allonger depuis plusieurs phyllochrones. Ce démarrage a eu lieu alors que la croissance des talles NE₁ n'était pas terminée.

- La Fig. 89 confronte les effectifs NE₃ à la durée de la compétition pour l'azote préalable au démarrage de leur croissance. On constate une relation étroite entre les 2 variables, négative. Cette relation pourrait traduire que les bourgeons axillaires gardent une aptitude à la croissance d'autant plus longtemps que les conditions de nutrition de la plante sont favorables.
- Le nombre de verdillons s'avère par contre totalement indépendant du poids des talles de la population NE₁, mesuré à la date 4 (Fig. 90) et pris comme indicateur de la pression de compétition exercée par ces talles après la date 4 sur les talles plus jeunes, qui sont alors apparues.

Cette compétition n'aurait donc en fait pas été sensible. Les observations visuelles effectuées début épiaison sur les traitements concernés ici (Ø 4 - A4 - B4) montraient qu'une fraction importante du rayonnement parvenait alors au sol. On peut donc penser que les talles NE₃ ont effectué leur croissance non seulement en absence de compétition pour l'azote mais aussi en absence d'un ombrage important créé par les talles plus âgées.

2 - DETERMINATION DES NOMBRES DE GRAINS PRODUITS PAR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE TALLES FERTILES

Pour cette composante, on considère les groupes NE₁ + NE₂ d'une part, NE₃ d'autre part, dont les épis ont été battus séparément.

Pour les 2 groupes, la relation mise en évidence à l'échelle de la talle entre nombre de grains et poids sec final de l'appareil végétatif est vraie à l'échelle de la surface (épi moyen ; m²).

Les variations de poids sec étant largement créées par les conditions de nutrition azotée, nous confrontons Fig. 91 et 92 les nombres de grains produits par les épis NE₁ + NE₂ (codés NG₁ + 2) ou NE₃ (codés NG₃) et les quantités d'azote absorbées par leurs parties aériennes. Il était logique pour cette confrontation de prendre l'absorption sur des périodes correspondant aux phases de détermination des nombres de grains des épis considérés, ou en constituant un bon indicateur :

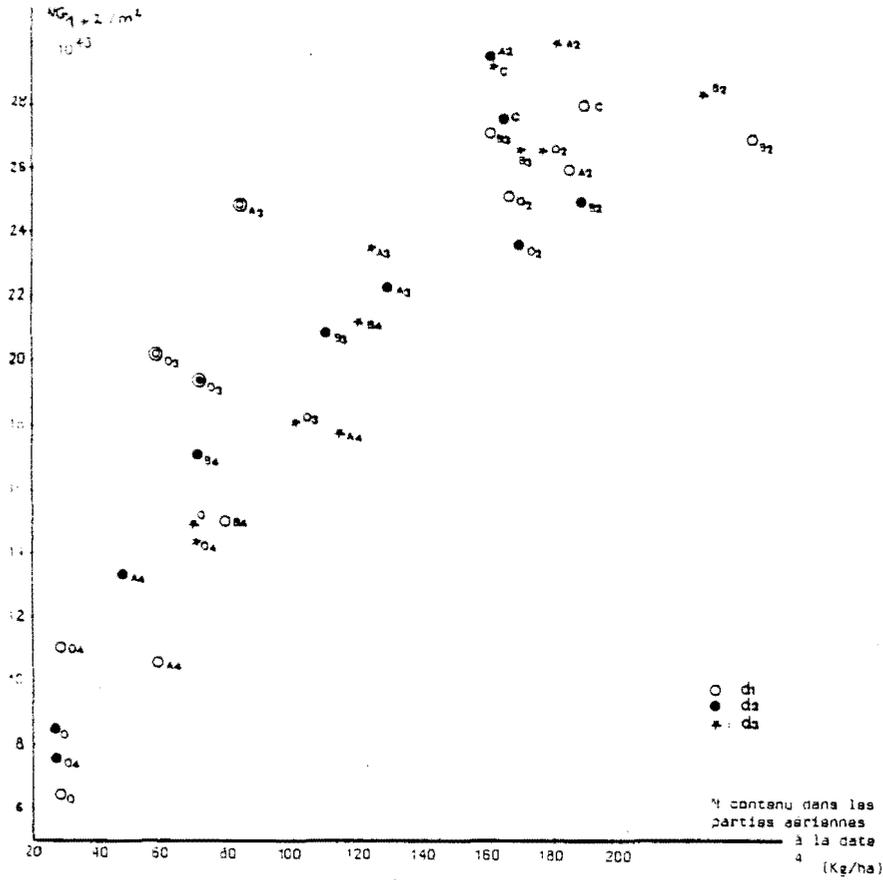


Fig. a - Echelle du m^2

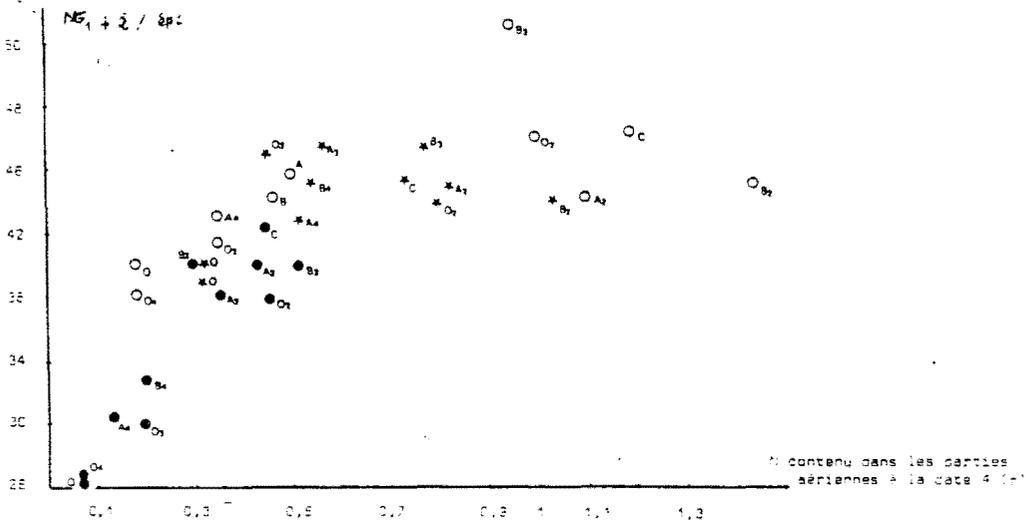


Fig. b - Echelle de la plante.

Fig. 91 - Relation entre le nombre de grains produits par les talles $NE_1 + NE_2$ et la quantité d'azote contenue dans la partie aérienne.

- les nombres NG₁₊₂ sont donc rapportés aux quantités d'azote absorbées entre le semis et la date 4, date la plus proche de leur fécondation, pour laquelle nous disposons de dosages d'azote et de mesures des poids secs. Il s'agit donc de l'azote contenu dans l'ensemble tige + feuilles + enveloppes florales,
- les nombres NG₃ sont rapportés aux quantités d'azote contenues dans la plante, à maturité, faute d'un dosage intermédiaire. Par souci d'homogénéité entre les abscisses des deux graphes, on a considéré l'azote contenu dans la tige, les feuilles et les grains.

2.1. - Nombre de grains produits par les épis NE1 + NE2

- a) - A l'échelle de la surface (Fig. 91 a) les traitements pour lesquels les épis NE1 constituent l'essentiel de l'effectif total NE1 + NE2 (80 à 100 % ; points non entourés sur la figure), se répartissent selon une relation du même type que celle précédemment commentée pour les nombres d'épis (Fig. 85) : relation d'allure d'abord linéaire, étroite, s'amortissant très nettement au-delà d'une certaine quantité d'azote absorbée (≈ 160 u), à partir de laquelle s'amorce un palier. Lorsqu'on se déplace sur la courbe vers des nombres de grains croissants, on rencontre les traitements pour lesquels la compétition pour l'azote a été de moins en moins durable. Contrairement à ce qu'on observait pour les nombres d'épis, les 3 densités x sites se mélangent dans la même relation.

Les 3 traitements d1 03 - d1 A3 ; d2 03 de l'essai GRI, (points entourés), seuls pour lesquels les talles NE2 constituent une part importante de l'effectif total d'épis, se situent au-dessus de la relation définie par les autres traitements : l'azote métabolisé par ces talles - en majeure partie pendant la 2ème moitié de la montaison -, a donc été moins efficace sur les processus intervenant dans l'élaboration du nombre de grains.

- b) - A l'échelle de l'épi moyen (Fig. 91 b) la relation entre nombre de grains et azote absorbé est beaucoup plus faible, sauf pour la densité la plus forte de l'essai GRI (d2). En d1 et pour l'essai NOY, sur l'essentiel de la gamme des quantités d'azote absorbées par la plante, le nombre de grains/épi moyen est stable autour de 44-48 ; la partie ascendante est créée par les seuls traitements \emptyset . Ainsi, pour ces 2 groupes de peuplements, l'influence sur le nombre de grains/m² des quantités d'azote, est principalement due à leur effet sur le nombre d'épis/m².

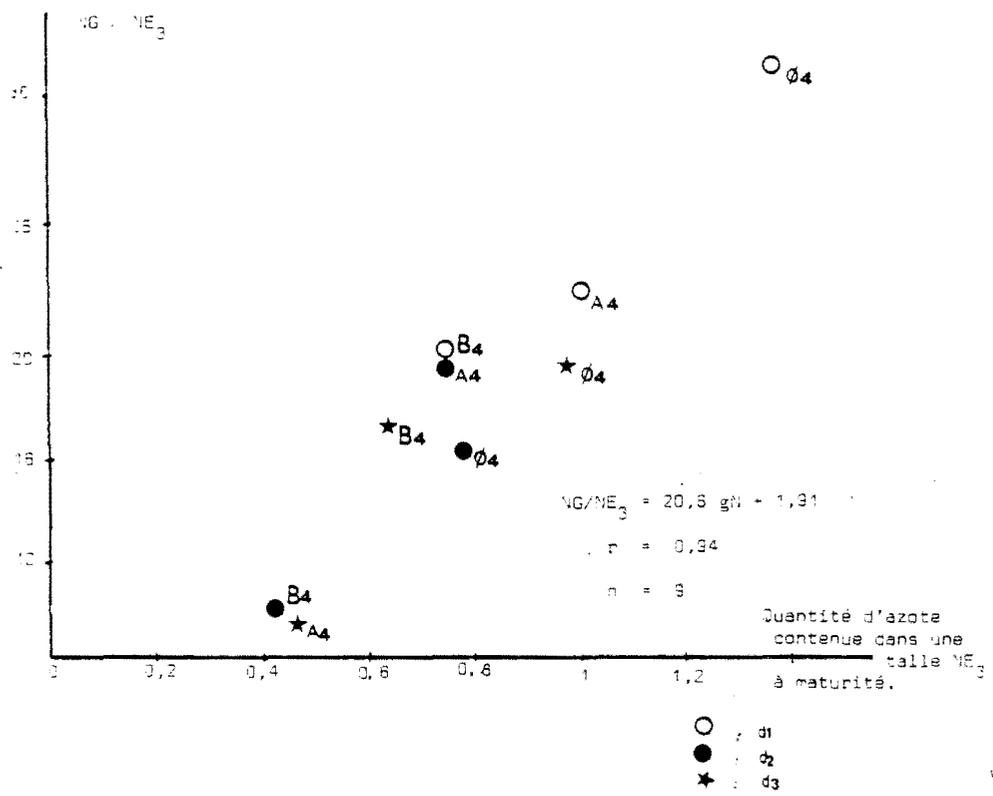


Fig. 92- Relation entre le nombre de grains moyens produit par un verdillon et la quantité d'azote contenu dans ses parties aériennes à maturité.

En d2 - GRI par contre, densité pour laquelle la compétition pour l'azote est apparue plus tôt qu'en d1 et qu'à NOY (Cf. Fig. 83) ; et a été plus sévère, les variations de nutrition azotée ont affecté également le nombre de grains/épi.

2.2. - Nombre de grains produits par les verdillons 116

Les variations des nombres de grains produits en moyenne par les verdillons sont strictement indexées à celles des quantités d'azote qu'ils ont absorbées sur l'ensemble de leur cycle (Fig. 92). Les points sont bien ajustés par une relation linéaire ($r = 0,94$) qui passe par l'origine.

Cette relation peut être interprétée comme traduisant le rôle déterminant de la nutrition azotée d'une talle dans la mise en place de son nombre de grains. On remarquera à cet égard que les nombres de grains pour lesquels elle est obtenue, se situent dans la gamme des nombres où (Fig. 91) on observait également une relation positive dans le cas des épis NE₁ + NE₂.

Cependant, il faut rappeler ici que la variable en abscisse est l'azote absorbée sur la totalité du cycle des verdillons - dont la période de remplissage du grain - et non la quantité absorbée jusqu'à leur épiaison comme pour la Fig. 91 b. La relation étroite observée Fig. 92 peut donc, aussi bien, traduire une influence du nombre de sites à remplir sur l'absorption de l'azote pendant le remplissage de ces sites.

Conclusion partielle

L'interprétation des effets des traitements sur le nombre total d'épis et sa constitution (effectifs NE₁ - NE₂ - NE₃) est synthétisée sur la Fig. 93. Sur cette figure on décrit les paramètres qui ont conditionné la montée d'une talle et sa dynamique de croissance pour chacune des dates du 2ème apport d'azote à partir de la date 2 à laquelle le tallage était arrêté sur tous les traitements. Ces paramètres sont essentiellement d'ordre nutritionnel : la montée d'une talle herbacée, le démarrage d'un bourgeon axillaire sont conditionnés par la quantité d'azote et d'hydrates de carbone disponibles pour la croissance totale de la plante et par la position de cette talle, de ce bourgeon sur la plante et dans le couvert. Cette quantité, cette position dépendent de la structure du peuplement dans laquelle se trouve la plante, en particulier du nombre, de la taille et probablement de l'état physiologique des organes vivants plus âgés que le bourgeon ou la talle considérés. Ces organes sont dominants pour l'utilisation du facteur limitant en particulier dans les relations d'ombrage mais aussi pour l'utilisation de l'azote.

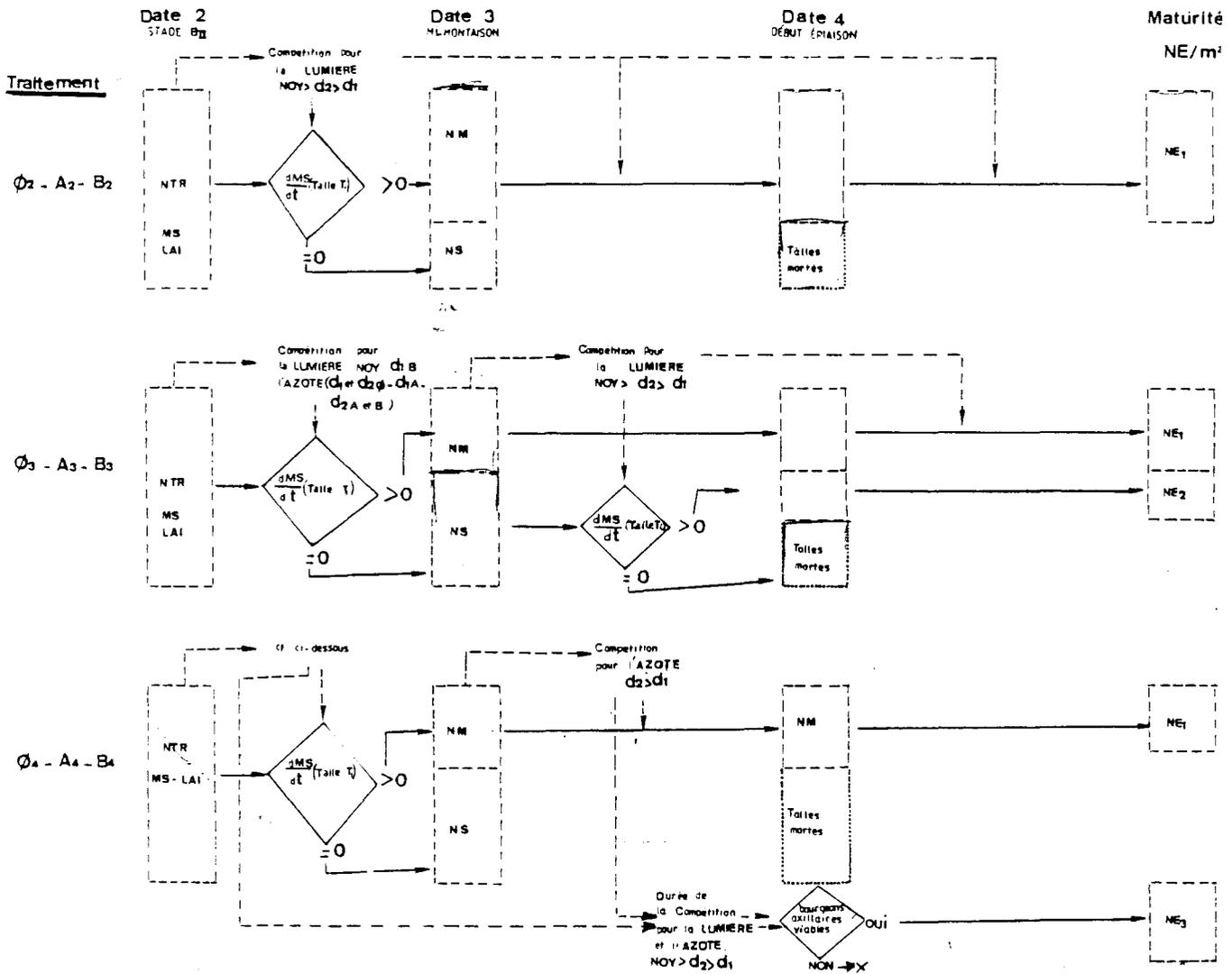


Fig. 93- Organigramme de synthèse des interprétations des variations des nombres et natures des épis: interactions entre structure du peuplement au moment du 2^o apport d'engrais, conditions de nutrition et croissance des talles.

Légende

- NTR : nombre de talles après la 1ère période de tallage :
tallage arrêté sur tous lestraitements à la date 2 -
- NM : talles ayant à la date 3 un taux de croissance :
 $\frac{dMS}{dt}$, positif
- NS : talles ayant à la date 3 un taux de croissance :
 $\frac{dMS}{dt}$, négatif
* talles ayant amorcé leur sénescence.
- NE₁ : talles ayant gardé un taux de croissance positif
pendant toute la montaison.
- NE₂ : talles NS qui ont repris leur croissance consécuti-
vement à l'apparition du 2ème apport d'azote.
- NE₃ : épis issus de la montée de talles produites pendant
la 2ème période de tallage.

$NE_1 + NE_2 = NE_j$: épis "jaunes" tout début juillet

$NE_3 = NE_v$ = "verdillons" (épis verts tout début juillet).

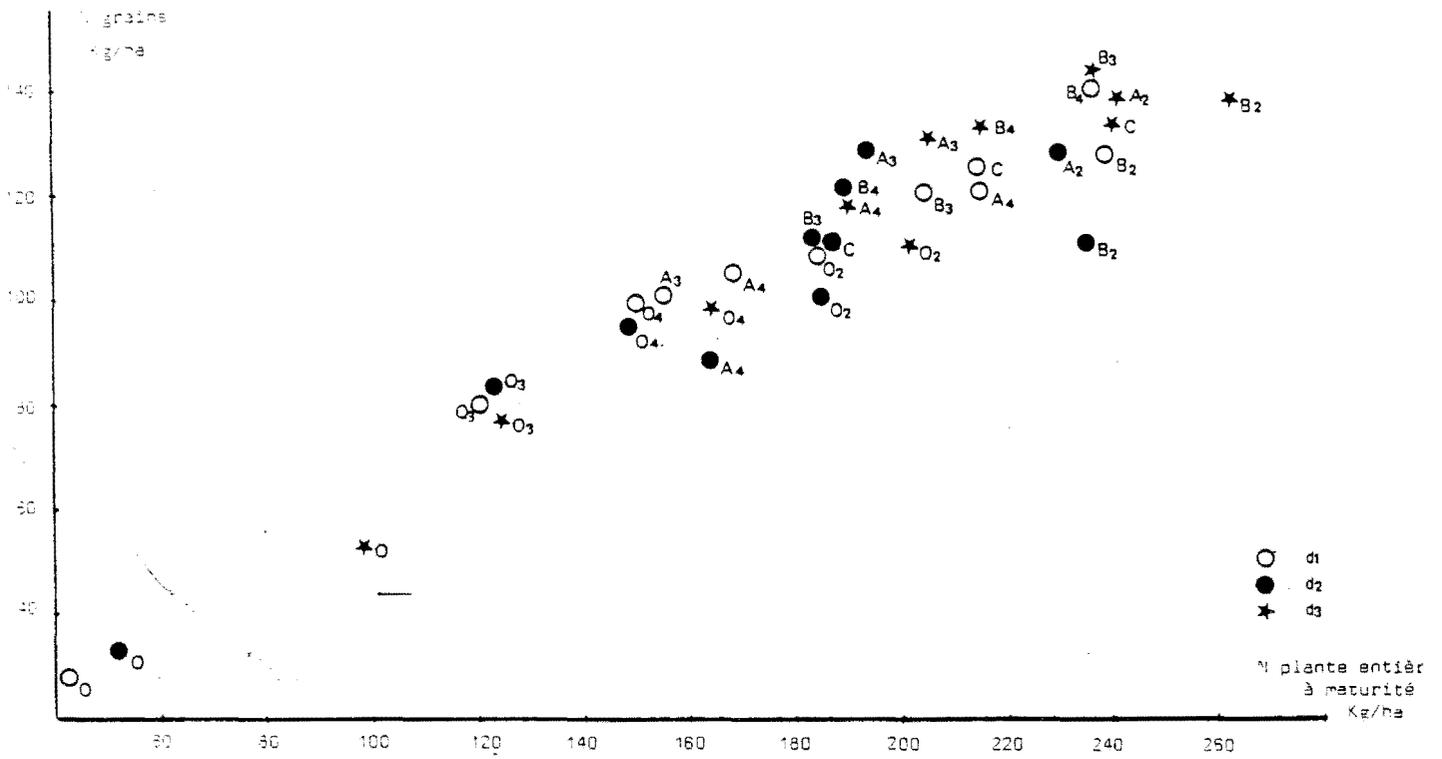


Fig. 94 - Relation entre la quantité totale d'azote contenue dans le peuplement à maturité et la quantité d'azote contenue dans les grains.

Les conditions à la montée, présentées Fig. 93 sont bien définies à l'échelle de la talle mais leur niveau dépend des autres talles de la plante et des caractéristiques des plantes voisines, donc de l'échelle peuplement.

Les éléments rassemblés Fig. 93 constituent une interprétation cohérente des variations des nombres d'épis NE1 - NE2 - NE3 selon les modalités de fertilisation à la fois intra-densité mais aussi inter-densité (d1-d2) et inter-essais : la densité et le site ont joué sur la date d'installation des compétitions pour la lumière et/ou l'azote et leurs intensités : la compétition a été plus précoce et plus forte à NOY du fait d'un semis plus précoce et, dans le cas des traitements Ø3 - A3 - B3, d'un apport d'azote plus tardif dans la montaison.

La relation observée entre nombre de grains des épis NE1 et NE2 et azote absorbé montre le rôle déterminant des conditions de nutrition pour la détermination de cette composante.

La relation décrite Fig. 94 correspond à un résultat rapporté par d'autres auteurs sur blé (POWER et ALESSI, 1982, en particulier), pour des peuplements-épis constitués de talles fertiles de montées largement synchrones. Pour les verdillons, on n'a pas la certitude d'un même comportement (Cf. supra 2.2.). Cependant, étant donné sa signification fonctionnelle, on ne voit pas pourquoi il ne s'appliquerait pas également à cette catégorie de talles. La Fig. 94 constitue un indicateur supplémentaire de l'identité probable de fonctionnement, sur le plan de la nutrition azotée et des relations entre organes, entre les 3 catégories de talles fertiles. Elle montre l'existence d'une relation étroite, unique, entre quantité totale d'azote absorbée et quantité présente dans les grains. La stabilité de cette relation entre des peuplements pour lesquels les proportions relatives des 3 groupes NE1 - NE2 - NE3, sont très variables, est remarquable. La répartition de l'azote absorbé entre les épis et les parties végétatives semble avoir été gouvernée par des lois communes à toutes les talles fertiles ; elle serait alors largement indépendante des dynamiques d'absorption de cet azote et des longueurs respectives des phases : début de croissance-floraison et floraison-maturité. On ne peut cependant dépasser le stade de l'hypothèse car les variables de la Fig. 93, en particulier celle en abscisse, intègrent de nombreux processus, sur une très longue période.

CONCLUSION GENERALE

Au début de ce travail, nous nous étions fixé d'explicitier le rôle de l'alimentation azotée du peuplement dans l'élaboration de ses monobres d'épis et de grains. Nous avons été guidé par un double souci :

- constituer une chaîne aussi explicative que possible entre alimentation azotée et composantes du rendement, en particulier dans le sens d'une décomposition chronologique de leurs relations tout au long du cycle.
- fournir des éléments de connaissance qui puissent être intégrés dans le raisonnement de la conduite de la culture en particulier de sa fertilisation azotée.

Cette double préoccupation justifie les modalités expérimentales retenues et les principaux choix méthodologiques qui ont été faits.

Une première phase d'étude menée à partir d'un dispositif multilocal nous a permis de dater et de caractériser les variations de nutrition azotée intervenant dans les systèmes de culture réels et de les hiérarchiser en fonction de leurs conséquences sur le rendement; enfin, d'appréhender leurs relations avec les modalités de fertilisation azotée : les résultats obtenus confirment le rôle prépondérant des variations du nombre de grains dans les variations du rendement, et des variations de la nutrition azotée dans la détermination du niveau de cette composante.

Les nombres de grains se discriminent principalement en fonction des conditions de nutrition azotée, pendant la montaison :

- les besoins antérieurs à cette phase apparaissent relativement faibles, du même ordre que ceux du blé pour une phase semis-début montaison nettement plus longue. Ceci apparaît largement dû à l'intervention d'une compétition pour la lumière très précoce du fait d'une croissance automnale importante.
- les effets sur le nombre de grains d'une compétition pour l'azote, intervenant avant le stade 1 cm (stade repère du déclenchement de l'élongation rapide des entre-noeuds) semblent faibles, non systématiquement dépressifs :
 - . si ces conditions ne sont pas limitantes, le supplément de biomasse aérienne au stade 1 cm, créé par une nutrition plus favorable, se répercute positivement sur le nombre d'épis/ m² et le nombre de grains/m² (relation positive entre les 3 variables), mais faiblement (variations limitées du nombre d'épis pour une large gamme de variation de la biomasse début montaison).
 - . On disposait de peu de situations où les besoins en azote n'avaient pas été satisfaits pendant la montaison.

Cependant deux cas de non satisfaction de ces besoins pendant la première moitié de cette phase indiquent :

- a) - qu'une croissance précoce importante est sans intérêt pour le nombre d'épis, résultats tout à fait en accord avec les constatations de COIC (1949, 1956) sur blé ;
- b) - qu'il est possible de jouer très tardivement pour la fertilisation azotée non seulement sur le nombre de grain mais aussi sur le nombre d'épis, dans des proportions très importantes permettant d'atténuer l'effet dépressif d'une compétition intervenue pendant la première moitié de la montaison. Cependant, cette possibilité semble subordonnée à un certain nombre de conditions liées à la densité de plantes et/ou la date de semis, jouent probablement sur la position de la limitation azotée dans le cycle et sur sa durée.

o

o

o

Au vu de ces premiers résultats, les incidences d'une compétition temporaire pour l'azote pendant la formation des nombres d'épis et de grains sont apparues comme un objet d'étude prioritaire face à une finalité de gestion des relations azote x peuplement pour l'obtention d'un nombre de grains donné.

Leur analyse a constitué le corps de ce mémoire. Elle a été effectuée au champ également, sous deux pédoclimats, sur un dispositif où les traitements expérimentaux ont réalisé une large gamme de situations de nutrition azotée, différant par la date d'intervention, la durée, l'intensité de la compétition. Nous avons privilégié l'étude de limitations azotées intervenant dans les quelques semaines ante-montaison puis pendant cette phase, qui sont les plus fréquentes dans les systèmes de culture du Bassin Parisien.

Nous avons procédé à un suivi en parallèle des dynamiques de la croissance en poids sec, du développement - nombre d'organes constituant l'appareil végétatif (feuilles - talles) et différenciation de l'épi -, enfin de l'absorption de l'azote. Ce suivi a été fait à l'échelle globale de la surface mais aussi de

l'individu, plante et talle : nous souhaitons analyser l'évolution de la structure du peuplement qui d'après MASLE (1930) renseigne sur l'histoire passée du peuplement et conditionne à tout moment les relations de compétition entre plantes.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Tant que les conditions d'alimentation restent non limitantes - ce qui, en peuplement signifie : en absence de compétition -, la croissance se fait par ramification de la plante et par croissance des talles existantes : on montre la validité chez l'orge du modèle de tallage mis en évidence chez le blé et le riz, et des règles de synchronisme entre apparition des talles et apparitions de feuilles.

Les poids secs des talles sont à toute date, classés dans l'ordre de leurs dates d'apparition.

- Les principales manifestations d'une limitation azotée sont les suivantes :
 - a) - arrêt du tallage : les bourgeons axillaires qui, en absence de compétition commencent à s'allonger en talles, restent à l'état de bourgeon ;
 - b) - diminution de la teneur en azote dans les plante et ;
 - c) - diminution de la vitesse de croissance des talles existantes qui affecte d'abord les talles les plus jeunes. Les brins-mâîtres sont affectés en dernier.

Nous n'avons pas pu établir la chronologie précise de ces événements. Cependant, les observations de FLETCHER (1974) sur orge également, sont convergentes avec celles de MASLE (1981-1984) sur blé ou YU et GOUNOT (1982) sur dactyle : elles indiquent que le non démarrage des bourgeons axillaires en instance d'entrer en croissance active est la première manifestation d'une limitation de la nutrition. Leur démarrage serait très exigeant en facteurs nutritifs, exprimés en quantités ou en teneur, beaucoup plus que la poursuite de croissance d'organes existants.

Un certain temps après le début de la limitation azotée, on constate qu'un certain nombre de talles bien qu'encore vertes, ont en fait stoppé leur croissance. Un tel comportement concerne tous les rangs de talle, sauf les brins-mâîtres et est d'autant plus fréquent que le rang est élevé. A l'échelle de la surface, la quantité de matière sèche fabriquée est directement liée à la quantité d'azote absorbée.

Par contre, pour toutes les talles qui maintiennent un taux de croissance positif, le rythme phyllochronique, l'évolution du stade de l'apex sont largement insensibles aux conditions de nutrition.

Ces manifestations sont tout à fait conformes à celles établies pour le blé, le riz ou à des observations sur graminées prairiales annuelles (ray-grass en particulier). Elles montrent l'existence de larges similitudes entre les modèles morphogénétiques et les relations morphogénèse-nutrition, chez les graminées à talles.

o

o

o

Nous avons réalimenté le peuplement en azote par des quantités largement excédentaires à ses besoins, à trois moments du cycle : tout début de la montaison (stade BII ou "épi à 1 cm"), à la méiose ou peu avant (écartement des stigmates), enfin au début de l'épiaison.

Pour tous les cas, on a constaté une forte augmentation de la vitesse de croissance de la plante et une nette efficacité sur les composantes du rendement. L'effet de l'apport le plus tardif a été parfois spectaculaire ; le plus précoce a permis de totalement gommer les effets d'une compétition pour l'azote ante-montaison, même très forte.

Mais, selon le stade et la structure du peuplement au moment du retour à des conditions d'alimentation azotée non limitantes, le gain de matière sèche permis par l'apport d'azote s'est réparti de manière très différente entre les différents organes de la plante. Il a été affecté :

- aux seules talles en croissance au moment de l'apport d'engrais, surtout aux plus âgées,
- ou aux talles en croissance et à des bourgeons axillaires : il y a alors eu une reprise du tallage,
- ou aux talles en croissance au moment de l'apport et à un certain nombre des talles qui avaient alors un taux de croissance nul et avaient amorcé un processus de sénescence.

On a ainsi mis en évidence l'existence au champ de deux phénomènes régulateurs du niveau de biomasse totale fabriquée, par le

peuplement et de son nombre de grains : la reprise du tallage, la reprise d'une croissance de talles existantes. Ces phénomènes ne se sont cependant pas produits systématiquement.

. La reprise du tallage semble surbordonnée :

- aux conditions d'éclairement au sein du couvert : on ne la constate pas dans les peuplements à indice foliaire important et couvert fermé au moment de l'apport d'azote. Ce comportement est tout à fait cohérent avec nos propres observations et celles d'autres auteurs montrant le rôle des conditions d'éclairement sur l'arrêt du tallage (concomittance entre arrêt du tallage et : installation d'une compétition pour la lumière (MASLE, 1985, blé), ou baisse du rayonnement global (PIGEAIRE, 1980, riz), ou ombrage des gaines (DAVIES et al., 1984, ray-gras).
- à l'état du bourgeon axillaire : quand le tallage était arrêté depuis peu, (cas des limitations azotées de courte durée), les bourgeons qui ont démarré consécutivement à l'apport d'engrais, sont ceux qui d'après le modèle de tallage potentiel devaient alors entrer en croissance active. Quand la réalimentation de la plante a eu lieu très tardivement, à l'épiaison, les nouvelles talles sont issues de bourgeons axillaires qui, en absence de limitation auraient dû s'allonger depuis un certain temps déjà (depuis au moins 3 phyllochrones).

L'analyse de ces comportements suggère que, sous réserve qu'ils soient initiés, les bourgeons qui démarrent sont les plus jeunes. Ils montrent qu'un bourgeon axillaire reste viable (c'est-à-dire susceptible de s'allonger en talle) pendant une durée non négligeable, supérieure à celle que présumant KIRBY et FARIS (1972). Cette durée est cependant bornée (au maximum 4-5 phyllochrones dans nos expériences). Cependant, cette durée ainsi que la teneur ou quantité "seuil" en azote, nécessaire au démarrage de bourgeons axillaires après une phase d'arrêt de tallage, semblent susceptibles de variations entre espèces. Ainsi l'orge serait à cet égard plus souple que le blé (WATSON, 1936 cité par ASPINAL, 1961), de même le riz. Ceci pourrait traduire une variation selon l'espèce des régulations entre organes et des résistances des méristèmes jeunes au stress nutritif.

La contribution de cette 2ème génération de talles au nombre de grains est nulle quand ces talles ont démarré début montaison, spectaculaire (> 50 %) quand elles ont démarré à l'épiaison. Elle semble dépendre de l'importance de l'ombrage exercé par les talles existantes, ou

de leurs besoins en azote. La relation négative constatée entre nombre de verdillons et durée de la compétition antérieure pour l'azote pourrait indiquer qu'au delà d'un certain état de sénescence de la plante, la perturbation de ses fonctions physiologiques est telle que l'édification de nouveaux organes devient impossible.

. La reprise de croissance des talles qui avaient cessé toute évolution est constatée uniquement sur les traitements réalimentés mi-montaison et surtout à Grignon, pour une densité de peuplement faible. Elle concerne surtout les talles les plus âgées. Elle dépend de deux groupes de paramètres :

- les conditions d'éclairement des talles concernées d'une part, liées au nombre et à la masse des talles dont la vitesse de croissance est toujours restée positive,
- l'état d'avancement de leur sénescence d'autre part : nos résultats montrent qu'en deçà d'une certaine durée l'interruption de croissance d'une talle n'est pas létale; au-delà, si. Cette durée est probablement variable selon l'importance du déficit azoté qui a provoqué l'arrêt de croissance. Cependant, elle apparaît importante, d'au moins dans nos conditions.

J *sejour*
La reprise de croissance a été largement différée par rapport à l'apport d'azote. L'interprétation de ce temps de latence ainsi que la définition des caractéristiques d'état physiologique d'une talle encore apte à la croissance auraient nécessité une étude couplée des métabolismes azoté et carboné, sur des pas de temps très courts dans la période encadrant la suppression de la limitation, et au moins de connaître les formes sous lesquelles se trouvait l'azote "total" qui a été dosé dans la plante.

o

o

o

Ces modalités de répartition de la matière sèche montrent que lorsque la quantité d'azote devient insuffisante pour la croissance totale de la plante, il est d'abord utilisé à la croissance des organes existants les plus âgés, prioritairement à celle de nouveaux organes ; lorsqu'elle redevient non limitante de nouveaux organes peuvent s'exprimer. Ils correspondent alors aux bourgeons axillaires les plus jeunes.

L'analyse des conditions d'une reprise du tallage et/ou de la croissance de talles en voie de sénescence et les différences

constatées dans l'importance de ces phénomènes entre les deux sites, permettant d'exclure qu'ils soient sous la dépendance directe d'un stade de développement particulier du brin-maître ou des talles. Leur origine est en premier lieu nutritionnelle. Ils se sont extériorisés en relation avec une réalimentation du peuplement en azote, de manière variable selon d'une part l'état physiologique de la plante et de ses organes, créé par son "histoire nutritive" antérieure, d'autre part les conditions d'éclairement créés par les plantes voisines.

Il est remarquable que, pour des modalités de répartition de la biomasse totale très différentes (nombre de talles, dynamique de croissance de ces talles) et des régimes nutritifs très différents, le nombre de grains produits par la première génération de talles sont en relation linéaire positive étroite, avec la masse de matière sèche végétative mesurée à la récolte. Pour les verdillons, cette relation existe, mais avec une efficacité de la biomasse supérieure.

Les conditions de nutrition qui prévalent pendant la partie tout à fait terminale de la montaison jouent fortement sur la fertilité de l'épi, en particulier en augmentant le nombre d'épillets totaux, ce qui rapprocherait l'orge à 6 rangs, davantage du riz que du blé.

o

o

o

Nos résultats montrent qu'un même nombre de grains par unité de surface peut résulter de combinaisons très variables de ses sous-composantes, largement dépendants des conditions de nutrition azotée. Par rapport à la conduite de la culture, ils pourraient signifier l'existence d'une large souplesse dans les dates d'apport d'engrais et leur mode de fractionnement. Ainsi, un 1er apport d'azote en sortie d'hiver ne semble pas utile si on en fait un dès le stade 1 cm ; les résultats de nos deux années d'expérimentation vont dans ce sens. Si on effectue un 1er apport, même limité, le nombre de grains apparaît peu pénalisé tant que le 2ème apport n'est pas différé au delà de la mi-montaison.

Ces conclusions doivent cependant être considérées avec prudence : en particulier, il faut remarquer que les phénomènes de reprise du tallage, reprise de croissance des talles en voie de sénescence, ou la forte réponse du nombre de grains/épi aux apports d'engrais tardifs ont été observés dans des conditions où l'engrais a pu être efficace très rapidement après son application, du fait d'une pluviométrie très régulière pendant tout le printemps, jusque début juin. Or, des périodes durables sans pluies, entraînant une solubilisation différée de l'engrais sont fréquentes, même sous le climat du Bassin Parisien.

Par ailleurs, si l'on destine la récolte à la malterie, la souplesse dont on dispose dans le mode de fertilisation azotée est sans aucun doute plus restreinte : étalant les dates de maturité des grains et augmentant l'hétérogénéité de leur calibre, un décalage important des montées des talles, déprécie la qualité.

B I B L I O G R A P H I E

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AASE J.K. - Relationship between leaf area and dry matter in Winter Wheat.
Agron. J., 70, 563-565
- ASPINALL D. (1961) - The control of tillering in the barley plant.
I - The pattern of tillering and its relation to nutrient supply.
Aust. J. Biol. Sci., 14(4), 493-505
- BAKER C.K., GALLAGHER J.N. (1983) - The development of the Winter Wheat in the field.
2 - The control of primordium initiation rate by temperature and photo-period.
J. Agric. Sci., Camb., 101, 337-344
- BALDY Ch (1973) - Etude du peuplement de blé (*Triticum aestivum* L. em. Thell).
Croissance, répartition de la lumière et assimilation nette.
Thèse de Docteur Ingénieur, Université PARIS-SUD (ORSAY) (27/04/73)
- BALDY Ch. (1974) - Sur le comportement des cultivars de Blé tendre (*Triticum aestivum* L. em. Thiell.) cultivés seuls ou en associations binaires en lignes alternées.
Ann. Agron., 25(1), 61-91
- BELFORD R.K. (1981) - Response of Winter Wheat to prolonged waterlogging under outdoor conditions.
J. Agric. Sci., Camb., 97, 557-568
- BERBIGIER A., CHERY J. (1978) - L'amélioration de l'orge.
BTI, 330, 293-313
- BISCOE P.V., CALLAGHER J.N., LITTLETON E.J., MONTEITH J.L., SCOTT R.K. (1975) -
Barley and its environment.
IV - Sources of assimilates for the grain.
J. appl. Ecol., 12, 295-318
- BOIFFIN J., SEBILLOTTE M., COUVREUR F. (1976) - Incidence de la simplification du travail du sol sur l'élaboration des rendements du blé et du maïs.
Colloque ITCF : "Simplification du travail du sol en production céréalière". ITCF, PARIS, 239-280
- BOIFFIN J., CANEILL J., MEYNARD J.M., SEBILLOTTE M. (1981) - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du Blé d'hiver.
I - Protocole expérimental et méthode d'étude d'un problème technique régional.
Agronomie, 1(7), 549-558

- BOIFFIN J., MEYNARD J.M. (1982) - Exemple d'approche régionale pour détecter les facteurs et conditions limitant le rendement d'une culture : Cas du Blé d'hiver en Champagne Crayeuse.
BTI, N° 370-372, 103-145
- BONNETT, O.T. (1936) - The development of the barley spike.
J. Agron. Res., 51, 451-457
- CANNELL R.Q. (1969) - The tillering pattern in barley varieties.
I - Production, survival and contribution to yield component by tillers.
J. Agric. Sci., Camb., 72, 405-422
- CHATTERJEE S.R., POKHRIYAL T.C., ABROL Y.P. (1981) - Nitrogen economy of the main shoot of field grown barley (*Hordeum vulgare* L.).
J. Exp. Botany, 32(19), 689-699
- COIC Y. (1949) - L'apport à dose normale et à une époque favorable d'engrais azoté immédiatement assimilable peut provoquer ultérieurement un besoin supplémentaire d'azote.
C.R. Acad. Agric. Fr., 2, 79-82
- COIC Y. (1956) - La nutrition et la fertilisation azotées du Blé d'hiver.
I - Les besoins en azote du Blé d'hiver. Conséquences agronomiques.
Ann. Agron., 1, 115-130
- COIC Y. (1950) - Fertilisation azotée rationnelle du blé.
C.R. Acad. Agric. Fr., (8), 296-299
- DARWINKEL A. (1983) - Ear formation and grain yield of Winter Wheat as affected by time of nitrogen supply.
Neth. J. Agric. Sci., 31, 211-225
- DAVIES A., EVANS M.E., EXLEY J.K. (1983) - Regrowth of perennial Rye Grass as affected by simulated leaf sheaths.
J. Agric. Sci., Camb., 101, 131-137
- DE WIT C.T. (1979) - The efficient use of labour, land and energy in agriculture.
Agric. Systems, 279-287
- DONALD C.M. (1963) - Competition among crop and pasture plants.
Adv. Agron., 15(1), 1-114
- DURR C. (1984) - Systèmes de culture et élaboration du rendement du Riz (*Oriza sativa* L.) en Camargue.
Thèse de Docteur Ingénieur INA-PG, PARIS, 193 pp + Annexes
- ELLEN J., SPIERTZ J.H.J. (1980) - Effects of rate and timing of nitrogen dressings on grain yield formation of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.).
Fertilizer Res., 1, 177-190
- FLETCHER G.M., DALE J.E. (1974) - Growth of tiller buds in Barley : Effects of shade treatment and mineral nutrition.
Ann. Bot., 38, 63-76
- FLEURY A., RONCIN F. (1968-69) - Arrière-effet d'un état de compétition sur les composantes du Blé d'hiver.
C.R., Chaire d'Agronomie, INA-PG, PARIS

- FRANK A.B., BAVER A. (19) - Effect of temperature and fertilizer N on apex development in Spring Wheat.
Agronomy J., 74(3), 504-509
- GALLAGHER J.N., BISCOE P.V., SCOTT R.K. (1976) - Barley and its environment.
VI - Growth and development in relation to yield .
- GITTON C (1982) - Jugement technique sur l'intensification de la culture du Blé d'hiver dans des exploitations du Noyonnais.
Mémoire, Chaire d'Agronomie, INA-PG, PARIS
- HAUN J.R. (1973) - Visual quantification of wheat development.
Agron. J., 65, 116-119
- HEBERT J. (1969) - La fumure azotée du Blé tendre d'hiver.
BTI, 244, 755-766
- HEBERT J. (1973) - Efficacité et rentabilité des engrais azotés.
Bull. AFES, 199-205
- HENIN S., SEBILLOTTE M. (1981) - Fertilisation azotée et risque de pollution.
Réflexions sur un modèle.
C.R. Acad. Agric. Fr., 1, 60-72
- ITCF (1983) - Numéro Spécial : Culture de l'Orge d'hiver.
Perspectives Agricoles, 73, 16-64
- JONARD P., KOLLER J., VINCENT A. (1952) - Evolution de la tige et de l'épi chez la variété de blé VILMORIN 27 au cours de la période de reproduction.
Ann. Amélior. Plant., 2(1), 31-54
- JONARD P., ODENT M. (1967) - Etude sur l'évolution de l'azote au cours de la croissance de la tige principale du Blé tendre.
Ann. Amélior. Plant., 17(1), 23-31
- KIRBY E.J.M. (1967) - The effect of plant density upon the growth and yield of Barley.
J. Agric. Sci., Camb., 68, 317-324
- KIRBY E.J.M., FARIS D.G. (1970) - Plant population induced growth correlations in the barley plant main shoot and possible hormonal mechanisms.
J. exp. Bot., 21, 787-798
- KIRBY E.J.M., FARIS D.G. (1972) - The effect of plant density on tiller growth and morphology in Barley.
J. Agric. Sci., Camb., 78, 281-288
- KIRBY E.J.M. (1974) - Ear development in Spring Wheat.
J. Agric. Sci., Camb., 82, 437-447
- KIRBY E.J.M., ELLIS R.P. (1980) - A comparison of Spring Barley grown in England and in Scotland.
1 - Shoot apex development.
J. Agric. Sci., Camb., 95, 101-110
- KIRBY E.J.M., APPELYARD M., FELLOWES G. (1982) - Effects of sowing date on the temperature response of leaf emergence and leaf size in Barley.
Plant, Cell and Environment, 5, 477-484

- LEMAIRE G., SALETTE J. (1984) - Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères.
II - Etude de la variabilité entre génotypes.
Agronomie, 4(5), 431-436
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1984) - Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères.
I - Etude de l'effet du milieu.
Agronomie, 4(5), 417-422
- MALVOISIN P., VINCENT A. (1982) - Ecophysiologie des céréales à paille. Applications en sélection.
Réunions des 26 et 27/01/82, CNRA (VERSAILLES), 55-120
- MALVOISIN P. (1984) - Organogénèse et croissance du maître-brin du Blé tendre (*Triticum aestivum*), du semis à la floraison.
I - Relations observées entre la croissance foliaire et la différenciation des ébauches foliaires ou florales.
Agronomie, 4(6), 557-564
- MANICHON H. (1982) - Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : Elaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique.
Thèse de Docteur Ingénieur INA-PG, PARIS, 214 pp + Annexes
- MASLE J. (1980) - L'élaboration du nombre d'épis chez le Blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière.
Thèse de Docteur Ingénieur, INA-PG, PARIS, 201 pp + Annexes
- MASLE J. (1981) - Relation entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de Blé d'hiver. Influence des conditions de nutrition.
Agronomie, 1(5), 365-374
- MASLE J. (1981) - Etude de l'hétérogénéité d'un peuplement de Blé d'hiver.
I - Notion de structure de peuplement.
Agronomie, 1(3), 207-216
- MASLE J. (1982) - Elaboration du nombre d'épis d'un peuplement de Blé d'hiver en situation de compétition pour l'azote.
II - Modélisation du nombre d'épis.
Agronomie, 2(1), 17-24
- MASLE J. (1982) - Approche de l'élaboration du rendement du blé par l'agronome.
Séminaire INRA-AGRONOMIE, VICHY, mars 1982, 9 pp.
- MASLE J. (1982) - Influence of nitrogenous nutrition on tillers behaviour in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.).
In : Proceedings of the 9th International Plant Colloquium, Vol. 1, 366-371

- MASLE J. (1983) - Comportement variétal chez le Blé d'hiver en situation de compétition pour l'azote. Elaboration du nombre d'épis.
Colloque "Plante entière", 11 et 12/10/83. Ed. INRA Publ (Les Colloques de l'INRA, sous presse).
- MASLE J. (1984) - Competition among tillers in Winter Wheat, consequences on growth and development of the crop.
In : "Wheat growth and modelling", NATO Workshop Proceedings, BRISTOL. April 1984, in press.
- MEYNARD J.M., BOIFFIN J., CANEILL J., SEBILLOTTE M. (1981) - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du Blé d'hiver en Champagne Crayeuse. II - Types de réponse à la fumure azotée et application de la méthode du bilan prévisionnel.
Agronomie, 1(9), 795-806
- MEYNARD J.M. (1983) - Perspectives pour la conduite des blés clairs.
C.R. Acad. Agric. Fr., 69(11), 830-838
- MEYNARD J.M., SEBILLOTTE MM. (1983) - Diagnostic sur les causes de variation du rendement du blé dans une petite région.
In Colloque : "La Fatigue des Sols", 21 et 22/10/82. Ed. INRA Publ. 1983 (Les Colloques de l'INRA, N°17)
- MEYNARD J.M., DANZART M. (1984) - Utilisation de la régression qualitative pour la classification du terrain. Exemple des terrains du Noyonnais.
Cycle Supérieur d'Agronomie. Janvier 1984 : "Agronomie et Analyse des données".
- MEYNARD J.M. (1985) - Les besoins en azote du Blé d'hiver jusqu'au début de la montaison.
Agronomie, 5(6), sous presse
- MOULE C. (1980) - Phytotechnie spéciale. Bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grande culture.
Céréales. Ed. La Maison Rustique, PARIS, 155-188
- ONG C.K. (1978) - The physiology of tiller death in grasses.
I - The influence of tiller age, size and position.
J. br. Grassland Soc., 33, 205-211
- PIGEAIRE A. (1980) - Contribution à l'analyse de l'élaboration du rendement du riz pluvial.
Doc. ORSTOM, 99 pp.
- POWER J.F., ALESSI J. (1982) - Tiller development and yield of standard and semi-dwarf Spring Wheat varieties as affected by nitrogen fertilizer.
J. Agric. Sci., Camb., 90, 97-108
- PRIOUL J.L., GUYOT C. (1985) - Correction par la fertilisation minérale des effets de l'ennoyage sur le Blé d'hiver.
II - Expérimentation en culture hydroponique.
Agronomie (sous presse)
- RACKHAM O. (1982) - Responses of the barley crop to soil water stress. Crop processes in controlled environment (Ed. A.R. REES).
Acad. Press. LONDON, 127-138

- RAHMAN M.S., WILSON J.H. (1977) - Effect of phosphorus applied as superphosphate on rate of development and spikelet number per ear in different cultivars of wheat.
Aust. J. Agric. Res., 28, 183-186
- RAWSON H.M. (1971) - Tillering pattern in wheat with special reference to the shoot at the coleoptile node.
Aust. J. Biol. Sci., 24, 829-841
- REMY J.C. (1977) - L'interprétation automatique des résultats d'analyses du sol. Un exemple pratique de mise en oeuvre.
In : "Le Potassium en Agriculture".
Cycle Supérieur d'Agronomie, INA-PG, 1976-77
- REMY J.C., HEBERT J. (1977) - Le devenir des engrais azotés dans le sol.
C.R. Acad. Agric. Fr., 11, 700-710
- REMY J.C., VIAUX P. (1980) - Evolution des engrais azotés dans le sol.
Perspectives Agricoles, 43, 5-9
- RICKMAN R.W., KLEPPER B.L., PETERSON C.M. (1982) - Quantitative characterization of vegetative development in small grains.
Agronomy J., 74, 789-792
- SAUT M.H. (1981) - Contribution à l'étude des relations sociales entre le Blé d'hiver (*Triticum aestivum* L. em. Thell.) et le Ray Grass raide (*Lolium rigidum* Gand.) : Rôle des caractéristiques respectives de développement et de croissance des deux espèces.
Thèse de Docteur Ingénieur, INA-PG PARIS, 148 pp + Annexes
- SCEES (1983) - Données de statistique agricole réunies à partir de 65 départements français. (PARIS)
- SEBILLOTTE M., BOIFFIN J., CANEILL J., MEYNARD J.M. (1978) - Sécheresse et fertilisation azotée du Blé d'hiver. Essai d'analyse de situations au champ par l'étude des composantes du rendement.
Science du Sol, Bull. AFES, 3, 197-214
- SEBILLOTTE M. (1980) - An analysis of yield elaboration in Wheat.
In : "Wheat, a technical monograph". CIBA-GEIGY (BALE), 25-32
- THOMAS L.M., HILLS H.F. (1972) - Statistical methods in agricultural research.
QUCD Book Store. Univ. of California, DAVIS, 95616
- THORNE G.N., WATSON D.J. (1955) - The effect on yield and leaf area of wheat of applying nitrogen as a top-dressing in April or in sprays at ear emergence.
J. Agric. Sci., Camb., 46, 449-457
- THORNE G.N. (1962) - Survival of tillers and distribution of dry matter between ear and shoot of barley varieties.
Ann. Bot., 101(26), 37-54
- THORNE G.N. (1962) - Effects of applying nitrogen to cereals in the spring or at ear emergence.
J. Agric. Sci., Camb., 58-89

- WATSON D.J. (1939) - Field experiments on the effect of applying a nitrogenous fertilizer to Wheat at different stages of growth.
J. Agric. Sci., Camb., 29, 379-398
- WHINGWIRI E.E., KEMP D.R. (1980) - Spikelet development and grain yield of the wheat ear in response to applied nitrogen.
Aust. J. Agric. Res., 31, 637-647
- WILLIAMS R.F. (1966) - The physiology of growth in the wheat plant.
III - Growth of the primary shoot and inflorescence.
Aust. J. Biol. Sci., 19, 949-966
- YU O., GOUNOT M. (1981) - Recherches sur le tallage chez le Dactyle (*Dactylis glomerata* L.).
Oecol. Plant., 2(16), 351-365

=====

A N N E X E S

PREMIERE PARTIE

- 0 - Echelle utilisée pour la notation des stades de l'apex.
- 1 - Protocole d'observations et mesures - Echantillonnage - 1982
- 2 - Synthèse des itinéraires techniques - 1982 -
Analyses de sol - essais 1982 - Reliquat azote minéral.
- 3 - Caractéristiques climatiques de la campagne 1981-82
- 4 - Composantes du rendement 1982
- 5 - Biomasse aérienne aux différentes dates de prélèvement -
Nombre de talles - Teneur en azote dans la plante -

DEUXIEME PARTIE

- 6 - Protocole d'observations et mesures 1983
- 7 - Caractéristiques climatiques de la campagne 1982-83
- 8 - Composantes du rendement - Harvest index sur les trois
essais - 1983
Effectifs et caractéristiques des deux groupes de talles
fertiles "jaunes" et "verdillons" -
- 9 - Teneur en azote dans la plante - Quantité d'azote absorbée -
Biomasse aérienne/m² -
Variation des poids secs des talles -
- 10 - Fréquence des talles des différents rangs à la date 3 puis
à maturité -
- 11 - Fréquence de NE - NT - NM pour GRI d2 et NOY -
- 12 - Effectifs des trois catégories de talles fertiles NE₁, NE₂,
NE₃

STADE	CARACTERISTIQUES										
VEGETATIF	Apex lisse										
"STRIES BLANCHES" (At)	Apparition de quelques bandes transversales vert foncé et vert clair (= 1ère ébauches d'entre-noeuds)										
Ae	L'apex se ride : apparition de 2 saillies dont l'une étroite et l'autre plus large qui va se renfler (= 1ère ébauche d'épillet).										
Ax, y	x = ébauches d'épillets visibles sur les 2 rangs centraux y = ébauches d'épillets visibles sur les 4 rangs latéraux (l'escourgeon étant de type hexastique)										
B	Apparition de glumes (2 par épillet) = renflements apparaissant latéralement à la base de l'épillet.										
BII	Apparition de glumelles. Dans nos essais ce stade a coïncidé avec le "stade épi à 1 cm" (c'est-à-dire sommet de l'épi distant de 1 cm de la base du plateau de tallage)										
C	Apparition de bourgeon floral de la 1ère fleur (protubérance hémisphérique surmontant la glumelle)										
CI	Apparition des étamines de forme tronconique										
CII	Apparition des 2 cornes du stigmate qui s'écarteront quelques jours après.										
D	Méiose										
GONFLEMENT (G)	L'épi gonfle la gaine de la dernière feuille										
EPIAISON	<table border="0"> <tr> <td>E0</td> <td>Sortie des barbes de l'épi</td> </tr> <tr> <td>E1</td> <td>Epi sorti de 1/4 de sa longueur</td> </tr> <tr> <td>E2</td> <td>" " 2/4 "</td> </tr> <tr> <td>E3</td> <td>" " 3/4 "</td> </tr> <tr> <td>E4</td> <td>Epi totalement sorti</td> </tr> </table>	E0	Sortie des barbes de l'épi	E1	Epi sorti de 1/4 de sa longueur	E2	" " 2/4 "	E3	" " 3/4 "	E4	Epi totalement sorti
E0	Sortie des barbes de l'épi										
E1	Epi sorti de 1/4 de sa longueur										
E2	" " 2/4 "										
E3	" " 3/4 "										
E4	Epi totalement sorti										
F	Fécondation extériorisée par la floraison										
FORMATION DU GRAIN	<table border="0"> <tr> <td>L</td> <td>grain laiteux</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>" pâteux</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>" tendre</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>" dur (maturité physiologique)</td> </tr> </table>	L	grain laiteux	p	" pâteux	t	" tendre	d	" dur (maturité physiologique)		
L	grain laiteux										
p	" pâteux										
t	" tendre										
d	" dur (maturité physiologique)										

Annexe 1 : Protocole d'observation et échantillonnage. 1982.

PEUPELEMENT	DATE		
	1 (stade 54 pour TIE et STB ; 74 pour les autres essais) 11-12/82	2 (= stade/cm) 18/03 - 6/04	MATURITE 5-7/ 07
<u>échelle placette (1)</u>			
NP	X	X	X
Biomasse aérienne	X	X	X
Composantes du rendement			
NE			X
NG/NE			X
NG			X
P1G			X
<u>échelle plante individuelle (2)</u>			
Séquence des talles	X	X	
Stade foliaire toutes talles	X	X	
Stade apex	X	X	
Distance sommet épi-base	} Brin } maître	X	
du plateau de tallage			
<u>échelle plante moyenne (2)</u>			
Stade foliaire/taille T1	X	X	
Poids sec/taille T1	X	X	
Poids sec/plante	X	X	X grain paille
Teneur N total (Kjeldahl)	X	X	X grain paille

ET

au stade laiteux-pateux ; sur la parcelle notation de l'état sanitaire du feuillage (3)

(1) 10 placettes/traitement

- 1 placette = 2 lignes contigues de 50 cm de long, soit environ. 0,17 à 0,20 m²

- les placettes sont réparties sur les différentes lignes de semis.

(2) 100 plantes prélevées à la suite de chaque placette à raison de 5 plantes/ligne de chaque placette.

(3) Notation en 10 points de chaque traitement; en chaque point, la surface concernée par l'observation est de dimension comparable à une placette.

A : 1.2

MODE DE NOTATION

- . Séquence de tailles : pour chaque plante, identification des tailles par leur ordre et leur rang :
Tij = taille issue du bourgeon situé à l'aisselle de la j^è feuille de la taille Ti
- . Stade foliaire : nombre de feuilles en notation décimale.
- . Stade de l'apex : échelle de BONNET, 1936.

MILIEU

1/ MESURE N MINERAL (NO₃ - NH₄) PRESENT DANS LE SOL sur la profondeur maximum d'enracinement prévue :

- . mesure par horizon de 20 cm d'épaisseur, de 0 à 120 cm
- . 2 dosages/horizon correspondant au mélange de 3 carottes.
- . méthode de dosage : colorimétrie (Laboratoire de Technologie de GRIGNON - INA P-G)

Dosage effectué le 1-2/03 juste avant le 1er apport d'engrais azote Y.

2/ HUMIDITE PONDERALE DANS LE SOL

mesure en même temps que le reliquat d'azote minéral, puis à la floraison.

mesure par horizon de 20 cm de 0 à 120 cm selon même mode de sondage que pour l'azote minéral (Cf. supra).

3/ ETAT STRUCTURAL - PROFIL D'ENRACINEMENT :

à la floraison :

sur une tranchée de 1,80 cm de large et une profondeur \geq à la profondeur atteinte par la dernière racine vue.

4/ ANALYSE GRANULOMETRIQUE ET CHIMIQUE

prélèvement de l'horizon 0-30 cm - à l'automne.

A :2.1

CODES ESSAIS	TRAVAIL DU SOL LABOUR SUIVI de..	INTERVENTIONS EN COURS DE CYCLE, AUTRES QUE LES APPORTS D'ENGRAIS N.			
		DESHERBAGE	FONGICIDES 1982	INSECTICIDES	ANTI-VERSE
MIL	Vibroculteur + herse	1/10/81 : Chandor (100 kg/ha)	30/04 : Tilt (1 l/ha) 30/05 : Cerosal (0,35 L/ha) + Maneos (D.R.) ⁽¹⁾	-	-
BOUA	Herse alternative	3/10/81 : Chandor (5 l/ha)	3/05 : Slorta K (1,42 l/ha)	12/11/81 : Agrolimace (D.R.) (1)	13/05 : Etheverse (1 l/ha)
BOUS	Crosskillage herse alternative	2/10/81 : Chandor (4,5 l/ha)	13/04 : Cerosal (0,35 l/ha) Bayleton 25 (0,5 kg/ha) 13/05 : Sportack (1,5 kg/ha)	-	" "
GVM	3 passages de R au Comoi - Roulage Herse rotative	2/10/81 : Dicuran (5 l/ha)	21/04 : Tilt (1 l/ha)	-	-
HACS	2 passages de herse	30/03/82 : Tolkans (5 l/ha)	10/04 : Sportak (1,5 l/ha) 30/04 : Tilt (1 l/ha)	-	30/04 : Ethevers (1 l/ha)
HACL	idem HACS	Début mars 82 : "	idem HACS	-	idem HACS
TEN	Herse rotative	30/09/81 : Treplic (5 kg/ha)	29/04 : Tilt (1 l/ha) + Terpal (2,5 l/ha) + Soufre (3 kg/ha)	-	-
STB	1 passage de herse	27/03/82 : Afal (1,8 kg/ha) + Cartihol (2,5 l/ha)	5/05 : Splandor (1 l/ha)	-	-
TIE	2 passages de herse	7/04/82 : Basagran DR (4 l/ha)	-	-	-
OOT	Herse rotative	30/09/81 : Dicuran (D.R.) (1)	21/04 : Tilt (1 l/ha)	-	12/05/82 : Etheverse (1 l/ha)

(1) D.R. = Dose recommandée

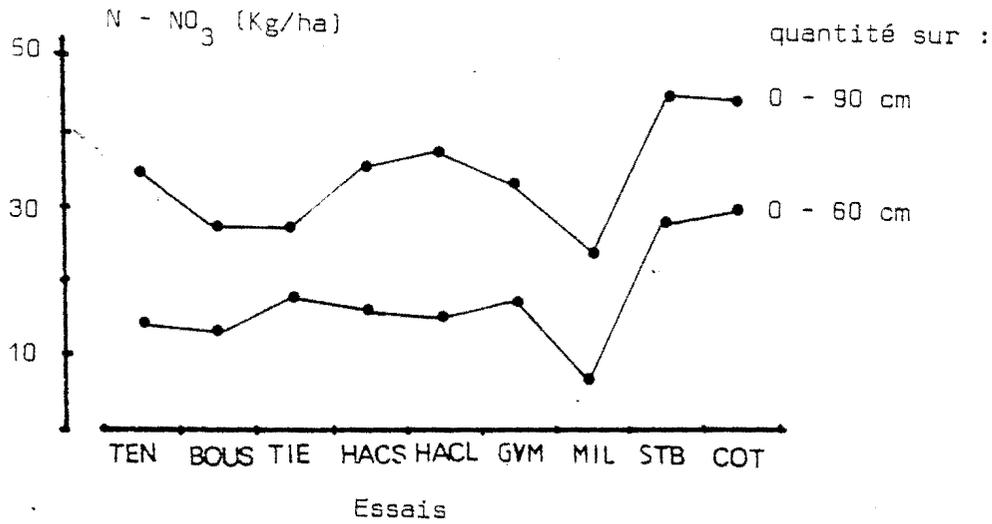
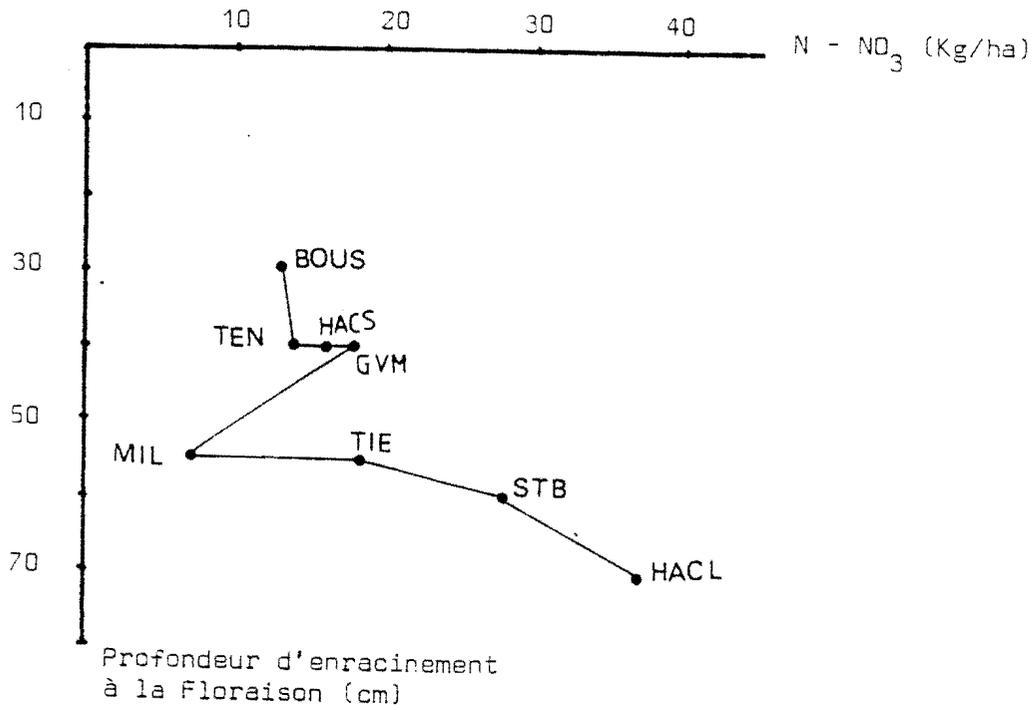
Synthèse des itinéraires techniques - Essais escourgeon - 1982 -

ANALYSE DES SOLS - RESULTATS (Laboratoire d'ARRAS)

DESIGNATION DES ELEMENTS (analysés) DES SOLS ETUDIÉS	CODE DES ESSAIS											
	ESSAIS 1982 (Noyonnais)									ESSAIS 1983		
	MIL	STB	HAC-S	HAC-L	80U-S	80U-A	TIE	TEN	GNM	NOY	GRI	
Granulométrie sans décal. 5 fractions (p. 1000)	Argile (A)	79	195	144	146	111	180	131	146	180	201	295
	Limon Fin (LF)	92	204	105	169	89	184	208	130	163	256	232
	Limon Grossier (LG)	137	421	155	292	94	302	379	154	207	384	330
	Sable Fin (SF)	417	176	540	362	696	312	234	546	417	137	109
	Sable Grossier (SG)	285	4	56	31	10	22	48	24	33	12	34
Carbone Org. Méth. ANNE - Mat. Org. (p. 1000)												
Carbone Organique Méth. ANNE	7,5	11,0	9,2	9,9	11,5	9,7	11,7	9,2	11,9	9,1	12,9	
Matières Organiques (MO)	12,9	18,9	15,8	17,0	19,7	16,6	20,1	15,3	20,4	15,6	22,1	
Azote KJELDAHL (p. 1000)	0,76	1,31	1,09	1,18	1,05	1,18	1,18	1,02	1,44	1,18	1,41	
Rapport Carbone Organique (ANNE)/ Azote KJELDAHL	9,86	8,39	8,44	8,38	10,95	8,22	9,91	9,01	8,26	7,71	9,14	
pH Eau	6,3	7,8	6,6	7,6	8,2	8,0	7,7	6,3	6,9	8,0	8,2	
Calcaire Total (p. 1000)	0	3	0	0	9	5	7	0	0	4	16	
Acide Phosphorique JORET-HEBERT (p. 1000)	0,35	0,19	0,19	0,25	0,21	0,16	0,44	0,16	0,11	0,18	0,41	
Capacité d'échange Méth. de METSON (meq. %)	5,0	10,4	7,9	8,8	6,1	9,3	7,7	7,4	11,9	10,9	15,2	
Magnésium échangeable (meq. %)	0,15	0,47	0,40	0,25	0,22	0,33	0,22	0,25	0,53	0,39	1,14	
Potassium échangeable (meq. %)	0,36	0,547	0,417	0,219	0,257	0,416	0,342	0,311	0,432	0,478	0,648	
Magnésium échangeable (p. 1000)	0,013	0,057	0,048	0,031	0,027	0,040	0,027	0,032	0,065	0,047	0,137	
A + 5 MO	143	289	223	231	209	263	231	225	282	279	405	
Niveaux Eléments minéraux majeurs :												
P ₂ O ₅	TE	S	S	AE	S	AF	TE	AF	F	S	TE	
K ₂ O	TE	TE	TE	S	AE	TE	E	E	TE	TE	TE	
MgO	F	S	S	F	F	AF	F	AF	S	AF	TE	

Légende : TE : Très élevé - S : Satisfaisant - AE : Assez élevé - AF : Assez faible - F : Faible

A: 2.3



Reliquat d'azote minéral laissé par le précédent sur les différents essais, mesuré en sortie d'hiver (1982)

A N N E X E 3 .

FACTEURS de CLIMAT	DECADES	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET
t°c	1	/	123,60	69,60	35,60	39,65	56,40	53,35	31,35	31,00	199,60	176,00
	2	/	88,90	65,00	11,55	5,60	39,40	52,40	68,30	147,90	144,50	200,50
	3	depuis le 29	30,90	64,60	27,40	30,75	13,60	72,30	79,30	163,90	159,30	177,00
	Totaux/mois		22,90	293,40	199,20	74,65	76,00	109,40	178,55	239,55	392,50	503,90
(mm)	1	/	31,50	2,50	49,00	55,50	10,50	14,00	30,50	37,00	5,50	2,50
	2	/	64,00	9,50	39,00	8,00	4,50	33,00	1,00	31,00	25,00	6,00
	3	0	49,50	24,00	43,50	10,50	0,00	9,50	2,50	41,00	32,50	23,00
	Totaux/mois		0	145,00	36,00	131,50	74,00	15,00	56,50	33,50	139,00	63,00
P (mm)	1							9,76	14,14	17,53	40,66	38,79
	2							11,08	20,61	34,22	31,76	46,41
	3							13,84	19,08	38,73	31,53	27,69
	Totaux/mois							34,68	53,83	90,28	104,01	112,89
ETP	1							+ 4,24	+ 16,36	+49,47	- 35,16	- 36,29
	2							+ 22,92	- 19,61	- 3,22	- 6,76	- 40,41
	3							- 4,34	- 16,58	+ 2,27	+ 0,91	- 4,69
Jl TP	1							+ 4,24	+ 39,18	-52,46	+ 16,35	- 25,79
	2							+ 27,16	+ 19,57	+ 49,24	+ 9,59	- 66,20
	3							+ 22,82	+ 2,99	+51,51	+ 10,36	- 70,89

A:3.2

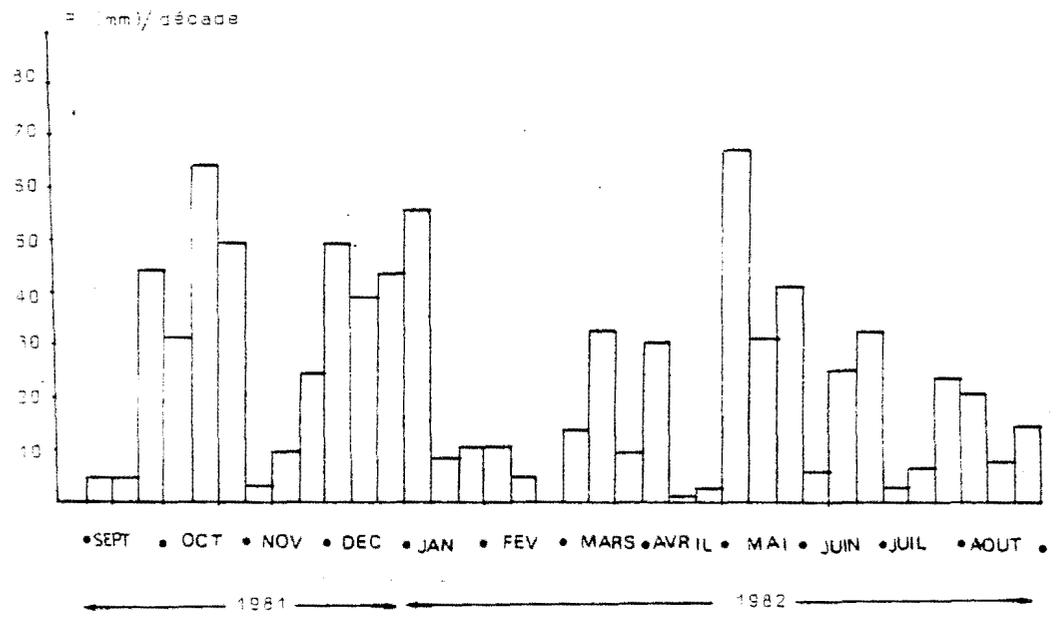


Fig. - Pluviométrie décadaire (poste de l'ADANE-ville de NOYON)
Campagne 1981 - 82.

A N N E X E : 4 .

A : 4.1

ESSAI	Dates de Semis	NP/m ²	TRAITEMENTS N :		NE/m ²	VG/épl	VG/m ²	716 PMG03 (mg)	Rdt03 (g/ha)	MS totale (g/m ²)	H.I.	PMG 15,5 % (mg)	Rdt 15,5 % (g/ha)
			Code	(dose N totale)									
MIL	178		OM	(80)	358 ⁽¹⁾	a 29,0 b	10397 b	31,9 a	33,1 b	732,2	0,452	37,7	38,2
			YM	(160)	305	a 31,0 b	9440 b	34,3 a	32,4 b	775,1	0,417	40,6	38,3
			NA	(150)	310	a 24,1 a	7462 a	32,4 a	24,2 a	634,0	0,392	38,4	28,7
BOUA	183		OM	(65)	296	a 43,8 a	12915 a	33,8 b	43,7 ab	983,8	0,444	40,0	51,7
			YM	(145)	368	b 46,3 a	17965 b	30,8 a	55,2 b	1153,0	0,479	36,4	55,4
			NA	(134)	293	a 42,9 a	12573 a	33,7 b	42,4 a	1001,0	0,423	39,9	50,1
GVM	218		OO	(0)	312	a 32,8 a	10234 a	31,8 a	32,5 a	680,4	0,478	37,6	38,5
			OM	(100)	450	bc 43,8 b	19755 b	30,4 a	60,0 b	1143,0	0,525	35,9	71,0
			YM	(180)	489	c 41,0 b	20069 b	30,9 a	62,0 b	1299,0	0,477	36,6	73,4
			NA	(180)	431	b 42,3 b	18249 b	31,6 a	57,7 b	1222,0	0,472	37,4	58,3
HACL	224		OO	(0)	373	a 37,8 a	14099 a	31,9 a	45,0 a	872,8	0,516	37,8	53,3
			OM	(80)	464	b 37,9 a	17576 b	32,2 c	56,8 b	1043,0	0,543	38,1	57,0
			YM	(160)	631	c 40,2 a	24366 c	30,04 a	76,2 c	1646,0	0,463	35,5	90,2
			NA	(130)	615	c 39,1 a	24028 c	31,37 a	75,4 c	1548,0	0,488	37,1	89,2
HACS	236		OO	(0)	287	a 37,0 a	10619 a	31,5 a	33,5 a	585,0	0,572	37,3	39,8
			YM	(160)	665	b 37,7 a	25084 c	31,6 a	79,3 b	1477,0	0,537	37,4	93,8
			NA	(130)	523	b 37,7 a	19723 b	31,3 a	62,7 b	1384,0	0,463	37,6	74,2
BOUS	267		OO	(0)	297	a 32,4 a	9635 a	30,0 ab	28,9 a	535,3	0,455	35,5	34,2
			OM	(80)	582	b 34,3 a	19934 b	29,5 ab	58,8 b	1190,0	0,494	34,9	59,5
			YM	(160)	577	b 34,9 a	20138 b	28,0 a	56,5 b	1192,0	0,473	33,2	56,3
			NA	(164)	594	b 36,0 a	21390 b	31,9 b	68,2 b	1353,0	0,504	37,8	80,8
TEN	310		OO	(0)	296	a 36,0 a	10668 a	27,8 a	29,7 a	598,7	0,498	32,9	35,1
			YM	(80)	592	b 37,3 a	22058 b	26,2 a	57,8 b	1200,0	0,473	31,0	68,3
STB	177		OO	(0)	280	a 45,0 c	12609 a	35,2 c	44,3 a	760,2	0,583	41,6	52,5
			OM	(80)	466	b 40,4 b	18893 b	31,0 b	58,5 ab	968,1	0,604	36,8	59,2
			YM	(166)	548	b 35,1 a	19240 b	28,7 a	55,3 ab	1235,0	0,447	34,0	36,4
			NA	(66)	416	b 43,0 c	17897 b	34,1 c	61,1 b	1180,0	0,526	40,4	72,3
TIE	293		OO	(0)	297	a 29,7 a	8516 a	33,2 b	28,3 a	7810,0	0,296	39,3	33,5
			OM	(80)	419	a 30,0 a	12570 b	27,3 a	34,4 b	5460,0	0,628	32,4	40,7
			YM	(160)	407	b 35,2 b	14335 b	27,1 a	38,8 b	9454,0	0,563	32,1	46,0
			NA	(76)	390	a 36,2 b	14122 b	32,3 b	45,6 c	9755,0	0,466	38,2	53,3

(1) Les chiffres suivis d'une même lettre sont non significativement différents au seuil de probabilité 5% -

A N N E X E 5 .

ESSAI	TRAITEMENT	DATE 1			DATE 2			M A T U R I T É							
		MS (1)	% N (2)	3N (3)	MS	% N	3 N	PAILLE			GRAINS			% N total (4)	kgN/ quintal grain
								MS	% N	% N paille	MS	% N	% N grain		
MIL	OM	31,36	3,16	10,1	59,45	2,42	14,4	400,3	0,73	40,1	331,3	1,36	35,1	34,3	2,40
	YM	/	/	/	38,00	4,31	29,3	452,2	0,44	19,9	324,3	1,38	44,7	30,3	2,10
	NA	/	/	/	52,15	3,17	19,5	391,8	0,38	14,3	242,1	1,50	36,3	54,0	2,23
BOUA	YO	12,44	3,74	4,65	53,39	4,88	26,3	547,2	0,43	23,5	436,3	1,18	51,5	93,8	1,81
	YM	/	/	/	/	/	/	600,9	0,53	31,3	552,4	1,37	75,7	134,3	2,06
	NA	/	/	/	/	/	/	577,7	0,33	19,1	423,5	1,14	48,3	34,2	1,66
GYM	OO	29,34	3,38	11,0	55,37	3,01	16,7	355,1	0,33	11,7	325,4	1,16	37,8	61,8	1,60
	OM	/	/	/	/	/	/	543,4	0,34	18,5	500,1	1,07	64,2	103,0	1,46
	YM	/	/	/	66,27	5,20	34,5	679,1	0,50	34,0	620,1	1,22	75,6	137,0	1,87
	NA	/	/	/	69,54	5,14	35,7	645,4	0,38	24,5	577,0	1,34	77,3	127,0	1,86
HACL	OO	35,34	3,83	13,7	57,57	3,54	20,4	422,4	0,33	13,9	450,3	1,08	48,6	78,2	1,47
	OM	/	/	/	/	/	/	476,5	0,35	16,7	566,1	1,62	91,7	135,0	2,02
	YM	/	/	/	88,03	5,14	45,2	884,4	0,55	48,6	761,9	1,45	110,5	199,0	2,20
	NA	/	/	/	85,57	4,72	40,4	791,0	0,32	25,3	753,7	1,12	84,4	137,0	1,54
HACS	OO	43,89	3,36	14,7	88,74	2,46	21,8	250,3	0,35	8,7	334,7	1,30	43,5	55,3	1,64
	YM	/	/	/	123,66	4,64	57,4	684,1	0,40	27,4	793,0	1,55	123	188,0	2,00
	NA	/	/	/	84,45	3,84	32,4	756,7	0,44	33,3	627,0	1,52	95,3	161,0	2,17
BOUS	OO	36,31	5,14	18,7	60,07	3,16	19,0	346,5	0,35	12,1	289,4	0,85	24,6	45,9	1,34
	OM	/	/	/	/	/	/	602,3	0,70	42,2	587,8	1,05	61,7	130,0	1,87
	YM	/	/	/	71,56	4,53	33,1	627,7	0,56	35,2	564,6	1,25	70,6	132,0	1,98
	NA	/	/	/	71,29	4,18	29,8	670,9	0,42	28,2	582,4	1,29	88,0	145,0	1,80
TEN	OO	46,50	3,28	15,3	95,17	4,15	39,5	302,1	0,18	5,4	296,6	0,67	19,3	31,6	0,90
	YM	/	/	/	114,40	3,59	41,1	642,1	0,53	34,0	577,5	1,15	66,4	126,0	1,64
	NA	/	/	/	104,78	3,17	33,2	/	/	/	/	/	/	/	/
STB	OO	/	/	/	29,03	4,24	12,3	316,8	0,42	13,3	443,4	1,42	63,0	35,3	1,32
	OM	/	/	/	/	/	/	383,3	0,75	28,7	584,9	1,46	85,4	143,0	2,06
	YM	/	/	/	49,03	5,00	29,4	682,8	0,86	58,7	552,6	1,43	79,02	172,0	2,63
	NA	/	/	/	50,27	5,30	29,7	549,5	0,45	24,7	610,6	1,28	78,2	129,0	1,60
TIE	OO	/	/	/	62,41	3,12	19,5	369,3	0,40	14,7	230,9	1,80	41,6	70,3	2,57
	OM	/	/	/	/	/	/	202,3	0,58	11,7	343,7	1,27	43,6	59,2	1,70
	YM	/	/	/	108,41	4,75	51,5	550,1	0,47	25,9	476,1	1,56	75,2	125,0	2,24
	NA	/	/	/	99,03	4,28	42,4	521,0	0,30	15,5	455,5	1,20	54,7	67,3	1,63

(1) en g/m² - parties aériennes

(2) azote total exprimé en % de la matière sèche

(3) en kg/ha - azote contenu dans les parties aériennes

(4) azote contenu dans les parties aériennes (grain + paille) et les racines (avec l'hypothèse que les racines contiennent 1/5 de l'azote total de la plante - d'après COTC, 1956).

Biomasse aérienne fabriquée en sortie d'hiver (date 1), au stade "1 cm" (date 2) et à maturité - Teneurs en azote et quantités de cet élément contenues dans les parties aériennes à ces mêmes dates - 1982 -

ESSAIS	TRATTEMENTS	NP/m ²			DATE 1				% Arrêt de tallage	DATE 2				% Arrêt de tallage
		date 1	date 2	moyen	MS/plte	MS/m ²	% N	NTR		MS/plte	MS/m ²	% N	NTR	
MIL	OM	180	171	178 ⁺⁷	0,179	31,88	3,16	4,50	51,00	0,334	59,45	2,42	4,49	100,00
	YM		183							0,382	67,99	4,31	6,21	77,57
	NA		172							0,293	52,15	3,17	4,25	99,00
BOUA	Y'	193	172	183 ⁺¹⁵	0,068	12,44	3,74	2,76	37,80	0,295	53,98	4,88	4,57	42,00
GVM	OO	190	220	210 ⁺²¹	0,130	28,34	3,88	3,52	44,55	0,254	55,37	3,01	4,04	85,00
	YM		241							0,304	66,27	5,20	5,45	45,00
	NA		222							0,319	69,54	5,14	4,81	82,00
HACL	OO	270	209	224 ⁺³⁴	0,160	35,84	3,83	5,05	11,65	0,257	57,57	3,54	4,45	93,60
	YM		190							0,393	80,03	5,14	/	/
	NA		228							0,382	85,57	4,72	/	/
HACS	OO	227	242	236 ⁺¹⁵	0,186	43,89	3,36	5,77	23,36	0,376	88,74	2,48	5,42	94,40
	YM		220							0,524	123,66	4,64	/	/
	NA		255							0,358	84,49	3,84	/	/
BOUS	OO	272	244	267 ⁺²⁴	0,136	36,31	5,14	3,80	31,18	0,225	60,07	3,16	3,85	100,00
	YM		299							0,268	71,56	4,63	8,00	57,00
	NA		254							0,267	71,29	4,18	4,43	88,00
TEN	OO	312	297	310 ⁺¹²	0,150	46,50	3,28	3,55	85,71	0,307	95,17	4,15	5,48	49,00
	YM		306							0,369	114,39	3,59	6,30	59,00
	NA		327							0,338	104,78	3,17	/	/
STB	OO	177	182	177 ⁺⁹	0,027	4,78	/	0	0	0,164	29,03	4,24	3,56	44,00
	YM		182		*	*				0,277	49,03	6,00	5,33	10,70
	NA		166							0,284	50,27	5,90	4,86	23,50
TIE	OO	293	295	293 ⁺⁶	0,030	10,26	/	0	0	0,213	62,41	3,12	3,84	95,83
	YM		286		*	*				0,370	108,41	4,75	5,49	44,00
	NA		298							0,338	99,03	4,28	6,02	56,40
COT	OO	220	212	216 ⁺¹¹	0,125	27,25	/	3,97	24,73	0,239	52,10	/	/	/
	YM		204							0,287	62,57			
	NA		232							0,225	49,05			

* valeur obtenue à partir de la relation : nombre de feuilles x MS/plte obtenue pour les autres essais.

a - Essai GRI - 83

1 : 6.1

DATE	NP (1)	MS (2)	% N/ plante (3)	Séq. talles	Stade fol. (4)	Apex	COMPOSANTES DU RENDEMENT(5)			
							NE	NG/NE	NG	PIG
4/11/82	X				X					
18/11					X	X				
5/01/83					X	X				
11/01	①	X	X	X	X	X				
24-25/01	①-a	X	X	X	X	X				
11/03					X	X				
18/03	②	X	X	X	X	X				
31/03					X	X				
19/04	③	X	X	X	X	X				
3/05						X				
9/05	④	X	X	X		X				
19/05	(a)					X (F)	(b)			
25/05						X (F)				
9/06						X	(c)			
14/06						X				
29/06						X				
11/07	R 1		X	X		X	X	X	X	X
21/07	R 2		X	X		X	X	X	X	X

(a) Notation état sanitaire in situ (feuilles et épis)
(b) Floraison
(c) Notation stade du grain

b - ESSAI NOY - 83

3/02/83	①	X	X	X	X	X				
9-10/03	②	X	X	X	X	X				
26/04	③	X	X	X	X	X				
5/05	④	X	X	X		X				
23/05	(a)					X (F)	(b)			
25/05						X (F)				
30/05							X	(c)		
28/06						X				
5/07	R 1		X	X		X	X	X	X	X
13/07	R 2		X	X		X	X	X	X	X

LEGENDE : (1) NP = Nombre de plantes/m². Le 4/11/82 : Comptage in situ de plantules après levée complète, à raison de 30 placettes/densité/bloc. Aux dates 1 à 4 : Comptage de plantes prélevées en placettes (Une placette = 2 x 50m ; ou 2 x 25m ; ou 4 x 25m)(cf. Tab. —, p. —)

(2) Poids sec aérien obtenu après étuvage à 105°C pendant 24 heures. A chaque date : Pesée séparée des talles des différents rangs pour chaque "type" de plante

(TYPE DE PLANTE : I = BM seul
II = BM - O - O - O - T4
III = BM - O - O - T3
IV = BM - O - T2
V = BM - T1)

A la date 3 : Pesées individuelles talle par talle, chaque talle étant référée à sa plante-mère
A Maturité : Même chose en séparant tige et épis et en distinguant talles fertiles "jaunes" et "verdillons"

(3) % d'azote dans la plante : Dosage par la Méthode KJELDAHL
A Maturité : Dosage séparé pour tige + feuilles et épis et pour talles fertiles "jaunes" et "verdillons".
Aux autres dates : Dosage sur les échantillons "placettes".
2 à 8 dosages/traitements, selon les dates

(4) Cf. Mode de notation (Annexes et)

(5) NE = Nombre d'épis ; NG = Nombre de grains ; PIG = Poids sec d'un grain

A la date R1 : Prélèvement de 6 placettes/traitement/bloc. Comptage séparé des épis "jaunes" et "verdillons" mais pesée groupée.
: Prélèvement de 100 plantes entières/traitement/bloc, avec dépouillement individuel ; Séquence de talles ; Poids sec partie végétative et grains ; Nombre de grains ; Nombre d'épillets totaux et fertiles
Hauteur de tige.

N.B. : Cette légende est valable pour les deux essais "GRI" et "NOY". Les différences ne concernent que les dates et les nombres d'échantillons (cf. Tab. , p.)

DATE	Echantillons : Placettes pour observation à l'échelle de surface	Echantillons : Plantes prélevées au hasard pour observation à l'échelle plante
18/11/82		50 plantes/densité (2 blocs confondus)
① 11/01/83	10 placettes/traitement/densité 0 - 0 ₂ - 0 ₃ - 0 ₄ 40 placettes	100 plantes/densité à raison de 5 plantes à la suite de chaque ligne de placette
① a 24-25/02	8 placettes/traitement (0 - A - B - C)/densité/bloc = 128 placettes	Environ 100 plantes/traitement/densité/bloc
② 18/03	5 placettes/traitement (0)/ densité/bloc 8 placettes/traitement (0 ₂ - A ₂ - B ₂ - C)	id.
③ 19/04		100 plantes /traitement/bloc/densité : Prélèvement et ensachage ligne par ligne : 12 sacs-échantillons en d ₁ et 6 en d ₂ . Ceci, pour tenir compte de l'hétérogénéité intra-traitement apparue à cette date. Traitements prélevés : 0 - 0 ₂ - 0 ₃ - A ₂ - A ₃ - B ₂ - B ₃ - C d ₁ : 192 sacs de plantes ; d ₂ : 96 sacs de plantes
④ 09/05		Même type de prélèvement avec en plus les traitements 0 ₄ - A ₄ - B ₄ d ₁ : 264 sacs de plantes ; d ₂ : 132 sacs de plantes
① R 1 11/07	6 placettes/traitement/densité/ bloc (en 0 - 0 ₂ - 0 ₃ - 0 ₄ - A ₂ - A ₃ - A ₄ - B ₂ - B ₃ - B ₄ - C)	1 échantillon d'environ 100 plantes entières/densité/bloc
② R 2 21/07		Prélèvement d'environ 150 épis/traitement (0 ₄ - A ₄ - B ₄)/densité/bloc N.B. : Mais ensachage séparé selon épis "jaunes" et épis "verdillons"

ESSAI "NOY"

DATE	Echantillons : Placettes pour observation à l'échelle de surface	Echantillons : Plantes prélevées au hasard pour observation à l'échelle plante
① 3/02/83	2 placettes/traitement/bloc 0 - 0 ₂ - 0 ₃ - 0 ₄ - A ₂ - A ₃ - A ₄ B ₂ - B ₃ - B ₄ - C, soit 44 échan- tillons	Environ 150 plantes, groupées en un sac-pieds (à raison de 2 à 3 plantes/ligne de placette) pour cette date
② 9-10/03	- 5 placettes/traitement/bloc : 0 ₃ - 0 ₄ - A ₃ - A ₄ - B ₃ - B ₄ - 8 placettes/traitement/bloc : 0 - 0 ₂ - A ₂ - B ₂ - C soit : 70 placettes au total	Soit environ 100 plantes/traitement/bloc
③ 26/04		100 plantes/traitement/bloc : prélèvement au hasard, à raison de 5 petites placettes/traitement (0 - 0 ₂ - 0 ₃ - A ₂ - A ₃ - B ₂ - B ₃ - C) : soit 16 sacs de plantes
④ 5/05		Idem 26/04, mais avec 22 sacs de plantes pour les traitements : 0 - 0 ₂ - 0 ₃ - 0 ₄ - A ₂ - A ₃ - A ₄ - B ₂ - B ₃ - B ₄ - C
① R 1 5/07	idem "GRI"	
② R 2 13/07	idem "GRI"	

ECHANTILLONNAGE ET ECHELLE D'OBSERVATION

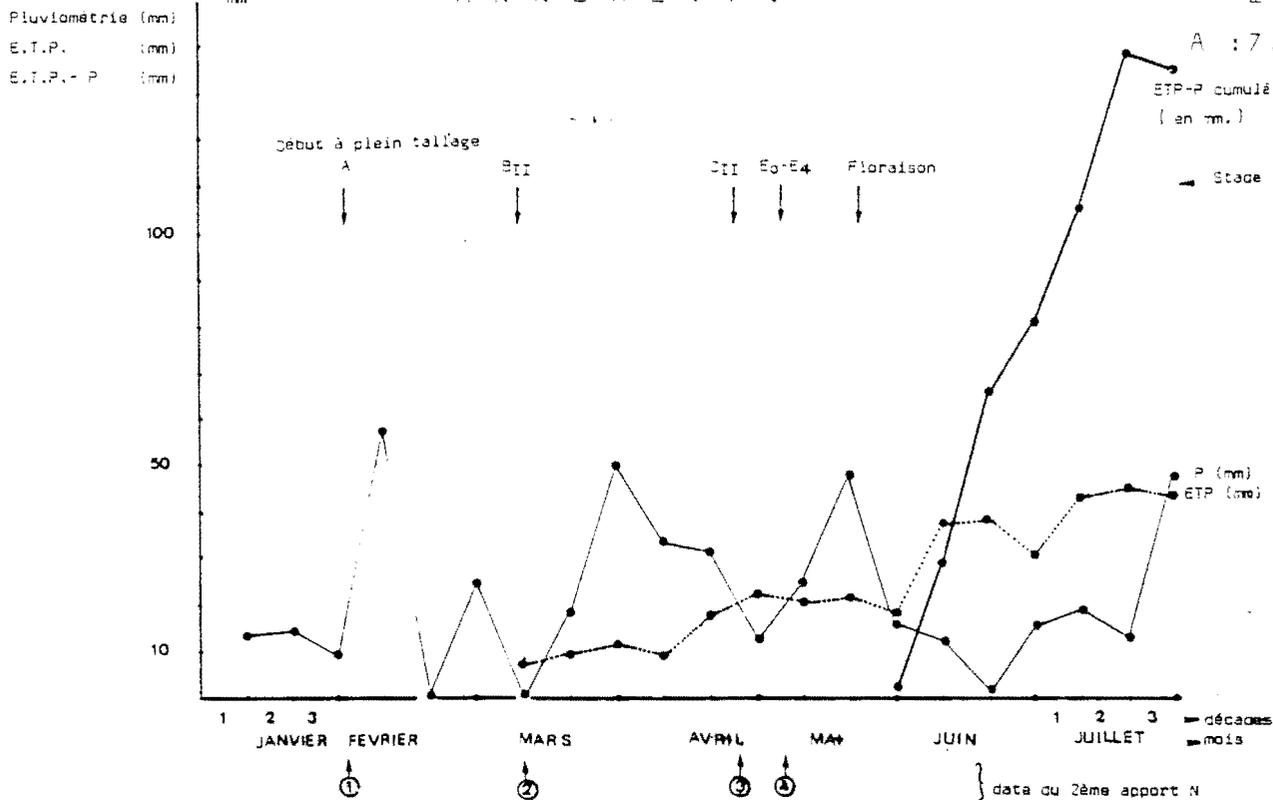
N.B. : Dimensions des placettes pour les deux essais :

Dates 1 - 1a - 2 - R1 : 2 lignes x 50 cm en d₁ et d₂Dates 3 - 4 : 4 lignes x 25 cm en d₁2 lignes x 25 cm en d₂

A : 6.3

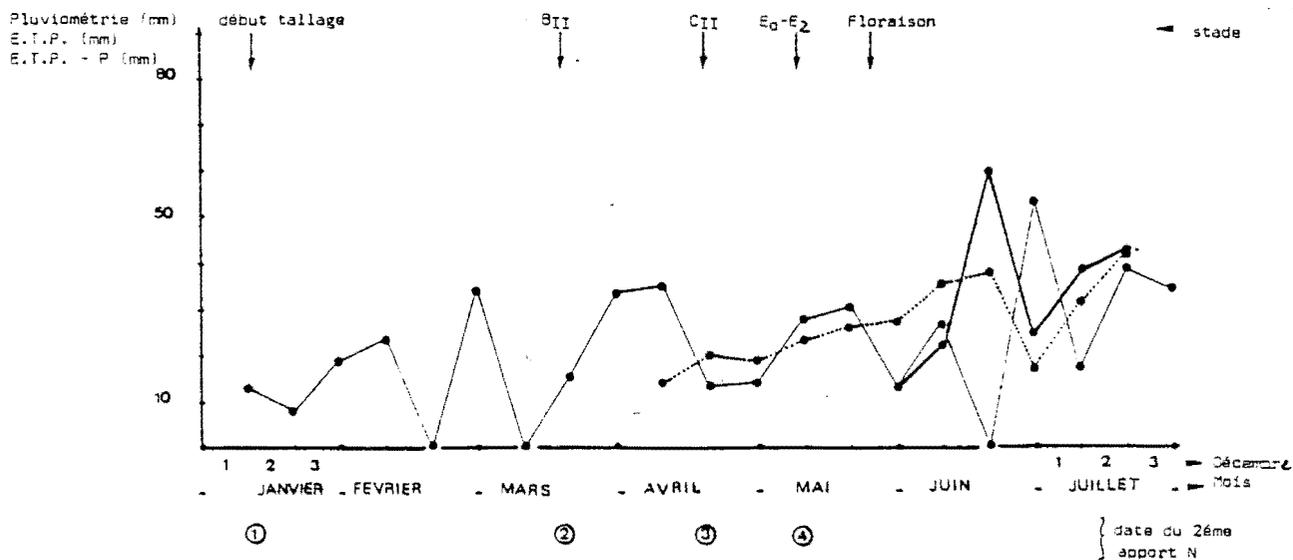
GRI - 83	NOY - 83	NATURE DES OPERATIONS
17/02	28/02	Mesure du reliquat d'azote minéral à la sortie de l'hiver . Zones prélevées : Parcelles n'ayant pas encore reçu d'engrais azoté . Mode de prélèvement : Cf. 1982, Annexe ; Analyses au Laboratoire de Technologie de l'INA-PG, Centre de GRIGNON)
25/03	9-10/03	Observations du profil cultural : Notation de la profondeur d'enracinement sur les traitements : . 00 Témoin à NOYON . B 2 à GRIGNON
25/05	30-31/05	Observations du profil cultural (idem Début Montaison) sur les traitements 0 et B 2 sur les deux sites
11/07	5/07	Echantillonnage de sol (cruche travaillée) : En vue de l'analyse physique (granulométrie + Etat organique) et chimique (Méthode de prélèvement, celle décrite par DUVAL, 1978 dans Fertilisation Raisonnée ; Analyses au Laboratoire INRA d'ARRAS)

OBSERVATIONS SUR LE MILIEU SOL



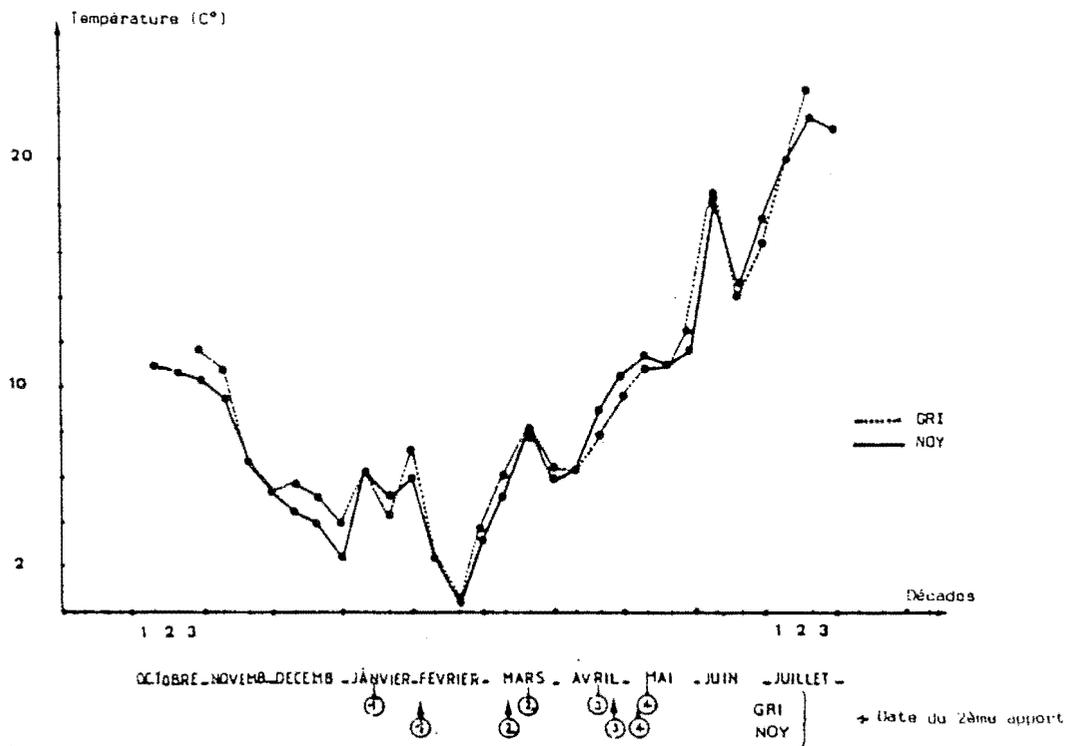
Pluie (P), Evapotranspiration (ETP), Déficit climatique cumulé (ETP-P) - Essai NOYON 1982-83.

--- ETP
— P
— ETP - P



Pluie (P), Evaporation (ETP), Déficit climatique cumulé (ETP-P) Essai GRIGNY 1982-83

A : 7.2



- Evolution des températures moyennes journalières par décade.
- Essai GRIGNON (Poste du Centre Expérimental de Grignon)
- Essai NOYON (Poste de Saint Quentin)

A N N E X E : 8 .

A:8.1

a - GRI - d1

TRAITEMENTS "AZOTE"	SLOCS	VE/m ²	NG/Epl	NG/m ²	PMGo (1)	Rdto (1)	MS (1)	H.d	à 15,5 ° H ₂ O	
									PMG	Rdt q/ha
0	I	165	38,0	5093	30,2	18,3	403			
	II	165	41,3	5903	30,5	21,1	/			
	u	165a (2)	40,0	5498 a	30,3	19,7 a	/	0,49	35,31	23,31
0 ₂	I	521	46,0	24097	26,3	54,2	1686			
	II	516	50,5	25354	28,9	76,1	/			
	u	519 b	48,3	25226 bcd	27,8	70,2 cde	/	0,42	32,39	33,01
0 ₃	I	514	40,0	20329	29,4	60,0	1136			
	II	539	40,0	21434	30,9	56,3	/			
	u	527 b	40,0	29882 de	30,2	63,1 bc	/	0,56	35,73	74,72
0 ₄	I	582	32,0	18308	28,8	52,3	961			
	II	684	31,0	21144	27,7	58,4	/			
	u	633 cd	31,5	19728 b	28,3	55,6 b	/	0,58	33,43	55,80
C	I	569	48,0	26988	26,2	71,0	1870			
	II	595	48,8	29024	30,1	85,7	/			
	u	582 b	48,4	29086 de	28,2	78,8 de	/	0,42	33,32	93,27
A ₂	I	606	46,4	27877	27,8	77,5	1891			
	II	600	42,3	25295	27,0	68,1	/			
	u	603 bc	44,3	26586 e	27,4	72,3 e	/	0,38	32,41	86,11
A ₃	I	497	48,0	23713	30,4	72,1	1392			
	II	603	43,5	26126	30,0	78,3	/			
	u	550 b	45,8	24920 cd	30,2	75,2 bcde	/	0,54	35,75	68,99
A ₄	I	755	31,0	22774	27,4	62,4	1097			
	II	644	31,0	19660	28,2	55,2	/			
	u	700 d	31,0	21227 b	27,31	58,8 bcd	/	0,53	32,32	59,59
B ₂	I	591	43,0	25159	27,5	69,1	1923			
	II	605	47,8	28846	26,4	76,1	/			
	u	599 b	45,4	27003 d	26,9	72,6 bc	/	0,38	31,88	55,30
B ₃	I	489	55,0	26835	29,6	79,5	2026			
	II	520	55,4	26680	29,0	83,3	/			
	u	505 b	55,2	27753 bcd	29,3	81,6 cde	/	0,40	34,72	37,51
B ₄	I	385	31,0	26951	29,4	79,1	1539			
	II	927	28,2	23334	26,8	62,4	/			
	u	356 d	29,6	25143 d	28,1	70,8 bcd	/	0,44	33,20	63,74

(1) PMGo, Rdto, MS = poids moyen d'un grain (mg), rendement (qx/ha), biomasse aérienne (g/m²) à % d'humidité.

(2) Les moyennes suivies de même lettre ne sont pas différentes au seuil de probabilité 5 % - résultats analyse de variance - GENSTAT -

5 - GRI - d2

TRAITEMENTS "AZOTE"	BLOCS	VE/m ²	VG/Epc	NG/m ²	PMGo (1)	Rdto (1)	MS (1)	H.I	à 15,5 °C	
									PMG	Rdt qx/ha
0	I	327	28,0	3750	27,9	24,5	605			
	II	345	24,3	3533	27,3	23,3	/			
	u	336 a(2)	26,4	3642 a	27,9	24,1 a	/	0,48	33,05	28,57
0 ₂	I	614	37,0	22457	29,4	65,9	2046			
	II	653	38,7	25229	31,1	78,2	/			
	u	634 b	37,3	23843 cde	30,2	72,1 bcde	/	0,35	35,73	35,27
0 ₃	I	712	30,0	20420	29,6	60,4	1041			
	II	683	30,0	19430	30,2	58,7	/			
	u	685 bc	30,0	19925 bc	29,3	59,6 bcd	/	0,57	35,39	70,47
0 ₄	I	382	22,0	18394	27,7	51,1	916			
	II	385	22,0	18661	28,0	52,1	/			
	u	384 bc	22,0	18528 b	27,9	51,6 b	/	0,56	32,96	61,06
C	I	676	42,0	28276	27,6	77,9	1750			
	II	633	42,3	27059	28,6	77,4	/			
	u	656 bc	42,4	27668 e	28,1	77,7 de	/	0,44	33,23	91,71
A ₂	I	696	41,2	28272	28,0	79,2	2039			
	II	775	39,5	30581	27,8	85,0	/			
	u	736 bc	40,3	29427 de	27,9	82,1 e	/	0,40	33,018	97,14
A ₃	I	642	35,0	21875	29,3	65,4	1461			
	II	548	41,7	22762	30,4	69,2	/			
	u	595 bc	38,4	22319 bcde	30,1	67,3 de	/	0,46	35,66	79,61
A ₄	I	1018	24,0	23205	27,1	63,1	1469			
	II	1035	24,0	24241	27,2	65,3	/			
	u	1027 cd	24,0	23723 bcd	27,2	64,5 bc	/	0,44	32,17	76,33
B ₂	I	591	42,6	23667	25,4	53,1	1934			
	II	700	37,4	26149	24,2	55,5	/			
	u	646 bc	40,0	25018 e	24,8	61,3 cde	/	0,32	29,34	73,16
B ₃	I	636	40,0	25205	30,0	75,6	1636			
	II	529	40,6	21075	30,5	65,3	/			
	u	583 b	40,3	23139 e	30,3	70,5 e	/	0,43	35,30	63,40
B ₄	I	907	25,0	21941	28,3	63,3	1296			
	II	1017	23,6	23864	27,3	65,4	/			
	u	962 cd	24,3	22903 bcde	28,1	64,6 bcde	/	0,49	33,300	76,47

(1) = Cf. ANNEXE
 (2) = Cf. ANNEXE

c - NOY

TRAITEMENTS "AZOTE"	BLOCS	NE/m ²	NG/Epl	NG/m ²	PMGo (1)	Rdto (1)	MS (1)	H.I	à 15,5 °	
									PMG	Rdt qx/ka
0	I	378	38,2	14374	28,1	40,4	/			
	II	417	37,4	19437	27,8	43,0	1024			
	μ	398 a(2)	37,6	14906 a	28,0	41,7 a	/	0,40	33,08	49,34
0 ₂	I	572	45,0	25465	24,8	63,1	/			
	II	647	43,0	27973	26,2	73,3	1467			
	μ	510 cde _f	44,0	26669 de _f	25,5	68,2 bcd	/	0,46	30,20	30,70
0 ₃	I	454	43,0	19353	30,1	58,2	/			
	II	424	41,0	17444	29,6	51,6	1079			
	μ	439 ab	42,0	18398 abc	29,8	54,9 ab	/	0,51	35,31	55,00
0 ₄	I	453	35,0	15951	28,8	46,1	/			
	II	519	31,3	16488	30,1	49,7	975			
	μ	486 abc	33,6	16220 ab	29,5	47,9 a	/	0,49	34,89	56,66
C	I	595	46,0	27134	27,1	73,2	/			
	II	705	45,0	31620	26,5	83,9	1728			
	μ	650 _f	45,5	29377 _f	26,8	78,5 d	/	0,45	31,66	92,92
A ₂	I	623	47,0	29079	25,7	74,7	/			
	II	706	44,0	31129	25,8	81,2	1736			
	μ	665 de _f	45,5	30104 e _f	25,7	77,9 cd	/	0,45	30,44	92,23
A ₃	I	532	47,4	25050	31,1	78,0	/			
	II	607	44,0	22141	28,8	64,0	1290			
	μ	520 abcde	45,7	23596 cde	30,0	71,0 bcd	/	0,55	35,50	83,37
A ₄	I	437	38,2	16667	28,7	48,1	/			
	II	556	37,6	20934	31,7	56,6	1116			
	μ	497 abcd	38,0	18800 abc	30,2	57,3 abc	/	0,51	35,79	67,78
B ₂	I	589	45,0	26475	25,1	66,5	/			
	II	690	43,2	30322	25,1	77,5	1560			
	μ	540 e _f	44,1	28399 e _f	25,1	72,0 bcd	/	0,46	29,70	85,20
B ₃	I	539	47,5	25469	29,8	73,5	/			
	II	564	47,6	28140	28,3	76,5	1527			
	μ	552 bcde _f	47,6	26805 de _f	28,6	75,1 d	/	0,49	33,81	68,32
B ₄	I	528	42,0	22098	29,7	65,5	/			
	II	531	40,5	21312	31,1	66,1	1277			
	μ	530 bcde _f	41,2	21705 bcd	30,4	65,9 bcd	/	0,52	35,96	77,33

(1) = Cf. ANNEXE
(2) = Cf. ANNEXE

ESSAIS	DENSITES	TRAITEMENTS	COMPOSANTES du RENDEMENT							
			NE/m ²				NG/m ²			
			NE	NE _J	NE _V	NE _V /NE _T en %	NG _T	NG _J	NG _V	NG _V /NG _T en %
GRIGNON	d1	O ₂	518	513	5	0	25226	25226	0	0
		O ₃	527	466	41	7,7	20882	20172	710	3,4
		O ₄	635	291	375	59,1	19726	11047	8679	44
		O	165	165	0	0	6498	6498	0	0
		A ₂	603	603	0	0	26586	26586	0	0
		A ₃	550	550	0	0	24920	24920	0	0
		A ₄	701	250	451	64,4	21227	10614	10613	50
		B ₂	599	599	0	0	27003	27003	0	0
		B ₃	505	503	2	0,004	27758	27758	0	0
		B ₄	358	359	499	58,1	25143	15086	10057	40
		C	582	582	0	0	28006	28006	0	0
GRIGNON	d2	O ₂	634	634	0	0	23843	23843	0	0
		O ₃	685	663	22	3,2	19925	19407	518	2,6
		O ₄	384	317	567	64,2	18528	7596	10932	59
		O	336	336	0	0	8642	8642	0	0
		A ₂	736	736	0	0	29427	29427	0	0
		A ₃	595	580	15	2,5	22319	22319	0	0
		A ₄	1027	417	610	59,4	23723	13285	10438	44
		B ₂	646	646	0	0	25018	25018	0	0
		B ₃	582	537	45	7,7	23139	21982	1157	5
		B ₄	962	439	523	54,3	22903	17177	5726	25
		C	656	656	0	0	27668	27668	0	0
NOYON	d3	O ₂	610	610	0	0	26669	26669	0	0
		O ₃	439	424	15	3,4	18398	18159	239	1,3
		O ₄	488	351	135	28	16220	14436	1784	11
		O	396	396	0	0	14906	14906	0	0
		A ₂	665	664	1	0	30104	30104	0	0
		A ₃	520	505	15	3	23596	23596	0	0
		A ₄	497	405	92	18,5	18800	17860	940	5
		B ₂	640	639	1	0	28399	28399	0	0
		B ₃	552	542	10	1,8	26805	26666	139	0,5
		B ₄	527	472	55	10,5	21705	21271	434	2
		C	650	650	0	0	29377	29377	0	0

NE_T : nombre total de talles fertiles.

NE_J : nombre de talles fertiles "jaunes", à date de maturité normale.

NE_V : nombre de talles fertiles "verdillons", à date de maturité plus tardive que pour NE_J.

Effectifs des 2 catégories de talles fertiles identifiées début juillet ; contribution aux nombres totaux d'épis et de grains/m² - 1983 -

A : 8.5

ESSAI	DENSITE	NG/épl			PIG			Σ V TOTAL				
		TRAITEMENT	NGj	NGv	NGv/ NGj	PIGj	PIGv	PIGv/ PIGj	PAILLE		GRAIN	
									j	v	j	v
GRIGNON	d1	Ø 2	48,3	/	/	27,8	/	/	0,31	/	1,54	/
		Ø 3	41,5	17,0	41	30,2	/	/	0,32	0,40	1,54	1,42
		Ø 4	38,1	23,5	52	33,4	21,8	65	0,79	0,39	1,78	1,52
		Ø	40,0	/	/	30,3	/	/	0,28	/	1,41	/
		C	48,4	/	/	28,2	/	/	0,42	/	1,30	/
		A2	44,3	/	/	27,4	/	/	0,44	/	1,56	/
		A3	45,8	/	/	30,2	/	/	0,30	0,35	1,24	1,24
		A4	43,3	24,2	56	32,1	23,5	73	0,39	0,31	1,90	1,52
		B2	45,4	/	/	26,3	/	/	0,52	/	1,77	/
		B3	55,2	/	/	32,4	/	/	0,40	0,49	1,50	1,36
		B4	44,5	20,3	45	28,1	24,9	88	0,50	1,07	1,84	1,78
		d2	Ø 2	37,8	/	/	30,2	/	/	0,35	/	1,41
	Ø 3		30,0	/	/	29,9	/	/	0,30	0,34	1,50	1,17
	Ø 4		26,5	20,3	77	33,0	24,4	74	0,45	0,30	2,01	1,49
	Ø		26,4	/	/	27,9	/	/	0,32	/	1,36	/
	C		42,4	/	/	28,1	/	/	0,40	/	1,42	/
A2	40,3		/	/	27,9	/	/	0,46	/	1,56	/	
A3	38,4		/	/	30,1	/	/	0,33	/	1,91	/	
A4	30,4		17,8	59	30,3	26,5	73	0,56	1,20	1,99	1,85	
NOYON	d3	Ø 2	44,0	/	/	25,5	/	/	0,66	/	1,51	/
		Ø 3	47,0	16,0	34	30,0	24,0	80	0,41	/	1,41	/
		Ø 4	40,1	12,8	32	30,0	26,9	90	0,52	0,38	1,96	1,37
		Ø	37,8	/	/	28,0	/	/	0,42	/	1,71	/
		C	45,5	/	/	26,8	/	/	0,51	/	1,79	/
		A2	45,0	/	/	25,7	/	/	0,56	/	1,79	/
		A3	45,7	17,0	36	31,1	/	/	0,45	0,59	1,53	1,58
		A4	42,9	10,1	34	30,4	25,3	37	0,49	0,31	1,73	1,33
		B2	44,1	/	/	25,1	/	/	0,50	/	1,31	/
		B3	47,5	13,8	29	29,2	17,8	51	0,35	/	1,92	/
B4	45,3	9,1	20	30,4	29,8	38	0,53	0,36	1,76	1,79		

Fig. - Caractéristiques des grains produits par les verdillons (poids, teneur en azote) comparées à celle des grains de la 1ère population (Cf. texte) :

	EPIS "JAUNES"		VERDILLONS		
	Paille	Grain	Paille	Grain	
d1	Ø3	0,320	1,64	0,376	1,42
	A3	0,307	1,24	0,346	1,24
	B3	0,397	1,50	0,490	1,86
	Ø4	0,793	1,78	0,991	1,52
	A4	0,389	1,90	0,812	1,52
	B4	0,507	1,84	1,070	1,78
GRIGNON					
d2	Ø3	0,294	1,50	0,344	1,17
	A3	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-
	Ø4	0,447	2,04	0,799	1,49
	A4	0,563	1,99	1,200	1,85
	B4	0,481	1,97	0,869	1,85
NOYON	Ø3	-	-	-	-
	A3	0,447	1,63	0,592	1,58
	B3	-	-	-	-
	Ø4	0,624	1,96	0,881	1,87
	A4	0,492	1,78	0,814	2,00
	B4	0,528	1,76	0,961	1,79

TENEURS EN AZOTE A MATURE POUR LES DEUX CATEGORIES DE TALLES FERTILES DISTINGUEES FIN JUIN ("JAUNES" ET "VERDILLONS" cf. texte p.).

A N N E X E : 9 .

TRAITEMENTS	PAILLE			GRAIN					
	% N (1)	MS g/m ² (2)	Σ N kg/ha (3)	% N	MS g/m ²	Σ N kg/ha	Σ N total	kg N quintal grain	
GRI - d1	02	0,40	984,2	38,4	1,54	701,5	103,0	184,0	2,22
	03	0,31	504,6	15,6	1,28	631,5	80,8	121,0	1,51
	04	0,53	404,7	21,4	1,78	556,0	99,0	151,0	2,28
	0	0,28	206,9	5,7	1,41	197,0	27,8	42,0	1,30
	C	0,42	1081,0	45,4	1,50	788,2	126,0	214,0	2,29
	A2	0,44	1163,0	51,2	1,66	727,7	121,0	215,0	2,49
	A3	0,35	640,1	22,4	1,35	752,0	102,0	155,0	1,73
	A4	0,58	508,7	29,5	1,78	588,1	105,0	168,0	2,40
	B2	0,52	1187,0	62,3	1,77	725,9	128,0	238,0	2,77
	B3	0,35	1212,0	42,4	1,48	816,4	121,0	204,0	2,11
B4	0,54	391,9	48,2	2,00	707,6	142,0	237,0	2,83	
GRI - d2	02	0,35	1325,0	46,4	1,41	720,8	102,0	185,0	2,16
	03	0,34	445,5	15,1	1,40	595,3	83,4	123,0	1,73
	04	0,57	400,5	22,8	1,35	516,0	95,5	148,0	2,42
	0	0,32	263,5	8,4	1,36	241,5	32,8	51,6	1,30
	C	0,39	973,8	38,5	1,42	776,5	110,0	186,0	2,02
	A2	0,46	1218,0	56,0	1,56	820,9	128,0	230,0	2,37
	A3	0,33	788,4	26,0	1,91	672,7	128,0	193,0	2,42
	A4	0,52	823,9	42,8	1,37	645,0	88,4	164,0	2,15
	B2	0,59	1316,0	77,6	1,79	618,2	111,0	235,0	3,21
	B3	0,37	931,2	34,4	1,59	704,8	112,0	183,0	2,19
B4	0,48	651,4	31,3	1,86	646,2	120,0	189,0	2,47	
NOY	02	0,66	785,1	51,8	1,61	682,0	110,0	202,0	2,50
	03	0,41	529,6	21,7	1,41	549,3	77,4	124,0	1,90
	04	0,65	496,0	32,2	2,06	478,8	98,6	184,0	2,88
	0	0,41	606,9	25,2	1,27	417,0	53,0	97,7	1,37
	C	0,61	842,9	57,5	1,71	785,2	134,0	240,0	2,56
	A2	0,56	956,6	53,6	1,79	779,4	140,0	241,0	2,61
	A3	0,57	580,3	33,1	1,85	709,6	131,0	205,0	2,45
	A4	0,60	542,4	32,5	2,08	572,6	119,0	190,0	2,79
	B2	0,85	840,0	71,4	1,92	720,0	138,0	262,0	3,07
	B3	0,60	777,0	46,6	1,91	750,6	143,0	237,0	2,67
B4	0,64	613,5	39,6	2,02	558,5	133,0	216,0	2,76	

(1) N total en % du poids sec

(2) poids sec

(3) quantité d'azote contenue dans les pailles ou les grains

(4) quantité d'azote contenue dans les parties aériennes et les racines ;
avec l'hypothèse : 1/5 de l'azote de la plante est contenue dans les racines.Teneurs en azote et quantités de cet élément dans les pailles et grains
à maturité des talles précoces NEj (9 et 11/07/83 selon l'essai) -

ESSAI		GRIGNON - d1						GRIGNON - d2						NOYON -						
Date Traitements	date 1	1a	2	3	4	5 = maturité		1	1a	2	3	4	5 = maturité		1	2	3	4	5 = maturité	
						paille	grain						paille	grain					paille	grain
O ₂	4,88	4,55	3,61	4,76	2,67	0,40	1,54	4,63	3,77	3,16	4,10	2,16	0,35	1,41	3,85	3,84	2,54	2,38	0,66	1,61
O ₃	"	"	"	1,93	2,20	0,31	1,28	"	"	"	1,83	2,17	0,34	1,40	"	"	1,71	1,86	0,41	1,41
O ₄	"	"	"	"	1,18	0,53	1,78	"	"	"	"	1,15	0,57	1,85	"	"	"	1,63	0,65	2,06
O	"	"	"	"	"	0,28	1,41	"	"	"	"	"	0,32	1,36	"	"	"	"	0,415	1,27
A ₂	"	5,15	4,50	4,19	2,33	0,44	1,66	"	4,89	4,06	3,94	1,75	0,46	1,56	"	4,58	3,08	2,32	0,56	1,79
A ₃	"	"	"	2,106	2,32	0,35	1,35	"	"	"	1,97	1,96	0,33	1,91	"	"	2,31	2,22	0,57	1,85
A ₄	"	"	"	"	1,32	0,58	1,74	"	"	"	"	1,11	0,52	1,37	"	"	"	1,97	0,60	2,08
B ₂	"	5,01	4,94	4,32	2,42	0,52	1,77	"	4,96	4,38	4,02	2,47	0,59	1,79	"	4,64	2,99	2,60	0,65	1,92
B ₃	"	"	"	2,22	2,35	0,35	1,48	"	"	3	2,17	1,88	0,37	1,59	"	"	2,43	2,38	0,60	1,91
B ₄	"	"	"	"	1,45	0,54	2,00	"	"	3	"	1,08	0,48	1,86	"	"	"	1,94	0,64	2,02
C	"	5,73	5,43	3,61	2,00	0,42	1,60	"	5,10	5,24	3,27	1,76	0,395	1,42	"	4,87	2,79	2,05	0,61	1,71

Teneurs en azote dans les parties aériennes pour les différents traitements et dates de prélèvement
(N total en % de la matière sèche - méthode Kjeldahl - laboratoire INRA - Bordeaux) -

Essai	GRIGNON - d1									GRIGNON - d2									N O Y O N								
date Traitements	1	1a	2	3	4	5 = maturité paille grain total				1	1a	2	3	4	5 = maturité paille grain total				1	2	3	4	5 = maturité paille grain total				
O ₂	11,15	17,94	25,52	149,24	217,49	39,37	108,03	184,25		18,11	21,76	27,77	150,41	219,57	48,38	101,60	184,97	33,14	38,45	146,64	229,19	51,82	109,80	202,02			
O ₃	"	"	"	26,94	76,39	15,64	80,83	120,59		"	"	"	35,43	93,94	15,15	83,38	123,15	"	"	90,36	131,17	21,71	77,46	123,98			
O ₄	"	"	"	"	38,78	21,45	98,97	150,53		"	"	"	"	35,23	22,83	95,46	147,86	"	"	"	91,00	32,24	98,63	163,58			
O	"	"	"	"	"	5,79	27,78	41,96		"	"	"	"	"	8,43	32,84	51,59	"	"	"	"	25,18	52,96	97,68			
A ₂	"	21,52	38,45	166,14	240,50	51,20	120,80	214,99		"	37,57	55,22	207,22	208,26	56,04	128,06	230,13	"	52,77	178,75	235,82	53,57	139,51	241,36			
A ₃	"	"	"	43,39	109,79	22,40	101,52	154,91		"	"	"	60,19	167,83	26,02	128,49	193,14	"	"	115,49	162,24	33,08	131,28	205,44			
A ₄	"	"	"	"	77,31	29,51	104,67	167,72		"	"	"	"	61,93	42,84	88,36	164,01	"	"	"	148,20	32,54	119,15	189,61			
B ₂	"	22,67	57,09	194,48	314,60	62,27	128,49	238,45		"	34,81	60,14	216,32	245,96	77,64	110,66	235,38	"	50,20	192,79	294,58	71,40	138,23	262,03			
B ₃	"	"	"	72,20	209,04	42,42	120,83	204,06		"	"	"	97,10	143,91	34,45	112,06	183,14	"	"	107,21	221,13	46,62	143,36	237,48			
B ₄	"	"	"	"	104,01	48,16	141,52	237,10		"	"	"	"	92,31	31,27	120,19	189,32	"	"	"	156,13	39,58	133,03	215,77			
C	"	25,62	57,62	173,29	245,83	45,42	126,11	214,41		"	34,93	91,12	167,70	213,46	38,46	110,26	185,91	"	63,45	215,80	208,65	57,52	134,27	239,74			

Quantité d'azote absorbé (N total) pour les différents traitements et date de prélèvement kg/ha -

DATE Traitements	GRIGNON - d1						GRIGNON - d2						NOYON					
	1	1a	2	3	4	5 = maturité paille grain total	1	1a	2	3	4	5 = maturité paille - grain total	1	2	3	4	5 = maturité paille grain total	
O ₂	17,58	30,34	54,38	241,1	626,7	984,23 701,50 1686	30,10	44,40	67,61	282,1	782,1	1325,19 720,56 2046	64,04	77,02	444,0	740,6	785,09 681,97 1467	
O ₃	"(1)	"	"	107,4	267,1	504,57 631,46 1136	"	"	"	148,9	333,0	445,52 595,54 1041	"	"	406,5	542,7	529,59 549,33 1079	
O ₄	"	"	"	"	252,3	404,65 55,60 961	"	"	"	"	235,7	400,48 516,02 916	"	"	"	429,4	496,03 478,77 975	
O ₅	"	"	"	"	"	206,86 197,00 403	"	"	"	"	"	263,46 241,46 505	"	"	"	"	606,86 417,00 1024	
A ₂	"	32,14	65,74	305,1	794,0	1163,60 727,70 1891	"	59,10	106,6	404,6	915,3	1218,23 820,91 2039	64,83	88,62	446,3	782,0	956,59 779,40 1736	
A ₃	"	"	"	158,5	364,0	640,12 752,02 1392	"	"	"	235,0	658,9	788,44 672,72 1461	"	"	384,6	562,1	580,30 709,60 1290	
A ₄	"	"	"	"	450,5	508,73 588,05 1097	"	"	"	"	429,2	823,90 644,99 1469	"	"	"	578,6	542,41 572,82 1115	
B ₂	"	34,00	88,89	346,4	1000,1	1197,48 725,93 1923	"	54,0	105,5	414,0	766,1	1315,97 618,23 1934	72,93	83,37	496,0	872,7	839,97 719,96 1560	
B ₃	"	"	"	250,2	684,3	1212,07 816,40 2028	"	"	"	344,2	588,8	931,16 704,75 1636	"	"	339,4	714,8	777,03 750,56 1527	
B ₄	"	"	"	"	551,8	891,89 707,60 1599	"	"	"	"	653,9	651,36 646,17 1298	"	"	"	619,1	618,48 658,58 1277	
C	"	34,40	81,63	369,3	945,6	1081,50 788,17 1870	"	52,70	133,8	394,6	932,7	973,79 776,50 1750	63,00	100,2	595,1	783,0	942,91 785,19 1728	

(1) traitements non différenciés à la date d'observation considérée.

Evolution de la biomasse aérienne (g/m²) sur les différents traitements

DATES	TALLES	GRI - d1				GRI - d2				NOY			
		0	A	B	C	0	A	B	C	0	A	B	C
1	BM	(197) 0,0668				(208) 0,0638				(153) 0,1049			
	T1	(162) 0,0233				(160) 0,0113				(105) 0,0727			
	T2	(179) 0,0131	idem 0	idem 0	idem 0	(181) 0,0087	idem 0	idem 0	idem 0	(133) 0,0530	idem 0	idem 0	idem 0
	T3	(87) 0,0031				(23) 00,025				(121) 0,0553			
	T4									(70) 0,0253			
	T5									(21) 0,0088			
1a	BM	(81) 0,0808	(156) 0,0808	(159) 0,0825	(151) 0,0823	(62) 0,0696	(87) 0,0661	(170) 0,0795	(164) 0,0714				
	T1	(70) 0,0454	(132) 0,0457	(138) 0,0360	(131) 0,0474	(62) 0,0338	(78) 0,0353	(116) 0,0433	(129) 0,0399				
	T2	(70) 0,0330	(148) 0,0341	(148) 0,0314	(148) 0,0348	(62) 0,0237	(62) 0,0256	(151) 0,0279	(151) 0,0244				
	T3	(64) 0,0173	(141) 0,0152	(142) 0,0145	(134) 0,0154	(27) 0,0098	(47) 0,0011	(103) 0,0094	(118) 0,0079				
	T4	(49) 0,0049	(111) 0,0060	(110) 0,0057	(97) 0,0059	(7) 0,0034	(28) 0,0037	(63) 0,0035	(57) 0,0064				
	T5		(5) 0,0036	(5) 0,0046	(7) 0,0030	- -	(1) 0,0054	- -	(2) 0,0043				
2	BM	(142) 0,1149	(157) 0,1228	(167) 0,1439	(154) 0,1367	(176) 0,1030	(185) 0,1159	(174) 0,1173	(181) 0,1306	(151) 0,1161	(163) 0,1330	(166) 0,1333	(165) 0,1181
	T1	(124) 0,0813	(146) 0,0874	(145) 0,1075	(147) 0,1082	(144) 0,0583	(146) 0,0827	(149) 0,0807	(145) 0,0927	(113) 0,0808	(135) 0,0861	(137) 0,0953	(138) 0,0865
	T2	(139) 0,0675	(149) 0,0694	(155) 0,0883	(150) 0,0918	(132) 0,0412	(162) 0,0590	(161) 0,0602	(169) 0,0719	(126) 0,0651	(140) 0,0741	(148) 0,0754	(145) 0,0758
	T3	(129) 0,0418	(134) 0,0392	(149) 0,0520	(150) 0,0550	(51) 0,0195	(110) 0,0370	(116) 0,0234	(152) 0,0352	(101) 0,0449	(114) 0,0560	(124) 0,0601	(117) 0,0534
	T4	(118) 0,0230	(116) 0,0223	(141) 0,0323	(145) 0,0367	(18) 0,0093	(104) 0,0161	(109) 0,0155	(129) 0,0228	(61) 0,0362	(72) 0,0461	(89) 0,0438	(79) 0,0412
	T5	(57) 0,0085	(51) 0,0093	(107) 0,0111	(123) 0,0151	(1) 0,0025	(16) 0,0083	(29) 0,0065	(89) 0,0088	(11) 0,0232	(19) 0,0293	(20) 0,0245	(17) 0,0264
3	BM	(79) 0,3451	(85) 0,3948	(72) 0,5777		(88) 0,2957	(79) 0,4252	(79) 0,5760		(79) 0,5528	(77) 0,6487	(80) 0,6809	
	T1	(78) 0,0866	(72) 0,1908	(64) 0,3627		(80) 0,0526	(69) 0,1062	(72) 0,2121		(66) 0,2554	(66) 0,3098	(66) 0,3541	
	T2	(75) 0,0700	(81) 0,1072	(67) 0,2737		(73) 0,0435	(63) 0,0901	(68) 0,1491		(62) 0,1979	(55) 0,2462	(57) 0,3075	
	T3	(50) 0,0451	(74) 0,0610	(63) 0,1392		(31) 0,0220	(48) 0,0427	(50) 0,0562		(45) 0,1182	(43) 0,1337	(40) 0,1730	
	T4	(28) 0,0258	(61) 0,0330	(58) 0,0900		() 0,0096	(33) 0,0257	(40) 0,0277		(31) 0,0728	(23) 0,0870	(28) 0,0586	
	T5	(4) 0,0087	(17) 0,0194	(40) 0,0280		() 0,0044	(7) 0,0105	(13) 0,0144		(11) 0,0381	(9) 0,0458	(6) 0,0482	

- Variation du poids sec des talles selon le rang et le traitement aux quatre premières dates de prélèvement - GRI - NOY 1983 - (g)

DATE d'OBSERVATION TRAITEMENT EFFECTIF PLANTES OBSERVE	GRI - d1									GRI - d2						NOY															
	3 Maturité			3 Maturité			3 Maturité			3 Maturité			3 Mat.			3 Mat.			3 Maturité			3 Mat.									
	Ø	Ø3	Ø4	A	A3	A4	B	B3	B4	Ø	Ø3	Ø4	A	A4	B	B4	Ø	Ø1	A	A3	A4	B	B4	Ø	Ø1	A	A3	A4	B	B4	
	265	15	56	201	15	56	186	15	46	285	15	82	185	111	171	72	148	74	79	15	102	80	65								
T1	94	87	82	94	100	91	94	100	100	92	93	89	92	86	96	91	86	96	86	87	78	85	97								
T2	93	80	86	99	100	96	96	100	89	81	47	88	81	84	90	85	79	93	76	87	73	71	89								
T3	70	53	73	91	100	82	94	87	63	29	7	77	65	57	72	46	59	95	58	67	89	50	89								
T1p	17	40	30	54	47	25	69	7	65	4			18	5	25		28	27	25	20	40	25	51								
T4	49	27	63	75	67	77	84	80	67	6	70		43	26	57	50	43	85	30	33	65	35	75								
T11	23	40	43	53	53	34	80	40	70				16	9	28		26	28	22		38	11	38								
T2p	11	7	9	50	7	14	64	13	37				10		14		14	42	18	47	31	16	29								
T5	10	7	54	32	27	84	67	60	48	3	73		9	62	18	44	13	68	16	27	46	8	58								
T12	4		11	26	47	27	40	40	50		6		3	15	7	22	13	19	2	20	26	3	17								
T21	11	7	41	39	40	29	58	47	46		5		7	8	18	6	14	23	10	27	28	8	26								
T3p	0		7	12	7		28	7	20								4		3	0		1	6								
T1pp				3			3																								
T6	2		43	4	20	63	18	13	46	3	51		2	57		49	3	27	4	7	46										
T13				4	13	36	13	7	20		6			11	1	15		16			27		37								
T22			13	12	20	36	24	20	39		6			9	2	15	3	24	1	0	18		35								
T31			32	9	20	09	24	7	37		2								3	13	6										
T4p			7	1			8				6																				
T7			5			75			24		23		34		58		4				14		14								
T14						25			9				4		6						16		11								
T23						32			9		4		10		7		19				20		32								
T32					7	09			24				3								5										
T41			14						20										0	6											
T5p																															
T8 et T5			7								13		9		18																
T9 et T5											7		2																		

ANNEXE : 10 .

Fréquences (%) des talles des différents rangs et ordre avant application du 2ème apport d'engrais alors que le tallage était arrêté sur tous les traitements, puis à maturité - Traitements Ø3, A3, B3 ; Ø4, A4, B4 (sauf GRI d2 - A3, B3 et NOY Ø3, B3 pour lesquels les séquences de talles complètes n'ont pas été observées à maturité).

DATE D'OBSERVATION TRAITEMENT EFFECTIF PLANTES	GRI - d1						GRI - d2						NOV					
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	0	02	A	A2	B	B2	0	02	A	A2	B	B2	0	02	A	A2	B	B2
	355	112	201	122	186	114	285	101	185	115	171	99	148	53	79	65	30	73
T1	94	38	94	39	94	39	92	36	92	30	96	39	86	34	86	38	85	30
T2	93	39	99	38	96	37	81	37	81	31	90	30	79	36	76	33	71	34
T3	70	34	91	32	94	35	29	50	65	52	72	70	59	77	58	39	50	31
T1p	17	56	54	34	69	37	4	7	18	20	25	41	28	28	25	27	25	23
T4	49	35	75	30	84	35	6	56	43	29	57	36	43	51	30	47	35	36
T11	23	56	53	38	80	70	0	0	16	14	28	31	26	19	22	34	11	18
T2p	11	36	50	53	64	57	0	4	10	15	14	29	14	21	18	33	16	12
T5	10	54	32	59	67	59	3	3	9	9	18	24	13	19	16	20	8	18
T12	4	38	26	41	40	45	0	4	3	2	7	8	13	0	2	20	3	3
T21	11	42	39	57	58	53	0	4	7	6	18	17	14	6	10	18	8	5
T3p	0	11	12	22	28	28	0	1	0	3	0	4	4	6	3	5	1	1
T1pp	0	0	3	9	3	6	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
T6	2	35	4	27	18	16	3	3	2	0	0	0	3	9	4	0	0	0
T13		7	4	11	13	12	0	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
T22		31	12	28	24	26	0	4	0	0	2	1	3	0	1	0	0	0
T31		22	9	23	24	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4p		2	1	9	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0

Fréquences (%) des talles des différents rangs et ordre avant application du 2ème apport d'engrais, après arrêt du tallage, et à la date suivant l'apport - Traitements 02 - A2 - B2 -

NOY	TRAITEMENTS															
	03			A3			04			A4			B4			
	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	
T1	j v	0 0	0 0	58	53 7	84	60	34 0	81	62	44 0	84	61	55 0	84	55
T2	j v	0 0	0 0	44	27 0	75	42	30 0	79	51	32 0	75	42	42 0	71	31
T3	j v	0 0	0 0	13	20 0	58	19	5 0	55	35	8 2	58	19	14 0	49	22
T1p	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	2 0	0,0	0	3 0	0	0
T4	j v	0 0	0 0	0	0 0	28	0	0 0	38	0	8 1	28	0	3 0	35	0
T11	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	20	0	0 0	22	0	0 0	11	0
T2p	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	18	0	0 0	16	0
T5	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	14 1	15	0	0 8	16	0	0 0	8	0
T12	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 4	5,0	0	0 2	25	0	0 0	1	0
T21	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	15	0	0 0	8,7	0	0 0	8	0
T3p	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	3,7	0	0 0	1	0
T6	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 12	25	0	0 3	38	0	0 3	0	0
T13	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 11	0	0	0 20	0,0	0	0 5	0	0
T22	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 8	3	0	0 20	1,2	0	0 0	0	0
T31	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	2,5	0	0 0	0	0
T7	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 3	0	0	0 4	0,0	0	0 5	0	0
T14	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0 6	0,0	0	0 3	0	0
T23	j v	0 0	0 0	0	0 0	0	0	0 1	0	0	0 4	0,0	0	0 6	0	0

A N N E X E : 11 .

Fréquences NE, NT, NM, pour GRI d2, et NOY exprimées en % (100 = le nombre de brins-maîtres)
 Définition de NE, NT, NM, cf. texte p. GRI d1 cf; Fig.

d2 - GRi

		T R A I T E M E N T S											
		03			04			A4			B4		
		NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM	NE	NT	NM
T1	j v	20 3	89	0	4 1	89	0	14 0	92	6	13 0	96	31
T2	j v	0 13	79	0	4 0	79	0	7 0	82	79	11 1	89	19
T3	j v	0 0	27	0	1 1	27	0	9 0	65	4,3	3 3	73	20
T1p	j v	0 0	0	0	0 1	0,0	0	0 0	0	0	0 0	0	0
T4	j v	0 0	3	0	0 3	3	0	0 5	43	0	0 8	53	0
T11	j v	0 0	0	0	0 0	0	0	0 2	16	0	0 3	28	0
T2p	j v	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	10	0	0 0	15	0
T5	j v	0 0	0	0	0 4	5	0	35 23	9	0	0 21	18	0
T12	j v	0 0	0	0	0 4	0	0	0 9	2	0	0 10	7	0
T21	j v	0 0	0	0	0 1	0	0	0 2	8	0	0 3	18	0
T3p	j v	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	0	0
T6	j v	0 0	0	0	0 3	3	0	0 33	2	0	0 26	12	0
T13	j v	0 0	0	0	0 2	0	0	0 8	0	0	0 11	1	0
T22	j v	0 0	0	0	0 3	0	0	0 14	0	0	0 13	2	0
T31	j v	0 0	0	0	0 1	0	0	0 0	0	0	0 14	0	0
T7	j v	0 0	0	0	0 2	0	0	0 14	0	0	0 24	0	0

Légende : NT = nombre de talles apparues
 NM = nombre de talles ayant un taux de croissance positif à la date 3
 NE = nombre de talles fertiles
 NT, NM, NE sont exprimées en % (100 = nombre de brins-maitres)
 j = talles de maturité précoce ("jaunes") (Cf. texte p.
 v = verdillons (Cf. texte p.

A : 11.2

A N N E X E : 12 .

TRAITEMENTS		NE/m2 total	NE _j /m2		NE _v /m2 NE ₃
			NE ₁	NE ₂	
d1	0	165	165	0	0
	02	519	513	0	5
	03	527	186	300	41
	04	535	186	75	375
	A2	603	603	0	0
	A3	550	265	265	0
	A4	701	250	0	451
	B2	599	0	0	0
	B3	505	414	99	2
	B4	858	359	0	499
	C	582	582	0	0
	GRI	0	336	336	0
02		634		0	
03		685	371	292	22
04		884	317	0	567
A2		736	736	0	0
A3		595	445	135	15
A4		1027	417	0	610
B2		646	646	0	0
B3		582	537	0	45
B4		982	439	0	523
C		656	656	0	0
NOY		0	396	396	0
	02	610	610	0	0
	03	439	424	0	15
	04	488	351	0	135
	A2	665	664	0	1
	A3	520	433	72	15
	A4	497	405	0	0
	B2	640	639	0	1
	B3	552	414	128	0
	B4	527	472	0	0
	C	650	650	0	0

Pour 04, A4, B4 : S1 NE₂ = 0, : NE₁ = NE_j ≤ NM

Pour 03, A3, B3 : NE₁ = NM = NE_j - NE₂

Fig. - Effectifs des 3 catégories de talles fertiles (cf. texte p 1)